



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

*Liberté
Égalité
Fraternité*

CNIG

Conseil national
de l'information
géolocalisée

Recommandations pour le CONTRÔLE D'ACQUISITIONS MASSIVES D'ORTHOPHOTOGRAPHIES PCRS

Fiche annexe au PCRS
PLAN DU CORPS DE RUE SIMPLIFIÉ

17 mai 2022

Version 0.2

Ce document a pour objectif de décrire les méthodes recommandées pour contrôler des acquisitions initiales massives d'orthophotographies et de leur compatibilité avec le standard du Plan du Corps de Rue Simplifié (PCRS). Les méthodes décrites ne concernent pas les mises à jour qui seront abordées dans un autre document.

L'objectif du Plan du Corps de Rue Simplifié version Image à très grande échelle est de constituer un socle d'orthophotographies dont les caractéristiques minimales permettent de répondre aux exigences de la réforme dite « anti-endommagement » ou DT-DICT, portant sur les travaux à proximité des réseaux.

Contributeurs

Nicolas DUNAND, ENEDIS
Laurent FALALA, IGN
Benjamin FERRAND, IGN
Sébastien GAILLAC, CRAIG
Julien L'Haridon, IGN
Guillaume MALARD, ENEDIS
Guillaume VALTAT, IGN

Bibliographie

- [Décret n° 2011-1241 du 5 octobre 2011 relatif à l'exécution de travaux à proximité de certains ouvrages souterrains, aériens ou subaquatiques de transport ou de distribution](#)
- [Arrêté du 16 septembre 2003 portant sur les classes de précision applicables aux catégories de travaux topographiques réalisés par l'Etat, les collectivités locales et leurs établissements publics ou exécutés pour leur compte](#)
- [Protocole national d'accord sur le déploiement du Plan Corps de Rue Simplifié \(PCRS\)](#)

Table des matières

A.	Description et exigences générales	6
A.1	Objectif	6
A.2	Prise de vues aériennes, images orientées	6
A.2.1	Récapitulatif des livrables pour les images orientées	6
A.2.1.1	Éléments issus de la prise de vue	6
A.2.1.2	Éléments de stéréopréparation et d'aérotriangulation	7
A.2.2	Adéquation du matériel utilisé avec le cahier des charges	7
A.2.3	Contrôle de la mission aérienne	7
A.2.4	Contrôle de l'aérotriangulation et de la stéréopréparation	10
A.3	Orthophotographie.....	13
A.3.1	Récapitulatif des livrables pour les orthophotographies	13
A.3.2	Synthèse des contrôles à effectuer sur l'orthophotographie	14
A.3.3	Couleurs et radiométrie.....	15
A.3.4	Contrôle géométrique de l'orthophotographie	15

Glossaire

Aérotriangulation	Calcul ayant pour but de déterminer l'orientation et la position des clichés d'une prise de vue. Ce calcul fait intervenir des mesures provenant de points de liaison entre les images, de points d'appui, et de la trajectographie.
Dévers (source Wikipédia)	Le problème majeur lors de la prise de vue aérienne est l'effet de déplacement lié à la projection perspective, surtout en milieu urbain. En effet, plus un élément (bâtiment, édifice, tour...) est haut plus l'effet de la perspective est visible. Cet effet est nul au centre de la photographie mais progresse de façon plus ou moins linéaire en s'écartant du centre. De plus, cet effet est aussi dépendant de l'altitude de vol et de l'échelle de la photographie aérienne. Cet effet de perspective est souvent à l'origine d'occlusion de l'image par des bâtiments hauts.
Exactitude planimétrique (source IGN)	Etroitesse de l'accord entre la mesure (ou l'estimation) d'une grandeur et la valeur nominale de cette grandeur.
Erreur Moyenne Quadratique	Ou EMQ. Calcul statistique utilisé généralement, s'agissant de données géographiques, pour qualifier la précision d'un positionnement. Il s'agit de la mesure de la dispersion des observations autour de la valeur vraie (correspond à l'anglais Root Mean Square ou RMS). L'EMQ est le plus souvent exprimée en unité terrain.
Image orientée	Image en géométrie conique accompagnée du résultat de son aérotriangulation Les images et les calculs d'orientation permettent la mise en place de couples stéréoscopiques.
Modèle Numérique de Terrain	Un MNT est une représentation de la topographie d'une zone terrestre généralement il prend la forme d'une grille.
Mosaïquage (source IGN)	Document résultant d'un montage d'images de scènes (photos), ou de parties de scènes (photos), connexes et prétraitées pour être raccordables géométriquement et radiométriquement. La ligne de mosaïquage désigne la ligne de raccord entre les clichés.
Orthophotographie	Une orthophotographie est une donnée issue de photographies aériennes qui ont été traitées pour éliminer les déformations dues aux reliefs et à la perspective. On obtient à l'issue du traitement une image géoréférencée qui peut servir, par exemple, de fond de plan pour servir à prendre des mesures ou superposer d'autres couches d'information telles que les réseaux.
Orthorectification (source IGN)	Application à une image des traitements destinés à corriger les déformations dues au relief du terrain, à l'inclinaison de l'axe de prise de vue et à la distorsion de l'objectif.
Point d'appui	Point correspondant à un détail physique bien identifié du terrain et visible sur les images dont les coordonnées sont connues dans un référentiel donné contribuant au calcul d'aérotriangulation.
Point de contrôle	Point correspondant à un détail physique bien identifié du terrain et visible sur les images dont les coordonnées sont connues dans un référentiel donné mais ne contribuant pas au calcul d'aérotriangulation
Point de liaison	Point correspondant à un détail du terrain identifié sur des images différentes.
Précision centimétrique	Il s'agit d'une précision de levé comprise entre 1 et 10 cm, de façon au final à être conforme aux exigences de la classe A du décret
Raster	Image matricielle
Référentiel	Spécifications organisationnelles, techniques et juridiques de données géographiques élaborées pour homogénéiser des données géographiques issues de diverses sources.
Stéréopréparation (source IGN)	Ensemble des opérations qui ont pour but la détermination directe d'un canevas de points d'appui (ensemble de points connus en X, Y et/ou Z). La stéréopréparation suppose l'existence préalable, sur la zone à lever de réseaux géodésique et de nivellement de précision assez denses (l'utilisation du positionnement GPS rend cette condition moins fondamentale).
Trajectographie	Détermination, en temps réel ou en post-traitement, de la trajectoire d'un véhicule (aéronef) accompagné des estimations de précision.

Acronymes et abréviations

CNIG	Conseil National de l'Information Géographique
DT-DICT	Déclaration de Travaux – Déclaration d'Intention de Commencement de Travaux
IGN	Institut National de l'Information Géographique et forestière
MNT	Modèle Numérique de Terrain
PCRS	Plan du Corps de Rue Simplifié

Préambule

Le contexte réglementaire lié aux travaux à proximité de réseaux dont l'entrée en application en juillet 2012 de la réforme dite de « anti-endommagement » a fait évoluer les exigences de précision de géoréférencement des réseaux. Le texte a également imposé le besoin de fiabilisation des échanges d'information entre tous les acteurs concernés, à savoir les collectivités, les gestionnaires de réseaux et les entreprises de travaux. Concernant le standard PCRS (Plan corps de rue simplifié), l'arrêté du 26 octobre 2018, modifiant celui du 1er juillet 2012, précise que, dès lors qu'il existe, il est le fond de plan employé pour les plans des réponses, et qu'il s'applique à tous les ouvrages enterrés sensibles et non sensibles et cela au plus tard le 1er janvier 2026.

Le référentiel du Plan du Corps de Rue Simplifié a été élaboré dans le cadre de la Commission Données du CNIG, présidée par Dominique Caillaud, Député Honoraire, et plus précisément dans le cadre de la Sous-Commission Plan Corps de Rue Simplifié et d'un de ses Groupes de Travail constitués, le Groupe de Travail PCRS Accompagnement.

L'évolution du standard PCRS pour y prévoir la possibilité d'un fond de plan de type image a été décidée le 3 février 2016.

Un groupe d'experts associant notamment des représentants des collectivités, des représentants des exploitants de réseaux et des industriels a été constitué pour établir le standard. Les premiers travaux ont été initiés en mars 2016.

La composante Image du PCRS est constitué d'un socle d'orthophotographies dont les caractéristiques minimales permettent de répondre aux exigences de la réforme dite « anti-endommagement » ou DT-DICT, portant sur les travaux à proximité des réseaux.

A. Description et exigences générales

A.1 Objectif

Ce document vise à recenser les contrôles à faire ainsi que les procédures à suivre pour effectuer chacun des contrôles requis pour évaluer la conformité aux spécifications du standard PCRS v2 des orthophotographies de résolution 5 cm/pixel et de classe de précision planimétrique de 10 cm. Ce standard, résultant pour sa composante orthophotographique d'un compromis entre le rendu de ce dernier et des besoins en restitution, est la référence à suivre.

Cette fiche fournit également des recommandations pour contrôler le produit intermédiaire que sont les images orientées ayant servi à la création de ces orthophotographies, lesquelles images orientées permettant d'établir des compléments de fond de plan vectoriel et le recalage des réseaux des exploitants.

Les spécifications techniques décrites dans ce document correspondent au contrôle des travaux suivants :

- La réalisation d'une couverture photographique aérienne numérique couleur ;
- La réalisation d'une aérotriangulation de géoréférencement des images avec la fourniture des données nécessaires à l'exploitation des images en stéréoscopie ;
- La livraison des données de positionnement de chacune des images (images orientées) ;
- La confection ou la révision du modèle numérique de terrain nécessaire à l'orthorectification des images ;
- Les corrections géométriques et radiométriques des images numériques ;
- Le mosaïquage des orthophotos unitaires ;
- La livraison des fichiers.

A.2 Prise de vues aériennes, images orientées

A.2.1 Récapitulatif des livrables pour les images orientées

A.2.1.1 Éléments issus de la prise de vue

Important : bien qu'une nomenclature unique ne soit pas imposée au niveau national pour le nommage des images orientées, l'identifiant de chaque cliché doit être unique et rapporté dans les documents les mentionnant afin de faciliter le contrôle.

- Plan de vol réel (sous forme de points de localisation des clichés) ¹
- Rapport de vol (dates des axes et clichés acquis) ;
- Rapport de recette en cas de sous-traitance
- Pour chaque image : hauteur solaire, horodatage (format tableur de préférence) ;
- Certificat d'étalonnage (calibration) de la caméra
- Tableau d'assemblage (emprises au sol des clichés)
- Tableau des recouvrements (en %) pour chaque couple de clichés (format tableur de préférence) ¹
- Images RVB 8bits, de préférence ² aux formats suivants :
 - TIFF non compressé (ou compressé sans perte LZW)
 - TIFF tuilé pyramidé compressé JPEG90 YCbCr (COG)
 - JPEG2000 compression (E100 à E095)
- Tableau de la résolution de chaque cliché (résolution maximale, moyenne et minimale) ¹

¹ Une version projet de l'élément pourra être fournie dès la réponse à l'appel d'offre

² A date, les formats jugés optimaux sont ceux indiqués, sous réserve de futures évolutions techniques. Garder les images non compressées permettra de maîtriser les transformations ultérieures. Cette compression pourra être réalisée par le destinataire final (via ligne de commande [GDAL](#) par exemple).

A.2.1.2 *Éléments de stéréopréparation et d'aérotriangulation*

- Dossier de points terrain (stéréopréparation - la localisation théorique des zones et la densité pouvant être fournis dès la réponse à l'appel d'offre), avec fichier des coordonnées et fiche descriptive des points avec photo de situation ;
- Trajectographie ;
- Rapport d'aérotriangulation ;
- Rapport de recette d'aérotriangulation en cas de sous-traitance ;
- Résultat de l'aérotriangulation (en particulier les résidus).

Important : l'identifiant de chaque cliché doit être unique et être rapporté dans les documents les mentionnant afin de faciliter le contrôle.

A.2.2 *Adéquation du matériel utilisé avec le cahier des charges*

Le matériel utilisé par le prestataire ayant réalisé la prise de vue aérienne et l'orthophotographie devra répondre de manière efficace aux spécifications énumérées dans le cahier des charges, *a minima* à celles issues du [standard du PCRS v2.0](#) validé en Commission des données du CNIG. Ce cahier des charges devra donc, en amont des acquisitions, s'assurer du respect de ces spécifications en termes de :

- Taille du pixel natif ;
- Dévers ;
- Recouvrement ;
- Précision géométrique (X, Y, Z).

La vérification se fera en comparant les documents. En cas d'exploitation en stéréoscopie des images, notamment pour géoréférencer des plans ou vectoriser des corps de rue, une attention particulière sera portée sur la focale. Elle devra permettre une bonne utilisation des clichés en stéréoscopie, à savoir une précision de pointé en Z inférieure à 12 cm et une bonne visualisation des pieds de bâtiments en centre-ville dense.

Cette capacité à visualiser les pieds de bâtiments dépend du rapport « Largeur du capteur/Focale » qui donne l'angle de la prise de vue, et du recouvrement des clichés (cf. § A.2.3). Plus la valeur de ces paramètres est élevée, plus la stéréorestitution sera aisée. Par exemple, l'expérience acquise montre qu'un rapport largeur/focale d'au moins 0.8 permettra d'atteindre des résultats acceptables en zone urbaine tout en maintenant un taux de recouvrement limité.

En cas de relief, une focale longue facilitera l'acquisition (voire rendra possible) l'obtention de l'orthophotographie final mais au prix d'une perte de précision en Z.

A.2.3 *Contrôle de la mission aérienne*

A réception des livrables de la prise de vues, plusieurs contrôles sont possibles afin de s'assurer du respect du cahier des charges et d'une bonne exploitation des données. Ces contrôles se portent sur la conformité des livrables, le respect du cahier des charges en matière de périodes de prises de vues, de zone à couvrir, de résolution native, de recouvrement...

- Hauteur solaire :
Le cahier des charges précise toujours une période de prises de vues et/ou une hauteur solaire minimale de réalisation des acquisitions afin de limiter l'impact des ombres portées. Cette hauteur solaire peut varier suivant les zones volées notamment en zones urbaines denses où les ombres sont plus présentes sur le corps de rue.
- Résolution :
Le cahier des charges précise la résolution native attendue sur la prise de vues. Cette résolution est un seuil maximal à ne pas dépasser par l'avionneur. Elle peut faire l'objet de dérogation (décrite en % ou cm).

○ Devers et recouvrement :

Les spécifications sur les devers et les recouvrements interagissent mais ces deux critères doivent également être respectés individuellement.

▪ Devers :

Les résultats doivent répondre au cahier des charges (par exemple, possibilité d'aménagement en fonction d'un zonage fourni par le commanditaire).

▪ Recouvrements :

Le recouvrement conditionne la bonne exploitation des clichés orientés en stéréoscopie. Un trou dans la couverture tri-stéréoscopique sera considéré comme anomalie bloquante. Les images sont en recouvrement longitudinal et latéral.

Dans le cadre d'une exploitation prévue des clichés orientés pour du travail de photogrammétrie en tout point du territoire, les valeurs de recouvrements minimaux sont les suivantes :

- Recouvrement longitudinal : supérieur ou égal à 72% (67%+5% de marge), de manière à ce que chaque détail du terrain soit visible sur au moins 3 images successives d'une même bande.
- Recouvrement latéral : supérieur à 55% (50%+5% de marge), de manière que chaque détail du terrain soit visible sur au moins 2 bandes adjacentes.

Dans le cadre d'une production uniquement de l'orthophoto, afin de garantir le calcul de l'aérotriangulation, les valeurs de recouvrements minimaux sont les suivantes :

- Recouvrement longitudinal : supérieur ou égal à 60% (55% + 5% de marge), de manière à ce que chaque détail du terrain soit visible sur au moins 2 images successives d'une même bande.
- Recouvrement latéral : supérieur à 30% (25% + 5% de marge).

○ Conditions des vols :

Les images ne sont acquises que lorsque l'éclaircissement et les conditions météorologiques sont satisfaisants. Le sol ne doit pas être obscurci par de la brume, de la fumée, de la poussière ou des traînées de condensation. Les images doivent être exemptes de nuages ou d'ombres de nuages mais peuvent être réalisées sous couvert nuageux homogène (cirrus). Cependant, il est souvent toléré que certaines images dans les zones à faible enjeu puissent avoir un couvert nuageux jusqu'à 5% de la surface de l'image tout en garantissant que la mosaïque finale d'ortho-images soit totalement exempte de nuage ou ombre de nuage. Pour le PCRS, il n'est également pas toléré de présence de neige ou de zone inondée sur la voirie (par exemple, les zones orange ou rouges sur <https://www.vigicrues.gouv.fr/>)

○ Règlementation spécifique :

Les zones du territoire soumises à réglementation spécifique devront apparaître sur les images qui les montrent d'une manière conforme à ladite réglementation.

Les contrôles réalisables	Moyens
<input type="checkbox"/> Nommage et exhaustivité des clichés avec un identifiant unique repris dans les documents de référence (trajectographie, aérotriangulation, hauteur solaire...)	<ul style="list-style-type: none"> - Contrôle par échantillon dans les différents fichiers reprenant les noms des clichés (plan de vols, trajectographie, résultat d'aérotriangulation.) - Contrôle automatique en extrayant la liste des noms des clichés de la valeur unique de ceux-ci
<input type="checkbox"/> Programmation des prises de vues	<ul style="list-style-type: none"> - Contrôle en s'appuyant sur les documents fournis par l'avionneur : Rapport de vols, horodatage des clichés
<input type="checkbox"/> Respect de(s) angle(s) solaire(s) du CCTP	<ul style="list-style-type: none"> - Contrôle³ en s'appuyant sur les documents fournis par l'avionneur (dans un format tableau): <ul style="list-style-type: none"> - Hauteur solaire de chaque cliché acquis ; - Horodatage des clichés ; - Le cas échéant, comparaison avec les différentes zones de hauteur solaire définies dans le CCTP.
<input type="checkbox"/> Résolution conforme au CCTP	<ul style="list-style-type: none"> - Contrôle des données fournies (tableau, SIG...) par le prestataire sur les résolutions min/moyen/max par cliché.
<input type="checkbox"/> Recouvrement longitudinal et latéral	<ul style="list-style-type: none"> - Contrôle du tableau fourni par le prestataire sur les recouvrements entre clichés - Pour un contrôle tiers, des logiciels permettant de faire ce contrôle. Néanmoins, les métriques ne sont pas toujours aisés à mettre en place et des vérifications visuelles peuvent se révéler nécessaires.
<input type="checkbox"/> Projection livrée conforme au CCTP Rappel : les projections légales autorisées en métropole ⁴ sont en Lambert 93 ou en Conique Conforme 9 zones.	<ul style="list-style-type: none"> - Contrôle : Dans le résultat de l'aérotriangulation
<input type="checkbox"/> Conditions de vols (présence de nuages, vents)	<ul style="list-style-type: none"> - Rapport de vol du prestataire détaillant les conditions météorologiques de chaque mission. - Le contrôle visuel de présence de nuages est plus facilement réalisable sur les orthophotographies.
<input type="checkbox"/> Flous sur les clichés	<ul style="list-style-type: none"> - Les images floues doivent être identifiées soit visuellement, soit à partir de métadonnées de prise de vue (vitesse rotationnelle au moment de la prise de vue), soit par le calcul d'un indicateur spécifique (par exemple granularité de l'image, analyse <i>Deep Learning</i>, etc.) - Les missions soumises à la convection (par exemple vols l'après-midi et/ou proche de reliefs etc...) peuvent entraîner des flous (à vérifier à partir du rapport de vol) <p>Note : Des prestataires ont développé des scripts de détection des zones floues sur des clichés afin d'anticiper, par exemple des reprises de vols en cas de flous majeurs sur les photos. Les prestataires peuvent être interrogés dès l'appel d'offres sur la réalisation de ces contrôles.</p>
<input type="checkbox"/> Format des images	<ul style="list-style-type: none"> - Extension des fichiers - Métadonnées des images - Contrôle visuel si compression

³ Des outils du marché permettent de faire ce type de contrôles (par exemple [SunEarthTools](#))

⁴ Rappel : Les systèmes de coordonnées légaux sont définis dans le [décret n°2019-165 du 5 mars 2019 relatif au système national de référence de coordonnées](#)

A.2.4 Contrôle de l'aérotriangulation et de la stéréopréparation

Le calcul de l'aérotriangulation permet de positionner les clichés entre eux. Le contrôle de l'aérotriangulation permet de s'assurer que le processus ne présente pas de faiblesse locale en planimétrie ou en altimétrie (pour le besoin particulier de la stéréorestoration). De la qualité de ce calcul dépend la précision géométrique de l'orthophotographie finale.

Deux types de critères sont spécifiés dans les cahiers des charges pour contrôler la précision géométrique des images orientées :

- le critère de l'EMQ (avec Min, Max) calculé sur les écarts aux points de contrôle ;
- le critère d'un gabarit d'erreur avec erreur moyenne et seuils (comme pour les classes de précision).

Ces contrôles sont réalisés en comparant les écarts entre les points issus de la restitution et les points de contrôle terrain. Les deux critères donnant à peu près les mêmes résultats, il est plus aisé d'utiliser le critère EMQ pour le contrôle de l'aérotriangulation. Néanmoins le produit final orthophoto devra lui être contrôlé en fonction du gabarit d'erreur correspondant à la classe A.

Option 1 : contrôle avec critère de l'EMQ

Exemple de tableau des contrôles des EMQ

- Les résidus aux points d'appuis sont dépendants de la pondération de ces points.
- Les écarts aux points de contrôles sont logiquement plus forts que les résidus aux points d'appuis. Ce sont ces points qui qualifient la précision du calcul et doivent répondre aux critères d'EMQ mentionné plus haut.

Exemple de tableau de résultats des contrôles des écarts aux points de contrôle

	X (m)	Y (m)	Z (m)
Moyenne des écarts	-0,013	-0,005	-0,001
Écart-type	0,027	0,026	0,036
EMQ	0,03	0,026	0,036
Min	-0,054	-0,055	-0,107
Max	0,084	0,063	0,08

- Ce tableau reprend les valeurs minimum et maximum: il permet d'identifier des erreurs locales.

Option 2: contrôle avec gabarit

Gabarit d'erreur :

	Précision Nominale	Ecart moyen en position	Seuil S1	Seuil S2
Précision aérotriangulation en planimétrie	5,0	5,6	13,6	20,4
Précision aérotriangulation en altitude	10,7	12,0	38,9	58,3

Les termes S1 et S2 sont définis en application de l'arrêté 2003 sur les classes de précision.

<https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000000794936>

Il n'existe pas de règle ferme à suivre, les besoins dépendront de la nature du terrain. Néanmoins, il est possible de dégager quelques règles générales :

- Densité et répartition de la stéréopréparation

Le prestataire, suivant la typologie du terrain, choisit le nombre de points ⁵lui semblant être nécessaire pour garantir la précision demandée. Cette densité (points d'appui et de contrôle confondus) variera selon la surface et la nature de la zone acquise :

- Densité des zones d'agglomération ;
- Répartition rural/urbain ;
- Relief;
- Surface acquise (relativement plus de points par km² sur une ville seule que sur un département)

Ce contrôle se fera visuellement (impression, SIG, etc.) et permettra de vérifier qu'il n'y a pas de manque dans la répartition des points.

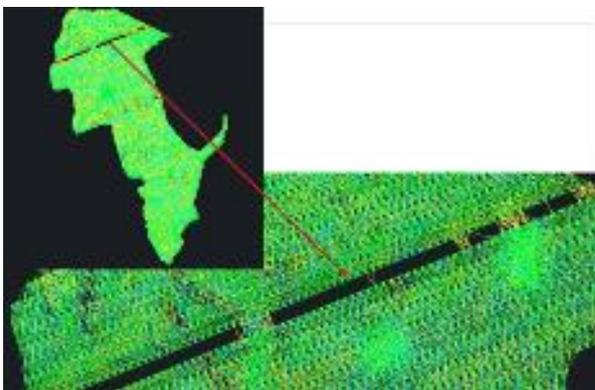
- Répartition points d'appui/points de contrôle

- Une répartition appui/contrôle de 50/50 à 40/60 (autant ou plus de points de contrôle) dénote une confiance sur la maîtrise du processus du calcul de l'aérotriangulation.
- Il est très important de vérifier que les points de contrôle n'ont pas été utilisés dans le calcul de l'aérotriangulation.

Il est également nécessaire que les points de contrôle soient éloignés des points d'appui.

- Points de liaison

- La densité et la bonne répartition des points de liaison seront vérifiés ;
- Les points de liaisons faisant référence aux images orientées, les noms devront correspondre dans le fichier les décrivant.



Exemple de bloc mal lié entre la partie nord-ouest et le reste du bloc. Pour résoudre cette faiblesse, il faut ajouter des points de liaison manuels, ou des points d'appui et de contrôle.

Note : Les contrôles de la prise de vues aériennes et des images orientées peuvent-être réalisés avant la livraison de l'orthophotographie afin de détecter au plus tôt les éventuels problèmes.

⁵ Cf. annexe 2 sur les « exigences relatives à la production de points terrain »

Check-list des contrôles réalisables	Moyens
<input type="checkbox"/> Précision géométrique de l'aérotriangulation	<p>Un rapport d'aérotriangulation intégrant une comparaison de la précision atteinte par rapport aux spécifications fait partie de la liste des livrables ;</p> <p>La densité et la bonne répartition des points de liaison ;</p> <p>Contrôle de la répartition des points d'appui et des points de contrôle ;</p> <p>Contrôle de la répartition statistique des écarts entre les points de terrain et les points de contrôle (réalisés par le prestataire ou alors par le donneur d'ordre de manière indépendante pour plus de sécurité) sur les images ;</p>
<input type="checkbox"/> Projection utilisée pour l'aérotriangulation	<p>La projection doit être conforme au cahier des charges.</p> <p>La reprojection d'une aérotriangulation étant complexe et risquée, il est préférable que la projection du calcul soit la même que la projection dans laquelle on exploitera les clichés orientés, à moins de bien maîtriser le processus.</p>

A.3 Orthophotographie

A.3.1 Récapitulatif des livrables pour les orthophotographies

- Dalles au format JPEG2000 sans perte ou GeoTIFF non compressé suivant un nommage défini au CCTP;
- Graphe (lignes) de mosaïquage dans un fichier SIG unique ;
- Rapport de fin d'orthophotographie ;
- Rapport de recette de fin d'orthophotographie en cas de sous-traitance ;
- Tableau d'assemblage numérique dans un format SIG.

- Taille des dalles

Le standard n'impose pas de contrainte sur la taille des dalles. Celles-ci peuvent être livrées en 1000m x1000m ou en 200m x 200m. Néanmoins, dans un souci d'homogénéisation vis-à-vis des utilisateurs finaux, il est fortement recommandé de préférer les dalles en 200m x 200m et selon une grille nationale (basée sur la projection Lambert 93 en métropole), en hectomètres pairs. La livraison de l'orthophotographie doit être effectuée en dalles pleines. Contrairement aux images orientées, il est préférable de respecter une nomenclature nationale pour nommer les dalles de l'orthophotographie. Celle-ci est détaillée en Annexe 1.

- Modèle Numérique de Terrain (MNT)

Le prestataire a une obligation sur le résultat final, c'est-à-dire le respect de la classe de précision voulue. Sauf volonté du donneur d'ordre, il est donc libre de son choix sur la source du MNT utilisé (aucun en cas de corrélation automatique). Pour information, l'IGN donne libre accès à des MNT de diverses résolutions sur le site Géoservices⁶. Selon leurs [sources](#), certains sont compatibles avec la précision attendue pour l'orthophotographie.

- Mosaïquage : le prestataire produira dans un format SIG vectoriel (ex. SHP) le fichier des polygones jointifs de la mosaïque contenant au minimum le nom de l'image la date et l'heure d'acquisition.
- Précision planimétrique de l'orthophotographie : dans le CCTP, un gabarit de référence est fourni au prestataire. Ce gabarit servira de support au contrôle de précision sur la base de levés terrain.

Pour mener à bien les contrôles visuels, il est intéressant de créer un raster unique par bloc de missions avec un certain niveau de pyramide en format ECW, GeoPackage (GPKG) ou COG.

⁶ <https://geoservices.ign.fr/documentation/diffusion/telechargement-donnees-libres.html>

A.3.2 Synthèse des contrôles à effectuer sur l'orthophotographie

Les contrôles réalisables	Moyens
<input type="checkbox"/> Nommage des orthophotos suivant la norme définie dans le CCTP	<p>- Contrôle des images suivant le nommage exigé. Il est fréquent que des dalles d'orthophotographies soient ajoutées en fin de processus au niveau d'éventuelles reprises (ouvrages d'art par exemple), ce qui peut entraîner des erreurs localisées sur les nommages. Le contrôle doit donc porter sur la totalité des fichiers et non sur un échantillon.</p>
<input type="checkbox"/> Projection des orthophotos	<p>- Vérifier que la projection est bien renseignée dans l'en-tête du format GeoTIFF le cas échéant ou dans les fichiers de projection (.TFW, .JGW...)</p>
<input type="checkbox"/> Exhaustivité des données	<p>- S'appuyer sur un tableau d'assemblage généré à partir des dalles livrées (via GDAL, QGIS...) pour vérifier la couverture exacte des dalles livrées</p>
<input type="checkbox"/> Taux de compression (le cas échéant)	<p>- Le taux de compression n'est pas une information embarquée dans les métadonnées du Raster. Le contrôle ne peut se faire qu'à partir d'un contrôle visuel en zoomant fortement sur l'image et/ou en vérifiant le poids moyen des dalles de l'orthophotographie. Il est parfois plus simple de compresser soi-même les orthophotographies.</p>
<input type="checkbox"/> Présence de pixels noir et blancs. Il peut arriver que subsistent des pixels blancs ou noirs sur des livraisons : Reprises éventuelles au niveau des ouvrages d'art non appliquées, dalles livrées non pleines, artefacts localisés.	<p>- Contrôle généralement automatisé de la présence de pixels blancs ou noirs sur chaque dalle d'orthophotographies.</p>
<input type="checkbox"/> Qualité visuelle de l'orthophotographie : <ul style="list-style-type: none"> - Redressement des ouvrages d'art ; - rupture visuelle significative sur le graphe de mosaïquage ; - Flou ; - Ombre de nuage ; - Radiométrie ; - Cisaillement au sol ; - Cisaillement des bâtiments. 	<p>- Contrôle visuel systématique des ouvrages d'art. Leur localisation est disponible dans une couche de la BD Topo (en licence ouverte)</p> <p>- Contrôle visuel le long des lignes de mosaïquage pour repérer les éventuels cisaillements ou artefacts le long des lignes</p> <p>- Contrôle visuel par échantillon (zones bâties) pour repérer des flous. Les flous sont présents sur les clichés bruts et des contrôles existent côté prestataire (voir A.2.3)</p> <p>- Un cisaillement au sol supérieur à 5 pixels est révélateur d'un problème potentiel de l'aérotriangulation ou du MNT ;</p> <p>- Un cisaillement en sursol est tolérable s'il est justifié par une amélioration de la visibilité au sol.</p>
<input type="checkbox"/> Respect des dévers autorisés	<p>- Soit par un calcul exploitant les éléments de la prise de vue et du graphe de mosaïquage ;</p> <p>- Soit par un contrôle par échantillon sur la base de la hauteur des bâtiments, fournie par exemple par la BD Topo.</p>
<input type="checkbox"/> Précision planimétrique de l'orthophotographie	<p>- La précision planimétrique est contrôlée au regard du gabarit fourni au prestataire dans le CCTP. Des points terrain sont levés afin d'être pointés sur l'orthophotographie. (voir A.3.4)</p> <p>- Répartition des points de contrôle : la répartition peut tenir compte des éléments suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Densité des zones d'agglomération ; - Répartition rural/urbain ; - Relief et notamment quantité de rues en pente ; - Quantité d'ouvrages d'art.

A.3.3 Couleurs et radiométrie

Deux étapes composent le traitement radiométrique :

- La correction des anomalies dues aux conditions de la prise de vue (ensoleillement, variation de contraste et d'intensité sur les bords de l'image,...). Cette étape concerne donc les corrections à effectuer sur chaque photographie.
- L'homogénéisation de l'ensemble des dalles et le rehaussement des couleurs.

Le traitement proposé par le maître d'œuvre devra permettre de distinguer le maximum d'informations au sol et dans les ombres portées en privilégiant la visibilité des objets à l'esthétique du produit final. Une attention particulière sera portée à la visibilité des objets suivants : trottoirs, affleurants de réseaux, candélabre, marquage au sol, route.

Contrôle :

Un balayage visuel de l'orthophotographie sera réalisé. Lorsque le paysage l'exige dans certains cas spécifiques (carrières, toits particuliers...) une saturation pourra être acceptée.

Durant ce balayage visuel, une recherche des cisaillements sera également réalisée.

A.3.4 Contrôle géométrique de l'orthophotographie

Pour le contrôle qualité de la géométrie de l'orthophotographie, il est demandé d'utiliser la méthode des classes de précision, dont le gabarit correspondant est rappelé ici.

Classe 10 cm	EMQ cible	S1	S2 (seuil à ne pas dépasser)
Ortho-photo plan (acquisition aérienne, pixel = 5cm)	11,3	27,2	40,8

Un rapport de fin d'orthophotographie avec une comparaison par rapport aux spécifications fait partie de la liste des livrables. Ce rapport est à vérifier.

A l'exception du point ci-dessus, les règles générales indiquées pour le contrôle des images orientées s'appliquent également pour celui des orthophotographies. Le prestataire, suivant la typologie du terrain, choisit le nombre de point qui lui semble être nécessaire pour garantir la précision demandée. Cette densité (points d'appui et de contrôle confondus) variera selon la surface et la nature de la zone acquise :

- Densité des zones d'agglomération ;
- Répartition rural/urbain ;
- Relief ;
- Importance du nombre de rues en pente ;
- Surface acquise (relativement plus de points par km² sur une ville seule que sur un département)

Contrôle :

Un rapport de fin d'orthophotographie avec une comparaison par rapport aux spécifications fait partie de la liste des livrables. Ce rapport est à vérifier.

Des points de contrôle seront vérifiés sur le terrain. La quantité de points de contrôle terrain est à définir en fonction du territoire concerné, de ses caractéristiques, et des contrôles réalisés au préalable. Il est préférable de regrouper les points par site de contrôle pour s'affranchir des masques (ombres, véhicules etc.), de l'ambiguïté des objets à pointer, ou d'une erreur ponctuelle sur un point.

L'ordre de grandeur est de 1 point de contrôle tous les 10 km², avec un minimum de 20 sites de 1 à 4 points, selon la nature de la zone.

Pour des chantiers de plus de 500 km², les points pourront être agrégés en sites de 2-4 points.

Pour les chantiers de plus de 1000 km², il est possible de tendre vers 1 site tous les 20 à 40 km², en fonction de la complexité du chantier.

Annexe 1 : Règle de nommage des orthophotographies 200m x 200m

Orthophotographie

RVB 3x8b

Résolution 5 cm

Dalles 200m x 200m (4000 x 4000 pixels)

- Origine des pixels en coin supérieur gauche
- Pas de NO_DATA (dalles entières)

Nomenclature des dalles :

PréfixeLibre-XXXXX-YYYYY-LA93-0M05-RVB-SuffixeLibre.TIF

Avec :

Obligatoire :

- **XXXXX** et **YYYYY** : les coordonnées hectométriques entières du coin haut-gauche du pixel nord-ouest de la dalle sur 4 caractères. Grilles en hectomètres pairs (XXXXX et YYYYY pairs)

Optionnel :

- PréfixeLibre : texte optionnel au choix
- 0M05 pour 0,05m (5cm)
- LA93 pour Lambert 93 (ou en Conique Conforme, CC47 par exemple, etc.)
- SuffixeLibre : texte optionnel au choix

Exemple :

31-2021-05732-62594-LA93-0M05-RVB.TIF

Annexe 2 : Exigences relatives à la production de points terrain

Définition d'un point terrain

Un point terrain respecte au mieux l'ensemble des critères suivants :

- **détail ponctuel** sur le terrain (centre de plaque, centre de marque au sol type « cédez-le-passage », intersection d'axe de bandes peintes ou pavées peuvent être par exemples de bons points terrain) ;
- situé sur une **zone plate** (pente < 5%) et dans un environnement ne présentant pas de masque ni d'objet pouvant gêner sa visibilité sur les images (se tenir à bonne distance des bâtiments et de la végétation). Le point terrain est situé au sol (pas de mur, muret, et..) ;
- **le détail choisi est visible sur les images aériennes**, ponctuel, facilement identifiable et sans risque d'être confondu avec un autre détail de son environnement proche (confusion entre deux plaques ou deux intersections par exemple) ;
- **contraste prononcé** entre l'objet choisi et la surface sur laquelle il repose afin qu'il ressorte suffisamment sur les images aériennes ;
- **deux points terrain au minimum** seront déterminés sur chaque site, pour assurer la présence de l'un d'eux au moins sur les images. Cependant ces deux points sont considérés comme indépendants. Privilégier des points de natures différentes sur des supports différents (ne pas prendre deux plaques sur le même trottoir par exemple) ;
- **pérenne** dans la mesure du possible, pour permettre une réutilisation potentielle sur les prises de vues ultérieures (privilégier les plaques aux marquages au sol).

Systèmes de référence

Les coordonnées des points terrain seront livrées dans la réalisation de système géodésique⁷ RGF93⁸, en projection Lambert93.

Pour la France continentale, les altitudes seront livrées dans la réalisation du système de référence verticale NGF-IGN 1969. Elles seront issues d'un rattachement altimétrique ou de transformation des hauteurs ellipsoïdales à l'aide de la grille de conversion altimétrique RAF20⁹.

Pour la Corse, les altitudes seront livrées dans le système légal NGF-IGN 1978. Elles seront issues d'un rattachement altimétrique ou de transformation des hauteurs ellipsoïdales à l'aide de la grille de conversion altimétrique RAC09¹⁰.

Précision attendue

La précision attendue de détermination des points terrain, dans les systèmes de références, est inférieure ou égale à ± 3 cm à 1 sigma en planimétrie et inférieure ou égale à ± 5 cm à 1 sigma sur la hauteur ellipsoïdale.

⁷ Arrêté du 5 mars 2019 (<https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000038203601/>)

⁸ <https://geodesie.ign.fr/index.php?page=rgf93>

⁹ <https://geodesie.ign.fr/contenu/fichiers/documentation/grilles/metropole/RAF20.tac>

¹⁰ <https://geodesie.ign.fr/contenu/fichiers/documentation/grilles/metropole/RAC09.mnt>

Livrables attendus

Pour chaque point, le titulaire fournira :

- Le fichier Excel YYDD_nom_prestataire_ptt.xlsx (YY est l'année sur deux caractères et DD le numéro du département) dûment rempli :

La feuille « Descriptif » sera renseignée par les soins du titulaire à raison d'une ligne par point mesuré. Cette feuille comprend différentes informations :

- La colonne « **nom** » : nom du point qui suivra un formalisme particulier : **YYDDXXX** (YY est l'année en cours, DD le numéro du département et XXX est un numéro unique) ;
- La colonne « **nature_objet** ». Cette colonne **n'accepte que les valeurs préétablies dans la liste** : Autre, Avaloir carré, Avaloir rectangulaire, Avaloir rond, Marquage autre, Marquage carré cédez passage, Marquage intersection bande stop, Marquage intersection lignes blanches, Marquage intersection lignes bleues, Marquage intersection lignes jaunes, Marquage kilométrique, Passage piétons, Plaque autre, Plaque carrée, Plaque rectangulaire, Plaque ronde et Prébalise ;
- La colonne « **support** ». Cette colonne **n'accepte que les valeurs préétablies dans la liste** : Autre, Chemin, Dalle, Parking, Place, Rigole, Rond point, Route, Terrain de sport, Terrain naturel, Terre-plein, Trottoir ;
- La colonne « **taille_objet_cm** ». Il s'agit de la taille de l'objet en cm :
 - côté d'un carré,
 - diamètre d'un cercle,
 - longueur et largeur d'un rectangle (exemple de format : 25x35).
- La colonne « **date_mesure** » au format YYYY-MM-DD (YYYY = année, MM = mois, DD = jour) ;
- La colonne « **complement_nature** », ce champ texte est prévu pour spécifier plus précisément la nature de l'objet mesuré (centre, axes..) ;
- La colonne « **nature_support** ». Cette colonne **n'accepte que les valeurs préétablies dans la liste** : Bitume, Béton, Gazon synthétique, Gravillons, Herbe, Inconnu, Pavés, Sable, Terre ;
- La colonne « **e** » : la coordonnée Easting en projection en m avec 3 décimales ;
- La colonne « **n** » : la coordonnée Northing en projection en m avec 3 décimales ;
- La colonne « **h** » : la hauteur ellipsoïdale, en m avec 3 décimales ;
- la colonne « **alt** » : l'altitude, en m avec 3 décimales.

La feuille « Précision », rapport de calcul des coordonnées des points mesurés comportant, *a minima*, la méthode d'acquisition et les précisions associées aux coordonnées. Il est possible de joindre au fichier un rapport de calcul logiciel.

- Un dossier nommé YYYY_DD_Photos_terrain comprenant deux photos (au format .jpg) par point, prises sur le terrain permettant l'identification du point et sa localisation dans son environnement proche. Ces photos sont au format paysage avec une résolution maximale de 1280 x 960 pixels et nommées du nom du point suivi de « _1 » et « _2 » (YYDDXXX_1, YYDDXXX_2)