



UNION EUROPÉENNE
Fonds Européen de Développement Régional



CAHIER DES CLAUSES TECHNIQUES PARTICULIÈRES (C.C.T.P.)

OBJET DU MARCHÉ

**Production d'une orthophotographie
(orthorectification) sur la région Grand Est**

Marché n°

SOMMAIRE

1. CONTEXTE ET BESOIN GENERAL	3
1.1. GéoGrandEst : La coopération pour l'information géographique du Grand Est	3
1.2. Utilisation du référentiel géographique « orthophotographie numérique »	3
1.3. Principaux utilisateurs du référentiel géographique « orthophotographie numérique »	4
2. SPECIFICATIONS	5
2.1. Définition des travaux.....	5
2.2. Propriété des données	5
2.3. Fourniture des prises de vues et des images orientées.....	5
2.4. Orthorectification	8
2.5. Traitements radiométriques.....	10
2.6. Mosaïquage.....	10
3. LES LIVRABLES.....	11
3.1. Livraison par blocs géographiques de production.....	11
3.2. Calendrier de livraison.....	11
3.3. Plan d'assurance qualité	12
3.4. Echantillons d'images avant rehaussement global	12
3.5. Les lignes de mosaïquage	12
3.6. Rapport de traitement des images	12
3.7. Découpage et formats d'images	13
3.8. Nombre d'exemplaires et support physique de livraison.....	14
3.9. Métadonnées.....	15
4. CONTROLE ET RECEPTION DES DONNEES	16
4.1. Contrôle qualité	16
4.2. Contrôle de format.....	16
4.3. Contrôle de précision	16
4.4. Contrôle de cohérence	16
4.5. Contrôle radiométrique.....	17
4.6. Contrôle de la qualité du mosaïquage	17
ANNEXE 1	18
Spécifications techniques des caméras du fournisseur de données sources	18
Détail des prétraitements appliqués aux images	26
ANNEXE 2 : Préparation des données (batch gdal).....	28

1. CONTEXTE ET BESOIN GENERAL

L'objet de la présente consultation s'intitule « Production d'une orthophotographie numérique sur la région Grand Est ».

1.1. GéoGrandEst : La coopération pour l'information géographique du Grand Est

L'information géographique sous toutes ses formes est une ressource indispensable pour la connaissance et la gestion des territoires ainsi que pour le suivi et l'évaluation des politiques publiques. De par son approche transversale, cette information est un outil d'aide à la décision indéniable, mais également un outil de communication et de modernisation de l'action publique.

On appelle « GéoGrandEst », l'ensemble de la dynamique autour de la coopération pour l'information géographique du Grand Est englobant à la fois les aspects techniques de la plateforme ainsi que l'animation et les projets qui y sont liés. De manière générique on nomme « GéoGrandEst », l'Infrastructure de Données Géographiques (IDG) du Grand Est.

La production d'une orthophotographie régionale de Haute Résolution sur le Grand Est fait partie des services socles de l'IDG pris en charge par l'État et la Région.

Un groupe de travail GéoGrandEst a participé à la définition des modalités techniques et organisationnelles de ce produit au regard de la faisabilité financière, des contraintes du fournisseur de données sources et des besoins des acteurs locaux.

La Région, l'Etat en région et le fournisseur de données sources ont convenu d'un partenariat de coproduction d'une orthophotographie régionale 2018-2019 adaptée aux besoins du territoire Grand Est. Le présent marché porte sur l'ortho-rectification de 8 départements, hors 55 et 88.

1.2. Utilisation du référentiel géographique « orthophotographie numérique »

Le référentiel géographique est créé pour répondre aux besoins dans le cadre de l'exécution des missions publiques qui concernent notamment les domaines suivants :

- Environnement (assainissement, prévention des risques naturels et technologiques, développement durable, protection des milieux naturels, développement durable, qualité des eaux, etc.)
- Transports déplacements etc.
- Aménagement / ingénierie publique
- Politique de la ville / renouvellement urbain
- Coordination territoriale et économie
- Enseignement
- Agriculture
- Sécurité / défense (gestion de crise, etc.)

Les principaux usages qui sont faits du référentiel géographique sont :

- Le traitement et l'exploitation des données via des progiciels bureautiques (SIG, DAO, CAO, traitement d'image, PAO) sur des ordinateurs personnels, sur un réseau informatique local ou étendu (applications client-serveur ou Intranet),
- L'édition de cartes thématiques et/ou statistiques sur les fonds référentiels,

- La publication (papier/numérique/Intranet/Internet) d'informations sur les fonds référentiels.

Pour un usage facilité, les orthophotographies seront mises à disposition et/ou diffusées sous forme de flux publics via la plateforme technique de l'IDG GéoGrandEst (www.geograndest.fr).

1.3. Principaux utilisateurs du référentiel géographique « orthophotographie numérique »

Les principaux utilisateurs identifiés du référentiel géographique sont les suivants, sans prétention d'exhaustivité :

- Services déconcentrés de l'État
- Collectivités territoriales et leurs établissements publics (EPCI, ...)
- Autres établissements publics (IGN, EPF, Universités, ...) ou exerçant des missions de service public (ERDF, GRDF, ...)
- Organismes consulaires et associatifs
- Organismes privés

2. SPECIFICATIONS

2.1. Définition des travaux

Le prestataire aura pour mission de réaliser une orthophotographie numérique couleur et infrarouge couleur à partir des prises de vues aériennes (réalisées par le fournisseur de données sources) du territoire de la région Grand Est en 2018-2019, avec une zone tampon de 1 km sur les espaces frontaliers internationaux et de 500m sur les espaces interrégionaux ainsi que la ville frontalière de Kehl.

2.2. Propriété des données

La Région Grand Est est le maître d'ouvrage (MO) de cette prestation. Tous les produits issus de cette prestation sont propriété de la Région, de l'État en région au titre du copilotage GéoGrandEst ainsi que du fournisseur de données sources au titre de la coproduction du projet (contractualisation entre les parties). Les copropriétaires se réservent le droit de définir d'un commun accord la licence des données issues de la prestation.

2.3. Fourniture des prises de vues et des images orientées

Les prises de vues et l'aérotriangulation sont réalisées par le fournisseur de données sources dans le cadre d'un partenariat de co-production avec la Région Grand Est, à une résolution native de 20 cm sur les départements 54, 57, 67, 68 et de 25 cm sur les départements 08, 10, 51, 52.

2.3.1. Spécification technique des prises de vues fournies :

Matériel

La caméra utilisée sera l'une des caméras dites « V2 huit têtes ». La taille des images est d'environ 14000X10000 pixels. Les caractéristiques techniques de cette caméra sont décrites à l'annexe 1.

Focale(s) utilisée(s)

Selon les contraintes lors des jours de vol, les focales utilisées sont les focales de 125 mm et de 135 mm.

Résolution native

La résolution native est entendue comme la taille du pixel sol dans le canal panchromatique. Elle est de 20 cm sur les départements 54, 57, 67, 68 et de 25 cm sur les départements 08, 10, 51, 52.

Emprise

La région Grand Est est couverte avec une zone tampon de 1000m sur sa limite transfrontalière internationale et de 500 m sur ses autres limites ainsi que la ville frontalière de Kehl.

Les prises de vues aériennes correspondantes à ce présent marché seront réalisées en 7 blocs géographiques correspondant aux campagnes du fournisseur de données sources :

- départements 54 et 57,
- département 67 et ville de Kehl,
- département 68,
- département 08,
- département 10,
- département 51,
- département 52.

Ces blocs correspondent à des unités géographiques pleines, respectant globalement les limites administratives mais sans chercher à leur correspondre parfaitement.

Bloc	Année souhaitée pour la PVA	Résolution native	Ortho-rectification
Département 67 + Kehl	2018	20 cm	prestataire
Département 68	2018	20 cm	prestataire
Départements 54 et 57	2018	20 cm	prestataire
Département 55*	2018 obligatoire	25 cm	hors-marché
Département 88*	2018 obligatoire	25 cm	hors-marché
Département 08	2019	25 cm	prestataire
Département 10	2019	25 cm	prestataire
Département 51	2019	25 cm	prestataire
Département 52	2019	25 cm	prestataire

**les départements 55 et 88 ne sont pas concernés par ce présent marché*

2.3.2. Nombre prévisionnel de clichés

Les plans de vols provisoires établis par le fournisseur de données sources permettent de déterminer les volumes suivants, en termes de nombre de clichés (quel que soit la résolution native) et d'axes de vol (y compris axes transversaux) :

Ces éléments sont donnés à titre informatif :

Bloc	Nombre axes	Nombres de clichés
Départements 54 et 57	70	8600
Département 67 et ville de Kehl	48	4000
Département 68	38	3300
Département 08	50	3800
Département 10	40	4300
Département 51	45	5700
Département 52	43	4650

Canaux

Les prises de vues ont lieu dans les canaux panchromatique, rouge, vert, bleu et proche infrarouge.

Hauteur solaire

La PVA sera réalisée avec une hauteur solaire minimum de 30°, dans la mesure du possible les zones dites en agglomération seront réalisées avec une hauteur solaire supérieure à 45°.

Recouvrements

Les recouvrements longitudinaux et latéraux seront choisis de manière à limiter le dévers à 34% en bord de cliché utile. Ils seront de 60% en longitudinal et de 20% en latéral.

Défauts nuisant à l'exploitation

Les clichés seront exempts de nuages, d'ombres de nuages, de fumée importante, de brume ou d'autres défauts susceptibles de nuire à l'exploitation envisagée. Seules les fumées ou vapeurs industrielles non détectables à priori sont tolérées.

Période de prise de vues

- Le programme annuel prévisionnel est de réaliser les départements 54, 57, 67, 68 en 2018 et les départements 08, 10, 51, 52 en 2019 si les conditions météorologiques le permettent.
- Les campagnes de prises de vues s'échelonnent après la pousse des feuilles et avant leur chute, soit généralement entre le 15 avril et le 15 septembre, si les conditions météorologiques le permettent.

Dossier fourni à l'issue de la PVA

Le fournisseur de données sources fournira l'ensemble des données sous forme d'un dossier complet de prises de vues (rapport de recettes) comprenant :

- un rapport de vol, indiquant notamment les dates et heures des prises de vues, conditions météorologiques, angles solaires, la trajectographie, la radiométrie (quelques images), les éléments sur la présence de nuages, les éventuelles reprises de vol, les difficultés rencontrées,
- le certificat d'étalonnage de la caméra,
- les caractéristiques de la prise de vue,
- le plan de vol réel,
- le tableau d'assemblage des photographies effectivement réalisées et leur numérotation.

Le plan de vol réalisé sera fourni de la façon suivante :

- le format retenu est le Shapefile en projection Lambert 93.
- les axes d'acquisition sont décrits par une représentation de l'emprise des clichés associée aux attributs :
 - Nom : identifiant de la mission
 - Id : identifiant (numéro) de la bande
 - Date : date du vol
 - Début : heure de début de la bande
 - Fin : heure de fin de la bande.

Les nadirs des acquisitions d'images aériennes sont décrits par des ponctuels, associés aux attributs :

- Nom : identifiant de la mission
- Id : identifiant (numéro) de l'image
- Date : date du vol
- Heure : horodatage de l'acquisition de l'image.

Seuls les axes acquis et exploitables sont fournis.

2.3.3. Fourniture des images orientées

Le fournisseur de données sources mettra à disposition du prestataire au format JPEG non compressé :

- pour les départements 54-57, 67 et 68 (résolution native à 20 cm) :
 - une image couleur RVB de résolution 20 cm (pour chaque cliché natif), encodée sur 8 bits par canal – c'est le fournisseur de données qui réalise la fusion RVB et niveau de gris,
 - une image proche infrarouge (PIR) de résolution 20 cm encodées sur 8 bits (monocanal) – l'association avec les autres canaux sera faite par le prestataire.
- pour les départements 08, 10, 51 et 52 (résolution native à 25 cm) :
 - une image couleur RVB de résolution 25 cm (pour chaque cliché natif), encodée sur 8 bits par canal – c'est le fournisseur de données qui réalise la fusion RVB et niveau de gris,
 - une image proche infrarouge (PIR) de résolution 25 cm encodées sur 8 bits (monocanal) – l'association avec les autres canaux sera faite par le prestataire.

Le fournisseur de données sources réalisera également un calcul d'aérotriangulation permettant d'associer aux images des orientations précises (Ecart moyen quadratique de l'ordre d'un pixel en X et en Y et de 1,5 pixel en Z).

Seront fournis à l'issue de l'aérotriangulation :

- Le fichier caméra qui contient la distance principale et la position du point principal d'autocollimation, ce qui est suffisant car les images sont corrigées de la distorsion ;
- Les positions et les orientations obtenues à partir du calcul d'aérotriangulation réalisé par le fournisseur de données sources ;
- Un rapport sur le calcul de l'aérotriangulation faisant notamment apparaître les statistiques sur les écarts aux points de contrôle.

Ces données d'orientation associées aux images seront livrées dans un fichier texte tabulé donnant pour chaque image les coordonnées E, N et Z du sommet de prise de vue et les trois angles d'orientation absolue *omega*, *phi*, *kappa*, ainsi que l'identification de la caméra utilisée.

Des exemples d'association entre des coordonnées image et des coordonnées terrain seront livrés pour permettre au prestataire de vérifier sa bonne compréhension des données d'orientation.

Les coordonnées des points « terrain » nécessaires au calage et au contrôle des aérotriangulations sont issues de déterminations par le fournisseur de données sources. Dans une démarche visant à fournir plus de points de contrôle éventuels et dans la limite des autorisations de licence possible, d'autres points de levés pourront être fournis par les agglomérations et autres partenaires de la Région.

2.4. Orthorectification

Les différentes utilisations de l'orthophotographie nécessitent la réalisation d'un produit de grande qualité, tant en ce qui concerne la précision et le mosaïquage, que du point de vue du rendu des couleurs naturelles et des contrastes.

La réalisation de l'orthophotographie doit donc produire un résultat :

- exempt de toute lacune ou nuage,

- préservant la continuité et l'intégrité, sans flou, cisaillement, coupure ni duplication, des bâtiments et des éléments tels que bords de chaussée, voies ferrées, quais...
- présentant une couverture sans rupture d'aspect colorimétrique sur l'ensemble de la zone ni perte d'information radiométrique (excès de zones saturées).

L'orthophotographie est réalisée en deux versions, suivant les canaux utilisés :

- Orthophotographie couleurs vraies,
- Orthophotographie IRC (infrarouge couleurs conventionnelles).

Zone d'emprise

La zone couverte par ces deux produits comprend l'intégralité des départements 08, 10, 51, 52, 54, 57, 67 et 68 avec une zone tampon de 1 km sur les espaces frontaliers internationaux et de 500m sur les espaces interrégionaux ainsi que la ville frontalière de Kehl conformément aux données acquises lors de la prise de vues décrite au chapitre 2.3. La Région Grand Est fournit l'emprise exacte de l'orthophotographie (appuyée sur des kilomètres ronds du système de projection Lambert-93).

Modèle Numérique de Terrain / Elevation

L'orthophotographie est générée à partir du MNT le plus récent disponible transmis par la Région Grand Est à savoir :

- le RGE Alti de l'IGN,

Pour information, un inventaire des données acquises par LIDAR est actuellement en cours au sein de GéoGrandEst, elles pourront éventuellement être utilisées si les mises à disposition le permettent.

Résolution

Rappelons que la résolution native des clichés sources des départements 54-57, 67 et 68 est de 20 cm et la résolution native des clichés sources des départements 08, 10, 51 et 52 est de 25 cm.

La résolution finale de l'orthophotographie étant souhaitée à 20 centimètres sur l'ensemble des blocs sources fournis, les départements 08, 10, 51 et 52 devront faire l'objet d'un rééchantillonnage de 25 à 20 cm réalisé par le prestataire. Le rééchantillonnage de 25 cm à 20 cm peut être réalisé soit à la fin des traitements radiométriques de l'ortho-image, soit au moment du dallage.

Un rééchantillonnage à 50 cm est également demandé pour tous les blocs pour les données couleurs et IRC.

Classes de précisions attendues

En application de l'arrêté du 16 septembre 2003 portant sur les classes de précisions applicables aux catégories de travaux topographiques réalisés par l'État, les collectivités territoriales et leurs établissements publics ou exécutés pour leur compte, il est demandé au prestataire de respecter les prescriptions définies ci-après :

- La classe de précision totale planimétrique de l'orthoimagerie à résolution de 20 cm doit être de 50 cm et est évaluée selon le modèle standard.

Projection

La projection suivante est utilisée pour l'orthophotographie et ses différents livrables :

- Lambert-93 (RGF93) – EPSG 2154

Traitement des zones interdites de survol

Le « floutage » des emprises des zones interdites présentes sur les clichés aériens sera réalisé par le fournisseur de données sources.

2.5. Traitements radiométriques

Aucun traitement de compression, de ré-échantillonnage ou de re-projection successive, risquant de dégrader la qualité finale, n'est appliqué durant les phases de réalisation.

Les images doivent exclure toutes zones nuageuses, d'ombres de nuages, de fumées importantes, de brume, d'excès de neige, de zébrures de lumières, ou autre défauts susceptibles de nuire à leur lisibilité. Les images doivent présenter un contraste homogène sur l'ensemble de la région. Les détails doivent apparaître dans les zones d'ombre. Les images ne doivent pas présenter de zones floues.

Le titulaire effectue donc une correction des anomalies globales et locales de radiométrie pour assurer l'homogénéité des nuances, des contrastes et des couleurs entre les clichés : correction de l'éclaircissement, des textures, des flous, des couleurs etc.

Le rendu final doit être le plus naturel et le moins sombre possible (au sens où la luminosité moyenne dans les différents canaux de l'image finale – où chaque couleur élémentaire est encodée sur 8 bits soit 256 valeurs – doit être comprise entre 80 et 110).

Lors de la phase de rehaussement global, le prestataire soumet à la Région plusieurs propositions de résultat final (au moins 3) au regard des livrables attendus sur des territoires différents. Cette étape de mise au point est à indiquer dans le planning prévisionnel. Il doit également préciser le ou les logiciels utilisés et les traitements mis en œuvre afin de garantir l'homogénéité radiométrique de l'ensemble de la zone de projet.

Il n'est pas appliqué de traitement radiométrique particulier sur les images IRC.

2.6. Mosaïquage

Les techniques de mosaïquage utilisées doivent garantir la continuité géométrique des éléments représentés sur les prises de vues (réseaux, bâti, paysages...). Elles doivent favoriser les points de vue les plus verticaux pour contenir les effets du relief.

Le prestataire effectue donc sur le mosaïquage toutes les retouches nécessaires pour garantir l'intégrité de la forme des objets topographiques, le continuum d'aspect du terrain dans l'orthomosaïque et surtout l'exactitude géométrique de l'orthoimage finale.

Un fichier vectoriel représentant les lignes de mosaïquage effectivement appliquées pour la création de l'orthomosaïque doit être fourni avec les données pour le contrôle.

Les images IRC sont mosaïquées en utilisant les mêmes limites de mosaïquage retouchées que les images en couleurs naturelles.

3. LES LIVRABLES

3.1. Livraison par blocs géographiques de production

La livraison se fera par blocs conformément à leur description au point 2.3.1.

Le chantier de prise de vues réalisé par le fournisseur de données sources est organisé selon ces blocs, chacun étant livré indépendamment mais toujours entier. La production de l'orthophotographie respecte par conséquent le même principe organisationnel, chaque bloc pouvant être produit indépendamment, y compris selon un planning différencié.

Ainsi, les photographies aériennes sont livrées par le fournisseur de données sources selon ce découpage en bloc et au fur et à mesure de l'avancement du chantier de prise de vues.

Dans le cas de conditions météorologiques qui ne permettent pas la réalisation de la prise de vues sur certains blocs en 2018, ceux-ci seront reportés en 2019. De la même manière, des blocs prévus en 2019 pourront être reportés en 2020, voire 2021.

3.2. Calendrier de livraison

Le titulaire fournit un calendrier précis de sa prestation : traitement des images, traitement des mosaïques, date de fourniture à la Région des livrables indiqués ci-dessous. **L'optimisation du calendrier de réalisation de la prestation, notamment par rapport aux délais maximum de livraison, est un critère de jugement des offres.**

Une réunion de démarrage, en présence du maître d'œuvre ainsi que du fournisseur de données sources, est organisée dans un délai de 1 semaine à compter de la date de notification du marché. Au minimum 1 réunion de suivi de chantier sera prévue par mois travaillé. Le titulaire doit répondre à toute demande de réunion émise par le pouvoir adjudicateur. Il se réserve la possibilité de réaliser des visites en tant que de besoin dans les ateliers de production du titulaire que ce dernier organisera.

Le fournisseur de données sources a comme objectif de réaliser la prise de vue aérienne d'un bloc sur une période la plus courte possible (inter-date minimale). Le titulaire tient donc compte pour l'établissement du calendrier de réalisation et de livraison des paramètres **impératifs** suivants :

- La fourniture au prestataire des images à rectifier interviendra **au plus tôt le 01/09/2018** pour les 6 blocs géographiques qui sont prévus en 2018. Le principe est le même sur 2019. Les clichés pourront être livrés au fur et à mesure de l'avancement du chantier de prise de vues (cas favorable).
- Chaque bloc géographique doit être produit dans **un maximum de 16 semaines** à compter de la date de fourniture des clichés aériens et des métadonnées associées.
- Les délais de contrôle qualité de chaque bloc délégué au fournisseur de données sources par la maîtrise d'ouvrage sont de **4 semaines**, qui s'ajoutent aux temps de production.
- Les délais de reprise par le prestataire de chaque bloc sont au **maximum de 4 semaines**, qui s'ajoutent aux temps de production.
- La fin du chantier intégrant l'ensemble des reprises éventuelles n'excédera pas le **29/04/2019 pour les livraisons 2018 et le 29/04/2020 pour les livraisons 2019.**

Ces délais sont valables pour la production des images en couleurs naturelles et en IRC.

3.3. Plan d'assurance qualité

Un plan d'assurance qualité est produit au début du projet décrivant la réalisation de la prestation. Il comprend au minimum :

- l'identification des responsables de l'exécution des prestations et la description précise des niveaux de qualification, des rôles et des responsabilités des intervenants (internes ou externes). La Région disposera d'un interlocuteur unique (chef de projet) clairement identifié pour le suivi de l'intégralité de la prestation ;
- la description des procédures retenues pour la gestion du projet ;
- la description des procédures retenues pour la diffusion et l'archivage de la documentation liée à l'exécution de la prestation ;
- les éléments principaux de la démarche qualité et les actions prévues pour assurer la conformité du produit ;
- un plan de gestion des risques et les actions associées, incluant au moins les dispositifs prévus ou des solutions de secours en cas de panne des différents instruments utilisés.

3.4. Echantillons d'images avant rehaussement global

Avant d'appliquer les paramètres de rehaussement global, le prestataire soumet obligatoirement à la Région plusieurs propositions de résultat final (au moins 3) sur des territoires différents de la région Grand Est. Ces échantillons sont accompagnés des paramètres utilisés afin de les constituer.

3.5. Les lignes de mosaïquage

Le **graphe de mosaïquage** est un fichier vectoriel décrivant le mosaïquage sous forme de polygones. Ce graphe s'applique à la fois à la version RVB de l'orthoimage et à sa version IRC ; un seul graphe de mosaïquage est donc à fournir pour chaque bloc. Chaque cellule du graphe est un polygone décrivant une zone de l'orthoimage couverte par une unique image aérienne. Elle comporte à minima les attributs suivants :

- l'identifiant de l'image qui apporte l'information photographique contenue dans la cellule (nom du fichier image RVB tel que livré par le fournisseur de données sources) ;
- la date de l'acquisition de l'image (telle que fournie par le tableau d'assemblage de la PVA du fournisseur de données sources) ;
- l'heure de l'acquisition de l'image (telle que fournie par le tableau d'assemblage de la PVA du fournisseur de données sources).

Ce graphe est fourni dans la projection de l'orthophotographie. Il est au format ShapeFile. Ce graphe de mosaïquage est primordial pour la recette de la prestation.

3.6. Rapport de traitement des images

Le prestataire fournit un rapport décrivant les différents prétraitements (de bas niveau) et traitements (radiométriques, géométriques, de conversion, de changements de coordonnées, etc.) appliqués sur les images, depuis leur acquisition (images brutes) jusqu'à la livraison des fichiers d'orthophotographie.

Ce rapport est destiné à être fourni aux utilisateurs de la plate-forme GéoGrandEst, en accompagnement des données, particulièrement en cas de sous-traitance de travaux de photo-interprétation ou de télédétection. Ce rapport sera à livrer en version numérique (pdf).

3.7. Découpage et formats d'images

3.7.1. Encodage des canaux couleurs

La couleur dans les fichiers image est encodée sur 3x8 bits. Dans l'imagerie en couleurs naturelles, les canaux R, V et B de l'informatique restituent respectivement les couleurs R, V, B (combinées à l'information panchromatique) de l'acquisition. Dans l'imagerie IRC en couleurs conventionnelles, les canaux R, V et B de l'informatique restituent respectivement les couleurs PIR (i.e. proche infrarouge), R, V (combinées à l'information panchromatique) de l'acquisition.

3.7.2. Données natives (à résolution de 20 cm) couleur et IRC

Les images à 20 cm de résolution sont découpées en dalles au format TIFF, strip non compressé, non entrelacé et livrées accompagnées de fichiers de calage universels pour les logiciels SIG MapInfo (.tab) et ArcGis (.prj), ainsi que d'un fichier World. Le format Tiff ne doit pas intégrer de notion de calage (pas de Geotiff).

Le tableau d'assemblage ainsi que la nomenclature des dalles à respecter par département est fourni au format .shp.

La nomenclature devra être la suivante : DD-AAAA-XXXX-YYYY-PPPP-RRRR-CCC.EXT.
Avec :

- DD : numéro du département (KL pour l'orthophotographie de Kehl)
- AAAA : année de la PVA
- XXXX : abscisse en kilomètre du coin Nord-Ouest du pixel nord-ouest de la dalle
- YYYY : ordonnée en kilomètre du coin Nord-Ouest du pixel nord-ouest de la dalle
- PPPP : désigne le système de projection des données (LA93 pour le Lambert 93)
- RRRR : résolution du pixel, « 0M20 » pour le 20 cm, 0M50 pour le 50 cm
- CCC : désigne le type de produit livré : RVB ou IRC
- EXT : extension format : TIF ou JP2

Les fichiers de géoréférencement associés respectent la même nomenclature, à l'extension près du fichier (.tfw).

La taille des dalles est de 1 km sur 1 km. Elles sont appuyées sur des kilomètres ronds du système de projection (c'est à dire le coin nord-ouest du premier pixel nord-ouest de la dalle est à des coordonnées kilométriques entières).

Dans la projection Lambert-93, toute dalle (y compris sur les bords de l'emprise) doit être complète d'information géographique (pas de plages de pixels blancs ou noirs, sauf manque flagrant d'image aérienne).

- Les dalles unitaires sont aussi livrées au format JPEG 2000 avec un taux de compression compris entre 20 et 10. Un test sur facteur de compression est à réaliser sur les niveaux de compression 20, 15, 10 avant le choix définitif de ce dernier par le maître d'ouvrage. Ce choix sera basé sur le meilleur rapport poids/qualité.
- Chaque département doit faire l'objet d'une image entière, constituée à partir de toutes les dalles impliquées, et compressée au format JPEG 2000 avec un taux de compression compris entre 20 et 10, suivant le choix opéré par le maître d'ouvrage.

Chaque fichier est accompagné de fichiers de calage universels pour les logiciels SIG MapInfo (.tab) et ArcGis (.prj), ainsi que d'un fichier World. Les espaces sans images de ces mosaïques départementales sont traités en utilisant des valeurs NoData (0 ou 255).

- **Un livrable supplémentaire prêt à l'emploi pour une publication sur GéoGrandEst :**

Le moteur cartographique Geoserver donne de bons résultats avec du geotiff en pyramide sur 7 niveaux selon le rééchantillonnage bilinéaire avec du nodata pour les zones de contours afin d'en assurer la transparence. Le tout ne devra pas dépasser 300 Giga-octets par département en jouant sur la compression DEFLATE (le script de préparation utilisé pour les précédentes orthophotographies est décrit dans l'annexe2). Le prestataire pourra dans son offre proposer une autre recette de préparation s'il l'estime plus adaptée.

3.7.3. Données ré-échantillonnées (à résolution de 50 cm)

Le titulaire doit prévoir de livrer la donnée rééchantillonnée pour une résolution de 50 cm (pixel de 50 cm de côté). Cette donnée ré-échantillonnée doit être livrée comme suit :

- Chaque bloc géographique départemental fait l'objet d'une livraison par dalle de 1 km par 1 km à la résolution de 50 cm, au format TIFF et JPEG2000, suivant les mêmes paramètres que pour les images en résolution native.
- Chaque bloc géographique départemental doit faire l'objet d'une image entière, compressée au format JPEG 2000 avec un taux de compression compris entre 20 et 10, selon le choix opéré par le Maître d'Ouvrage. Le fichier est accompagné de fichiers de calage universels pour les logiciels SIG MapInfo (.tab) et ArcGis (.prj), ainsi que d'un fichier World. Les espaces sans images de ces mosaïques départementales sont traités en utilisant des valeurs NoData (0 ou 255).

3.7.4. Livraison d'un Modèle Numérique de Terrain (MNT)

Dans le cas où le prestataire a apporté des modifications au MNT RGE Alti fourni, le prestataire livrera :

- le MNT modifié, dans un format lisible par les SIG standard (ASCII Grid, GeoTIFF, BIL...), à la résolution utilisée pour l'orthorectification ;
- un fichier SIG au format ShapeFile délimitant chacune des améliorations locales effectuées ;
- un rapport explicitant les modifications apportées au MNT, leur justification et la méthode employée pour la modification.

3.8. Nombre d'exemplaires et support physique de livraison

Le support physique de livraison est le disque dur (fourni par le prestataire).

Les données sont livrées à la Région et au fournisseur de données sources qui opère les contrôles ainsi que les produits finaux :

- Les produits à contrôler seront livrés du prestataire au fournisseur de données sources selon des modalités qui restent à définir.
- Les produits finaux seront livrés au maître d'ouvrage sur support physique (disque dur).

Le prestataire s'engage à conserver toutes les versions intermédiaires ainsi que tous les produits finaux validés, à les archiver et les rendre accessibles au moins 6 mois après la date de livraison pour mise à disposition du maître d'ouvrage en cas de demande.

L'ensemble de ces modalités seront fixées en réunion de démarrage du projet.

L'adresse de la Région est la suivante :

Région Grand Est
Direction de l'Environnement et de l'Aménagement
Service Géomatique et Connaissance
1, place Adrien Zeller
67100 Strasbourg

3.9. Métadonnées

Les métadonnées sont livrées à chaque livraison finale des lots géographiques au format XML, HTML et PDF, conformément au règlement n°1205/2008 de la Commission européenne du 3 décembre 2008 portant modalités d'application de la directive 2007/2/CE du Parlement européen (directive INSPIRE) en ce qui concerne les métadonnées.

Le prestataire pourra s'appuyer sur l'outil mdedit (<https://www.cigalsace.org/tools/mdEdit/>) ainsi que les guides de saisie CIGAL <https://www.cigalsace.org/portail/fr/doc/353/guide-cigal-simplifie-pour-saisie-metadonnees-description-donnees-geographiques> qui précise les champs obligatoires.

La description devra être complète et sera validée par le maître d'ouvrage.

4. CONTROLE ET RECEPTION DES DONNEES

4.1. Contrôle qualité

La Région Grand Est, en partenariat avec le fournisseur des données sources, effectue un contrôle qualité des orthophotographies produites dans le cadre de ce marché.

Le titulaire doit fournir une description des procédures et des moyens utilisés pour contrôler la qualité de sa prestation.

La personne publique peut s'assurer de la qualité de chaque livraison par des tirages aléatoires. Ces contrôles portent sur plusieurs échantillons pris au hasard dans le produit livré.

Si les contrôles effectués mettent en évidence des produits non conformes aux exigences du cahier des charges, le maître d'ouvrage se réserve le droit de ne pas accepter la livraison selon les dispositions décrites dans le CCAP et de redemander une livraison conforme aux exigences du cahier des charges, selon les délais précisés dans l'article 3.2.

4.2. Contrôle de format

La vérification porte sur les caractéristiques attendues des formats des fichiers images, du dallage, de la complétude des dalles et de la nomenclature.

4.3. Contrôle de précision

La vérification porte sur la comparaison entre les coordonnées obtenues par des mesures de contrôle, pour des détails bien identifiés, et celles des coordonnées de la représentation de ces points obtenues dans le produit livré.

Le système de coordonnées planes de contrôle est caractérisé par le même système de représentation plane que celui des coordonnées des points évalués. Ces contrôles de position géométrique absolue se basent sur l'arrêté des classes de précision (modèle standard).

Une vérification supplémentaire sera réalisée par contrôle des cisaillements, c'est à dire des distances entre les points en bordure d'une des images assemblées au sein du document final et les mêmes points tels qu'ils seraient représentés dans l'image voisine si elle était prolongée jusque-là, les points étant caractérisés par des coordonnées sous forme de pixels.

Enfin, seront également mis en œuvre par la maîtrise d'ouvrage des contrôles plus spécifiques tels que : dévers en zone urbaine et bonne représentation des ouvrages d'art majeurs.

4.4. Contrôle de cohérence

Le contrôle global de cohérence sera effectué par vérification de la superposition et de la continuité des objets figurant dans la base de données fournie avec les objets d'une base de données topographique sur le même territoire (IGN BD Topo).

Les partenaires GéoGrandEst pourront dans certains cas, vérifier par superposition avec des données très grande échelle (banque de données urbaines par exemple).

4.5. Contrôle radiométrique

Le contrôle radiométrique porte sur :

- la vérification de l'homogénéité du mosaïquage, de l'absence de zones floues, de nuages etc
- les différences de valeurs radiométriques sur les raccords entre images (ensoleillement, paysage, évolution des sols etc.),
- les effets de zone brillante (hot spot), de réflexion spéculaire, et de vignettage. En particulier sur les plans d'eau ou les toits de bâtiments,
- le contrôle de l'aspect du contraste global et des autres spécificités demandées à l'article 2.5,
- le contrôle de la lisibilité dans les zones d'ombre.

4.6. Contrôle de la qualité du mosaïquage

Les fichiers vectoriels des lignes de mosaïquage fournis par le titulaire au maître d'ouvrage serviront aux contrôles de la mosaïque, en particulier au contrôle de la bonne édition de celle-ci dans les zones nécessitant des reprises (zones urbaines, voiries principales...).

* * *

ANNEXE 1

Spécifications techniques des caméras du fournisseur de données sources

La caméra v2 grand format

La caméra "huit têtes" couleur haute résolution, également appelée caméra v2 Grand Format est un système ayant recours au pansharping afin d'acquérir des images à la résolution deux fois plus fine ou bien des images à résolution équivalente mais avec une fauchée deux fois plus grande.

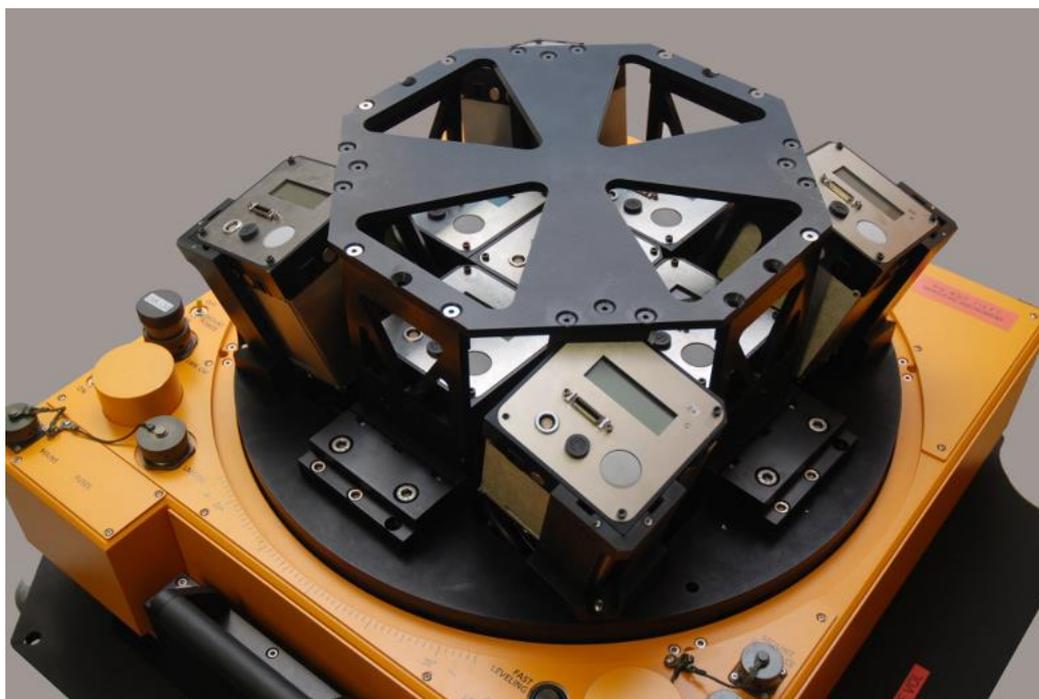


Photo de la version 45-90 mm de la Caméra v2 Grand Format installée sur une plateforme SOMAG GSM3000

Le système est basé sur la synchronisation de huit têtes de caméras se décomposant en deux sous-ensembles :

- un sous-système multi-spectral basse résolution : 4 têtes de caméras 39 Mpixels munies de filtres Rouge, Vert, Bleu et Proche infrarouge. Ces 4 têtes de caméras, "équivalentes" à la version "quatre têtes" couleur moyenne résolution du système, visent au Nadir de l'avion avec des objectifs de focale f .
- un sous-système panchromatique haute résolution : 4 têtes de caméras 39 Mpixels munies du même filtre noir et blanc et équipées d'objectifs de focale double par rapport aux caméras du sous-système multi-spectral, soit $2f$. Ces têtes de caméras ont leur axes de visée "tilté" par rapport à la verticale de manière à ce que les 4 images noir et blanc acquises forment une mosaïque "papillon" dont l'emprise au sol coïncide au mieux avec l'emprise de l'image couleur basse-résolution.

On notera que sur l'illustration ci-dessus, nous avons 5 caméras (et non seulement 4) qui visent à la verticale. Cet emplacement supplémentaire pourra effectivement accueillir à l'avenir soit une voie basse résolution supplémentaire (nouvelle bande spectrale, image

panchromatique basse résolution) ; soit une tête de caméra haute résolution noir et blanc visant à consolider la géométrie du centre de la mosaïque noir et blanc.

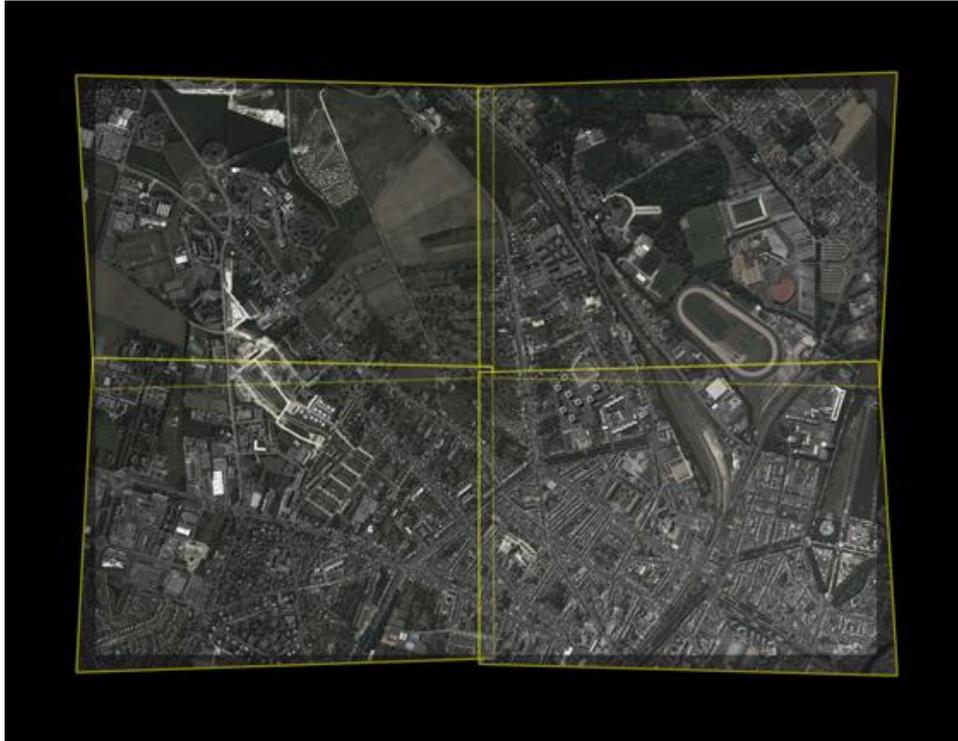
On obtient ainsi au final une image couleur **155 Mpixels (14600 x 10650 pixels)** à partir de têtes de caméras 39 Mpixels. Le **rapport de pansharpening est de 2** en linéaire et de 4 en surfacique, c'est-à-dire qu'un pixel couleur de l'image basse résolution sert à "colorer" 4 pixels de l'image haute résolution noir et blanc.

Ce système Grand Format existe aujourd'hui en deux versions, variant suivant la focale f.

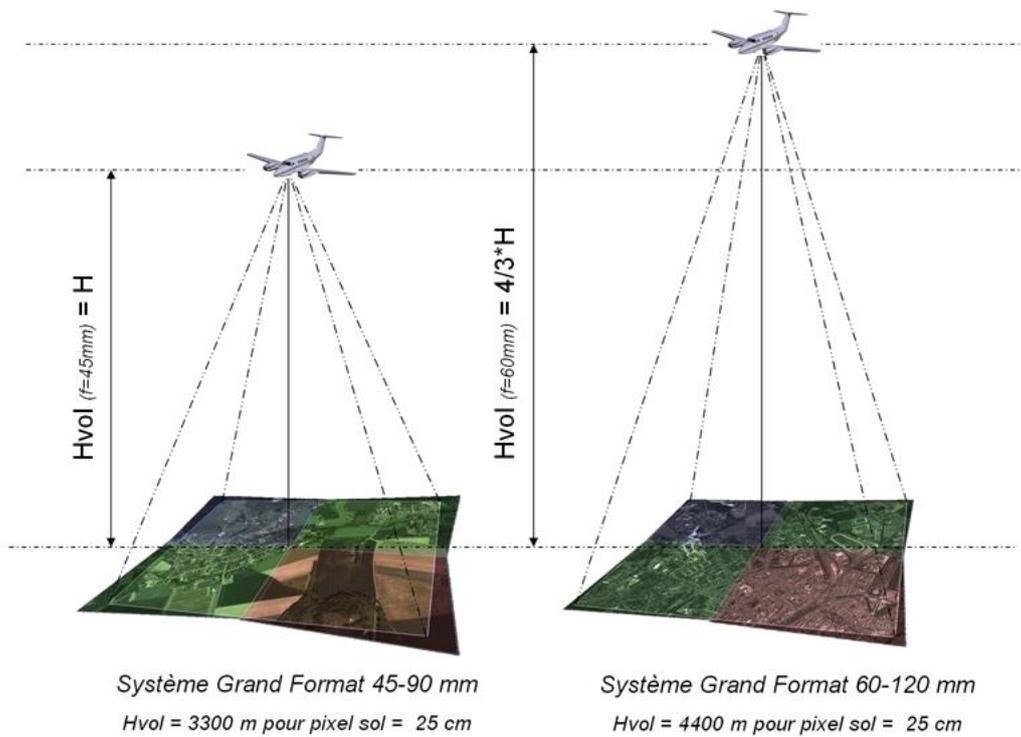
- **version 45-90mm** : utilise des objectifs Rodenstock Apo-Sironar digital 45 mm f/4.5 pour les caméras multi-spectral et des Rodenstock Apo-Sironar digital 90 mm f/5.6 pour les caméras panchromatiques. Elle avait été pensée et est adaptée pour des missions visant à faire des Modèles Numériques d'Élévation (MNE) avec rendu de façades. On lui trouvera désormais un intérêt pour des missions destinées à l'orthophotographie sur les départements de haute montagne pour lesquels elle impose une altitude de vol plus petite que la 2ème version. Dans cette version l'angle d'inclinaison des caméras Noir et Blanc est de $\pm 10.5^\circ$ le long de l'axe de vol et de $\pm 13.8^\circ$ perpendiculairement à cet axe.
- **version 60-120mm** : utilise des objectifs Rodenstock HR Digaron-S 60 mm f/4.0 pour les caméras multispectrales et des Schneider Apo-Digitar 120 mm f/5.6 pour les caméras panchromatiques. Cette version acquiert des images dans lesquelles on a moins de dévers en bord de champ : on peut ainsi voler des missions pour l'orthophotographie sans avoir besoin d'un fort recouvrement entre axes de prises de vue. Dans cette version l'angle d'inclinaison des caméras Noir et Blanc est de $\pm 8^\circ$ le long de l'axe de vol et de $\pm 10.7^\circ$ perpendiculairement à cet axe.



Version 45-90 mm : Vue synthétique de l'emprise respective des 4 images panchro obliques vis à vis de l'emprise de l'image basse résolution couleur.



Version 60-120 mm : Vue synthétique de l'emprise respective des 4 images panchro obliques vis à vis de l'emprise de l'image basse résolution couleur. Le fait que le 120 mm soit en réalité un 124.5 mm explique en partie la meilleure coïncidence des bords d'images aux 4 points cardinaux



Comparaison des hauteurs de vol à opérer avec chaque version pour une taille de pixel sol donnée.

Un changement de focale ne modifie pas la manière d'agencer les têtes de caméras sur le support adaptable sur la plateforme GSM3000 ; ceci grâce à un choix technique fait au début du projet et qui consiste à avoir 2 types de mécaniques de corps de caméra en fonction de la focale de l'objectif monté. Grâce à cette caractéristique, et dans une certaine gamme de valeur de la focale f , une tête de caméra avec un objectif de focale f et une tête de caméra avec un objectif de focale $f'=2f$ auront quasiment le même encombrement.

En conséquence, lors d'un changement d'association de focales, il n'y a que 2 types de pièces mécaniques à modifier, les pots cylindriques placés entre le corps de caméra et l'objectif (dont la longueur dépend de la longueur focale) et les pièces mécaniques obliques qui guident et maintiennent les têtes de caméras haute résolution noir et blanc sur le support. En effet, l'angle d'inclinaison de ces pièces par rapport à la verticale dépend de l'angle d'ouverture du champ et donc de la focale choisie.

Caractéristiques de chacune des têtes de caméra

Taille du CCD	7216 x 5412 pixels, Kodak KAF-39000
Taille du pixel	6.8 μ m x 6.8 μ m
Puits de potentiel max. des pixels	60 000 électrons
Dynamique	2000 - 3000
Bruit	1.2 niveau de gris rms
Résolution Radiométrique	12 bits / canal
Cadence d'acquisition	1 image / 2s
Pixel sol stéréoscopique minimum	9 cm (recouvert = 60%, $v = 100$ m/s) 4.5 cm en configuration 8 têtes
Capacité de stockage	illimitée (disques de 500 Go amovibles à chaud)
Compensation de filé	électronique par TDI (Time delayed integration) avec précision d'un $\frac{1}{2}$ pixel
longueurs focales	45, 55, 60, 65, 70, 80, 90, 100, 105, 120, 135, 150, 210 mm
Obturbateur	Rollei Electronic Shutter (size 0.)
Vitesse d'obturation	3 ms minimum (1/300ème de seconde), pas de limite haute
Contrôle du temps de pose	Oui, par une photodiode dans la chambre noire
Précision de la synchronisation	<10 μ s

Étalonnage

Tout comme les chambres de prises de vues traditionnelles étaient livrées avec un certificat d'étalonnage, nos caméras subissent un étalonnage afin de fournir des images utilisables dans les chaînes de production en aval. Cet étalonnage est de deux types : radiométrique et géométrique.

Étalonnage radiométrique :

Le premier étalonnage radiométrique que subit une caméra a lieu lorsqu'elle est encore sur le banc de fabrication : on s'arrange pour que son niveau de noir se situe entre 50 et 100 niveaux de gris et pour que la saturation des pixels se fasse à un niveau de gris inférieur à 4096.

Une fois la tête de caméra fermée et associée à une optique et à un filtre, on procède à l'acquisition d'au moins huit images d'un champ uniforme (si possible blanc) que l'on moyenne pour obtenir ce que l'on appelle un flatfield. L'opération de moyennage permet de se débarrasser en grande partie du bruit temporel afin de se concentrer sur le bruit fixe et la non uniformité de réponse des pixels que le flatfield permet de corriger. Il permet également de corriger l'assombrissement centre-bord dû à l'optique (Figure1.) et enfin de gommer les assombrissements locaux dus aux poussières (Figure2.) à condition que celles-ci restent fixes sur le capteur durant la mission. On voit bien que pour tout changement d'optique ou d'ouverture de diaphragme pour une même optique, il faudra procéder à l'acquisition d'un nouveau flatfield.

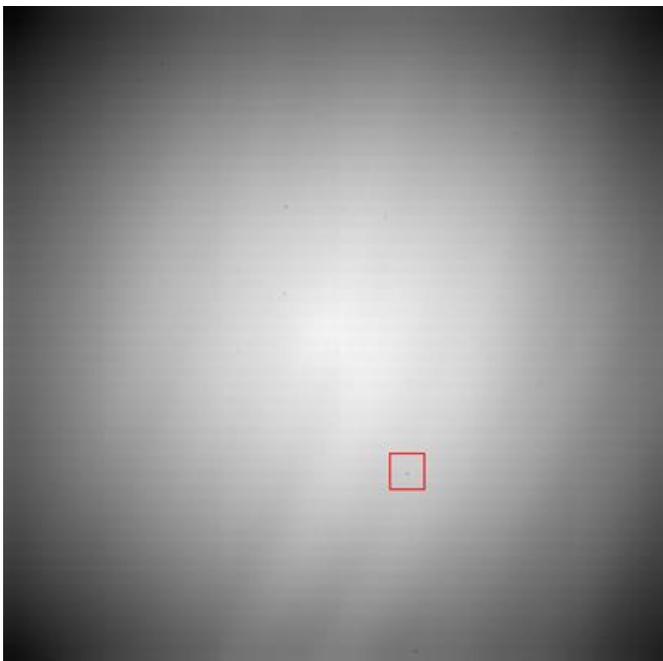


Figure 1. Aspect typique d'un flatfield d'une de nos têtes de caméras

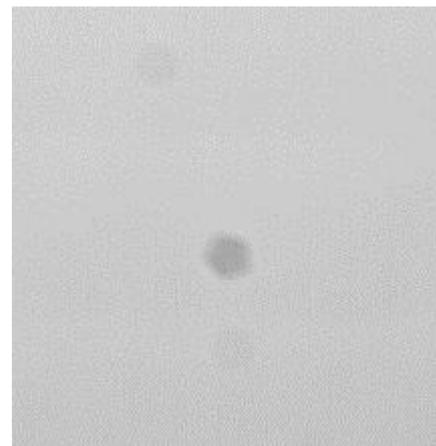


Figure 2. Contenu pleine résolution du cadre rouge de la Figure1 : une poussière

La source blanche dont il est question plus haut peut être obtenue à l'aide d'une sphère intégrante à condition que celle-ci soit équipée des bonnes lampes, ou de manière moins rigoureuse mais très efficace d'une plaque en plexiglass translucide placée devant une fenêtre (en s'arrangeant pour que la scène située derrière cette fenêtre ne présente pas de gradients de luminosité ou de couleurs trop prononcées). On vise ici seulement une amélioration cosmétique des images, mais on s'est aperçu qu'en fait ce genre de procédure avait une précision de l'ordre du pour cent.

Tout ceci concerne l'étalonnage radiométrique interne d'une tête de caméra ; il faut ajouter à cela l'étalonnage radiométrique des têtes de caméras entre elles, c'est-à-dire la balance des blancs de l'instrument composé de plusieurs têtes (dans le cas d'une caméra multi-canal bien sûr). Pour profiter de la dynamique des têtes de caméras à l'acquisition des canaux colorés, on multiplie le temps de pose des caméras les moins sensibles par un coefficient déterminé en laboratoire. Ainsi un objet gris dans la scène survolée aura quasiment les mêmes valeurs dans les plans colorés (à l'offset dû au voile atmosphérique près). La limitation est là liée à la

stabilité de réponse des obturateurs qui sont électromécaniques ; pour les temps de pose relativement longs nécessaires pour la couleur, ce facteur ne semble pas poser de problème.

Pour finir, le flatfield permet également de recenser, plus facilement qu'une image texturée, tous les défauts du capteur CCD (colonnes noires, décalées, clusters, pixels chauds...). On croise les défauts détectés avec la liste fournie par Kodak et on les référence dans un fichier XML lié à la tête de caméra dans lequel vont ensuite s'ajouter les résultats de l'étalonnage géométrique.

Etalonnage géométrique :

L'étalonnage géométrique a une importance capitale pour toutes les applications photogrammétriques mais aussi pour la superposition des plans colorés. Pour cette dernière, notre calcul basé sur l'existence d'une homographie permettant de passer d'un plan à l'autre ne peut marcher que sur des plans colorés où la distorsion a été corrigée. Or nous avons fait le choix d'utiliser des optiques sur étagères assez bon marché mais présentant une distorsion et un chromatisme non négligeable en bord de champ. Il convient donc d'établir une procédure d'étalonnage précise et fiable.

Le principe de la méthode est le suivant :

- on acquiert plusieurs images d'un polygone d'étalonnage composé de 86 cibles circulaires concentriques dont les coordonnées X,Y,Z sont mesurées précisément,
- on pointe les cibles dans les images,
- un logiciel estime le modèle de distorsion.

Le modèle de distorsion estimé peut être plus ou moins complexe suivant les optiques. Si, pour les longues focales (120mm), une modélisation radiale avec les traditionnelles valeurs R3, R5, R7 du polynôme peut s'avérer suffisante, une modélisation non radiale et un polynôme plus complexe sont nécessaires pour les focales courtes (60mm).

Compensation électronique du filé

Le TDI, en toutes lettres Time Delayed Integration, est le nom donné à la technique de compensation de filé électronique de nos caméras. Pour compenser le déplacement de l'image sur le plan focal dû au mouvement de l'avion le long de son axe de vol durant le temps d'exposition, on déplace à la même vitesse les charges générées dans le CCD. Ceci est rendu possible par la méthode de lecture d'un CCD matriciel : le registre de lecture de sortie du CCD fait la taille d'une ligne et est situé en haut du capteur. La lecture du CCD se fait en alternant le décalage de l'image d'une ligne vers le haut (par action sur les horloges dites verticales) avec le décalage du registre de lecture vers la sortie (par action sur les horloges dites horizontales). Le microprocesseur de la caméra calcule en fonction de la vitesse de l'avion et de la taille du pixel sol la fréquence à laquelle il faut décaler les lignes dans l'image.

La conception des capteurs Kodak, ne nécessitant que 2 horloges verticales, mais ne permettant que des mouvements des charges dans un seul sens, impose donc le sens dans lequel les caméras doivent être montées dans l'avion (le haut de la caméra doit être orienté vers la queue de l'avion).

Il faut aussi connaître l'altitude et la vitesse de l'avion, ainsi que la focale de l'optique utilisée, et les communiquer à l'électronique de la caméra. En pratique, la focale est prise dans les paramètres de l'instrument, et l'altitude et la vitesse sont soit récupérés automatiquement sur le GPS de navigation, soit, en l'absence de celui-ci, entrés à la main selon les indications du pilote.

Grâce à cette compensation de filé précise au demi-pixel près, on peut choisir son temps de pose indépendamment de la taille du pixel sol et par conséquent choisir le taux de remplissage

des puits de potentiel des pixels du CCD. On peut donc faire des images au pixel sol très petit avec une très bonne dynamique ou bien encore voler lorsque le soleil est assez bas sur l'horizon c'est-à-dire les mois d'hiver ainsi que le matin et le soir. Il ne faut tout de même pas perdre de vue que plus le temps de pose sera long plus les vibrations de l'avion seront répercutées dans les images induisant un flou bien indépendant de la compensation de filé.

Voici maintenant quelques illustrations en image du TDI :



*Extrait d'image de Janvier 1996
avec compensation de filé*

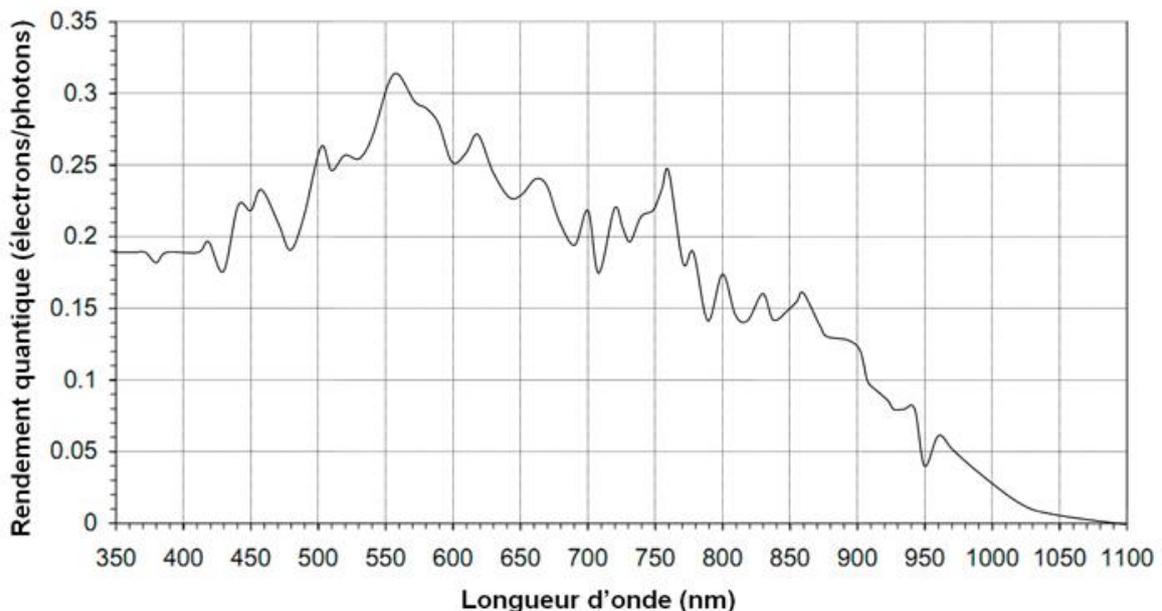


*Extrait d'image de Janvier 1996
sans compensation de filé*

Courbes de transmission spectrale des Filtres RVB et pIR

Voici tout d'abord la courbe de réponse spectrale du CCD 39 Mpixels KAF-39000 (courbe fournie par Kodak dans sa datasheet).

Réponse spectrale du CCD KAF-39000 monochrome



Sensibilité spectrale du KAF-39000

Voici maintenant un descriptif des 5 types de filtres équipant nos têtes de caméras :

filtre rouge : "sandwich" composé d'un filtre OG590, d'un filtre BG40 et d'un filtre OG530 entre 2 hublots N-BK7 traités anti-reflet

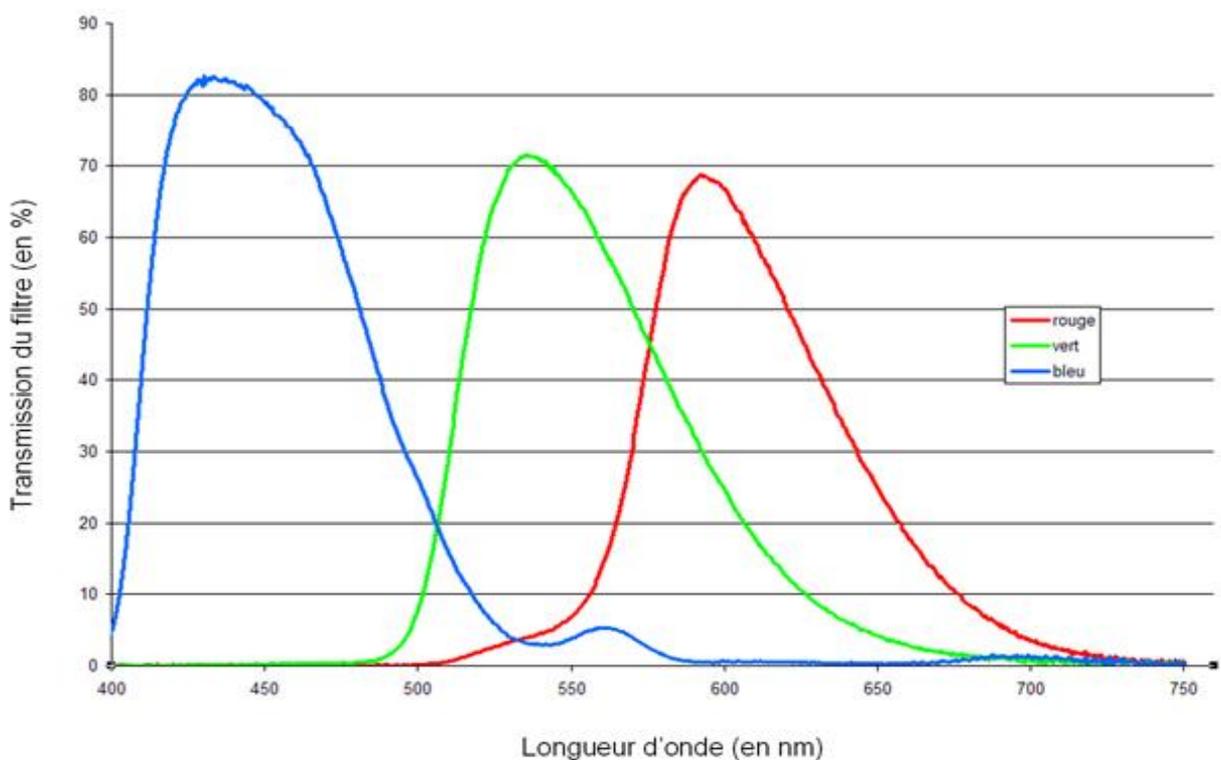
filtre vert : "sandwich" composé d'un filtre VG9, d'un filtre BG18 et d'un filtre OG530 entre 2 hublots N-BK7 traités anti-reflet

filtre bleu : "sandwich" composé d'un filtre BG25, d'un filtre BG40 et d'un filtre GG420 entre 2 hublots N-BK7 traités anti-reflet

filtre proche infrarouge : filtre RG830

filtre panchromatique : filtre GG420 avec traitement passe-bande 400-700nm

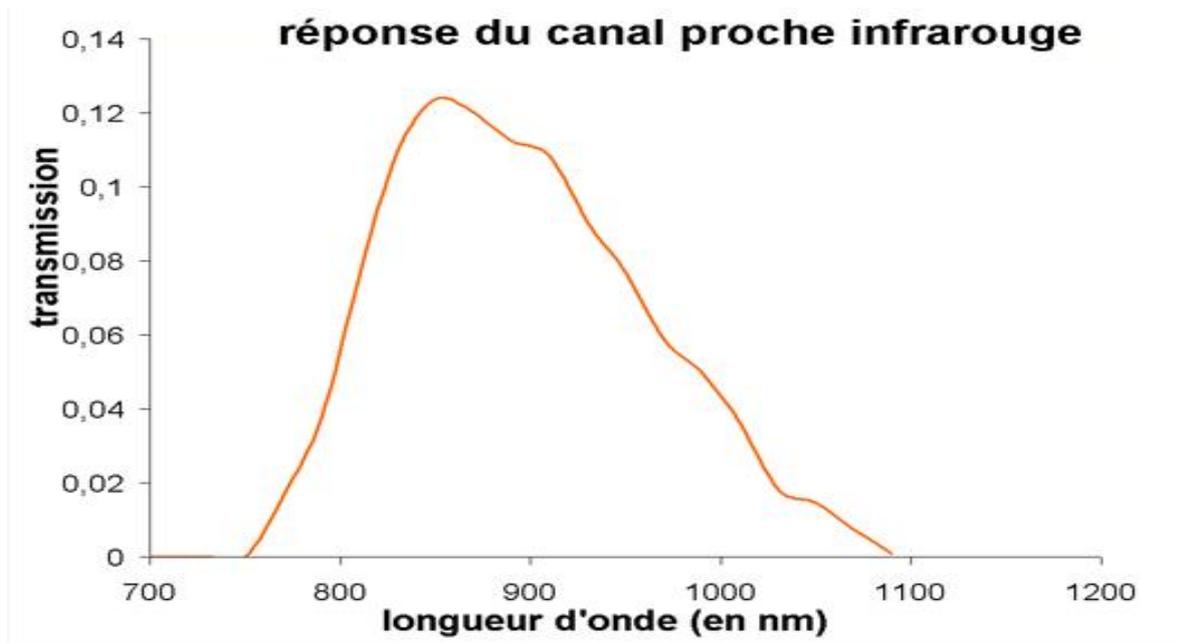
Les courbes de transmission des filtres RVB sont données dans l'illustration suivante :



Courbes de transmission des filtres "sandwich" RVB fournis par Schott mesurées au LOEMI

On voit que les courbes de sensibilité de nos 3 canaux visibles ont un recouvrement non négligeable, tout comme les 3 types de cônes de la rétine. Cette caractéristique est nécessaire pour avoir le même espace de couleur "restituable" par nos caméras que par l'œil humain. Elle rend par contre nécessaire une phase de post-traitement colorimétrique, sorte de combinaison linéaire des canaux colorés pour une bonne restitution des couleurs dans l'espace RVB.

C'est pourquoi il est préférable d'appliquer le profil ICC de notre caméra numérique afin d'afficher les couleurs de manière réaliste sur un écran d'ordinateur.



Détail des prétraitements appliqués aux images

Correction du courant d'obscurité

Le courant d'obscurité est généré par l'électronique de la caméra : les pixels qui normalement devraient être complètement noirs ne le sont pas. Ce courant d'obscurité est mesuré dans chaque image et sa valeur est soustraite à tous les pixels de l'image.

Correction des défauts des matrices CCD

Les matrices CCD utilisées dans les caméras peuvent contenir des pixels morts ou des pixels ayant une sensibilité anormale. Ces défauts sont des défauts de construction qui n'évoluent pas rapidement dans le temps. L'étalonnage des caméras permet de connaître très précisément ces défauts et donc de les corriger.

Application d'un champ uniforme

Un champ uniforme est une image qui traduit la sensibilité relative de chaque pixel. Ce champ uniforme est obtenu en laboratoire lors de l'étalonnage des caméras. On peut donc corriger la différence de sensibilité relative qui existe entre les différents pixels des images.

Par un procédé analogue se corrigent les effets de vignettage des images.

Superposition des canaux

Chaque bande spectrale étant acquise par une tête de caméra différente, il est nécessaire de superposer les images obtenues pour chaque bande spectrale : l'opération est faite automatiquement en exploitant les données de la calibration géométrique de chaque capteur, en recherchant des points homologues entre les différentes images et en modélisant la déformation par une homographie.



Rouge

Vert



Bleu

Image couleur résultante

Pansharpening

Les capteurs pour l'information panchromatique, à plus longues focales que les capteurs pour l'information des canaux rouge, vert et bleu, sont plus finement résolus. Les images acquises par les premiers contribuent à l'intensité de l'image finale (son niveau de détails), les images acquises par les secondes servent à « colorier » cette image d'intensité (en apportant la teinte et la saturation), selon le procédé communément appelé « pansharpening ». Le rapport entre les focales panchro et couleurs de la caméra v2 étant de 2, le facteur de pansharpening exprimé de manière surfacique est de 4.

Correction de la distorsion

A l'issue de la phase de prétraitement, les images sont corrigées de leur distorsion géométrique. L'image résultante peut être exploitée photogrammétriquement en étant associée exclusivement à la valeur de la focale et à la position du point principal (PPA).

* * *

ANNEXE 2 : Préparation des données (batch gdal)

```
GOTO:REM
=====
====
Objet Chaîne de préparation des dalles jp2 e100 (1km) ortho 20 cm départementale du fournisseur 2154 en
pyramide pour Geoserver
=====
====
:REM

@echo off

REM chargement des bibliothèques osgeo
call C:\OSGeo4W64\bin\o4w_env.bat

@echo on

REM pour chaque dalle on calcul le contour et on affecte le dstnodata de manière à avoir un NoData Value=0
sur chaque bande
for %%G IN (D:\input\*.jp2) DO (
gdalindex D:\index\%%~nG.shp %%G
gdalwarp -t_srs EPSG:2154 -dstnodata -q -cutline D:\index\%%~nG.shp -crop_to_cutline -of GTiff %%G
D:\output\%%~nG.tif
)

REM construction du vrt
for %%i in (D:\output\*.tif) do echo %%i >> D:\index\liste.txt
gdalbuildvrt -input_file_list E:\index\liste.txt E:\index\liste.vrt

REM calcul de la pyramide
gdal_retile -v -levels 7 -ps 4096 4096 -s_srs EPSG:2154 -r bilinear -co COMPRESS=DEFLATE -co
TILED=TRUE -co INTERLEAVE=BAND -co BLOCKXSIZE=512 -co BLOCKYSIZE=512 -targetDir D:\pyr
D:\index\liste.vrt

REM dans Geoserver définir InputTransparentColor à 000000

pause
```