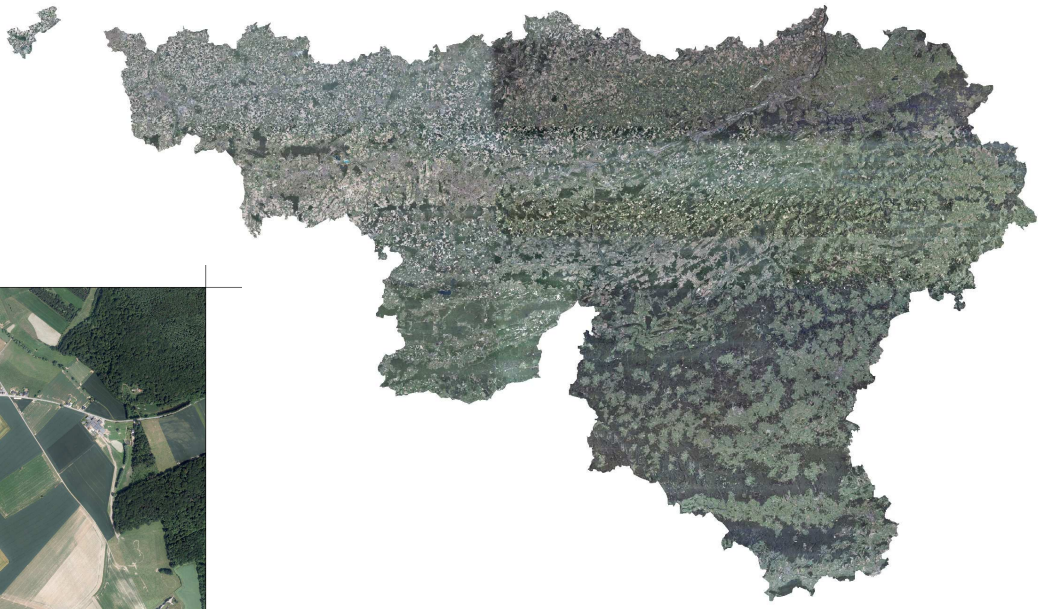
Marché public 2007 – ORTHOPHOTOS
Rapport de production

Fourniture d'orthophotos couleur numériques d'une résolution de 25 cm (variante 2)



WALPHOT s.a.

Janvier 2011

Marché public MP2008_ORTHOPHOTOS : Rapport de production

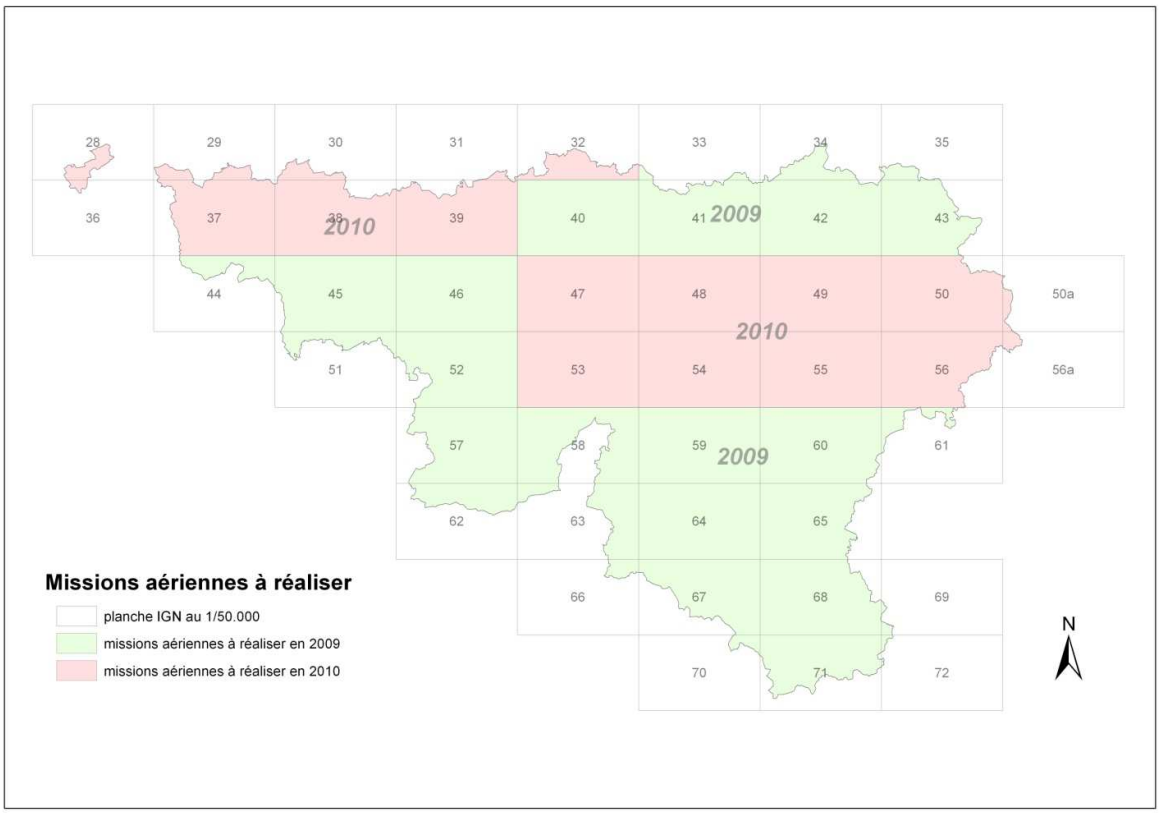
1) Objectif des travaux

1.1) Présentation des travaux

Dans le cadre du marché « Marché public MP2008_ORTHOPHOTOS », la société Walphot s.a. a été chargée de la réalisation d'une couverture complète de la Région Wallonne selon la variante 2, soit :

- Orthophotos numériques couleurs et infra-rouge, d'une résolution au sol de 30 cm et d'une résolution du produit orthorectifié de 25 cm et découpées en mailles de 2 km * 2 km.

De manière à respecter le délai de 3 ans depuis la couverture précédente (MP2005_Orthophotoplans et MNS), la couverture aérienne du territoire de la Région Wallonne a été préalablement planifiée sur 2 ans (voir Carte 1).



Carte 1 : Calendrier contractuel

1.2) Recommandations particulières

Les principales recommandations sont reprises dans le tableau ci-dessous (Tableau 1). Elles sont accompagnées de nos remarques et/ou justifications.

Postes	Valeur souhaitée	Remarques / Justifications
Date pour l'exécution des vols	Entre le 15 mars et le 31 mai pour les années 2009 et 2010. Cette période peut être prolongée sur base d'un accord préalable de l'administration	Etant donné les mauvaises conditions climatiques entre le 15 mars et le 31 mai 2009, les prises de vues planifiées pour 2009 ont été réalisées entre le 23 mai et le 23 août après accord de l'administration pour prolonger les périodes de vol. Pour les prises de vues planifiées en 2010, les prises de vues ont été réalisées entre le 4 juin et le 7 juillet suite aux conditions météorologiques défavorables rencontrées jusqu'alors et après accord de l'administration pour prolonger les périodes de vol. Pour les 2 années concernées, la couverture prévue a été entièrement réalisée, toutefois les périodes effectives de vol ont été sensiblement décalées par rapport au créneau prévu suite aux conditions météorologiques rencontrées.
Conditions météorologiques	Bonnes conditions météo (visibilité au sol de 7km minimum et sans nuage) et angle d'incidence solaire supérieur ou égal à 35°.	Ces conditions ont été globalement respectées, y compris durant les périodes de prolongation d'exécution des vols. Toutefois, étant donné les conditions météorologiques défavorables et la prolongation de la période de vol jusqu'à l'été, certaines prises de vues ont été réalisées avec un angle d'incidence solaire inférieur à 35°. En effet, en été et en période de beau temps, des cumulus apparaissent fréquemment lorsque la hauteur du soleil est maximale, réduisant de ce fait les périodes propices aux prises de vues, soit tôt en matinée, soit en fin d'après-midi.
Caméra utilisée	Numérique	Les missions ont été réalisées à l'aide de caméras numériques professionnelles grand format de type UltraCam (Microsoft Corporation, Vexcel Imaging GmbH). 2 models ont été utilisés : UltraCam-X (UCX061, UCX0071 et UCX0208) et UltraCam-Xp (UCXP905)
Plan de vol et	Axes de vol rectilignes, parallèles et	Le plan de vol a été calculé sur base

recouvrement longitudinal et latéral.	orientés Est-Ouest. Recouvrement longitudinal 60% et latéral 25%.	des caractéristiques de la caméra UltraCam-X et des spécifications techniques imposées. Bien que les spécifications de la caméra UltraCam-Xp soient différentes (plus grande résolution), le même plan de vol a été utilisé. En conséquence, pour les parties réalisées avec cette caméra, la résolution au sol effective des prises de vues est meilleure que celle imposée par le CSCh (25 cm au lieu de 30)

Tableau 1 : Recommandations particulières

1.3) Produits à fournir et précisions à atteindre

1.3)1. Prises de vues aériennes

La résolution au sol demandée pour les prises de vues est de 30 cm alors que la résolution au sol requise pour les orthophotoplans est de 25 cm.

Vu la faible différence de résolution, le ré-échantillonnage de 30 à 25 cm ne pose pas de problème particulier.

1.3)2. Orthophotoplans numériques

Les orthophotos possèdent quatre bandes (Rouge, Vert, Bleu et Infra-rouge) et présentent une résolution au sol de 25 cm. Ils ont été livrées sous forme de mailles de 2 km x 2 km au format BSQ accompagnées d'un fichier HDR (Header) spécifique permettant leur lecture dans les logiciels ESRI. A chaque orthophoto est également associé un fichier LOG contenant les métadonnées (Date de prise de vol, précision XY,…). Le nom des mailles BSQ et des fichiers HDR et LOG suit la nomenclature imposée par la DGA.

La précision absolue en XY est largement inférieure à 1 m. Les résultats des contrôles géométriques sont repris par carte dans le tableau 7 au point 3.7.
Les mailles ont été regroupés par carte IGN 1:50.000 et fournies sur disque dur externe. Un tableau récapitulant les dates de livraisons des cartes et leurs numéros de DVD associés se trouve au point 4 (Tableau 8).

L'orthorectification est réalisée sur base du modèle numérique de terrain (MNS – Modèle Numérique de Surface) mis à disposition par la Région et établi dans le cadre du projet précédent (MP2005_Orthophotos & MNS) sur base de prises de vues à 50 cm de résolution (prises de vues 2006 et 2007).

2) Préparation de base et équipement utilisé

2.1) Plan de vol

Le plan de vol est établi en fonction des paramètres techniques suivants :
- Contraintes imposées par le Cahier des Charges :
  - Résolution au sol : 30 cm

  - Recouvrement latéral (entre 2 axes de vol) : 25 % +/- 5 %
  - Recouvrement longitudinal (entre 2 photos successives) : 60 % +/- 5 %
- Contraintes techniques du matériel utilisé (UltraCam X):
  - Longueur focale : 105 mm
  - Dimension du capteur : 14.430 (perpendiculairement à l'axe de vol) x 9.420 (dans le sens de l'axe de vol) pixels
  - Taille du pixel : 7,2 µm
- Contraintes liées au territoire à survoler :
  - Altitude de référence du territoire : 250 m
  - Variations de relief : 0 à 700 m, soit -250 à +550 m par rapport à l'altitude de référence

Un plan de vol a été établi sur base des caractéristiques de la caméra Vexcel Ultracam modèle « X ». De manière à obtenir une taille moyenne de pixel au sol de 30 cm, l'altitude de vol a donc été adaptée (hauteur de vol au dessus du terrain : environ 4.120m).

De manière à augmenter la précision géométrique de l'aérotriangulation et faciliter les travaux ultérieurs (orthorectification et mosaïquage), un plan de vol régulier (distances entre axes identiques et écarts entre photos successives fixes) à été établi tenant compte de ces différents paramètres, soit :

- Altitude de vol prévue : 4.350 m
- Distance entre axes de vol : 3.245 m
- Distance entre photos successives : 1.130 m

La couverture du territoire étant planifiée du 2009 et 2010, 2 plans de vols ont été établis. Ils comprennent :

- Pour 2009 : 46 axes de vol avec 3.476 prises de vues
- Pour 2010 : 22 axes de vol avec 2.375 prises de vues

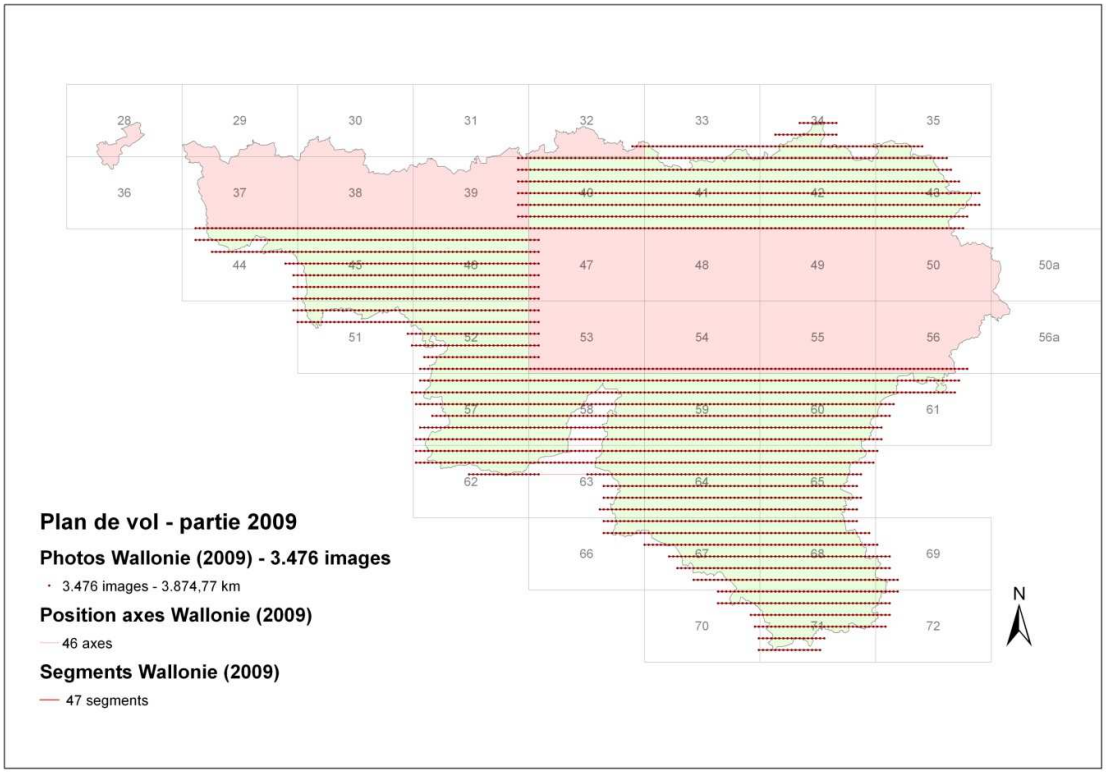
Le plan de vol est également utilisable pour la caméra Vexcel Ultracam modèle « Xp » comme le montre le tableau suivant qui reprend les résultats (résolution au sol et recouvrements) attendus sur base du plan de vol :

	Cacractéristiques du capteur		Altitude terrain		Hauteur de vol		GSD	rec. longitudinal			rec. Latéral		
							(30 cm)	D	emprise (X)	(60%)	D	emprise (Y)	(25%)
UC_X	Taille (X)	9,420 pixels	minimale	0 m	altitude de vol = 4,370 m	4,370 m	32 cm	entre photos = 1,130 m	2,979 m	62%	entre axes = 3,245 m	4,563 m	29%
	Taille (Y)	14,430 pixels	nominale	250 m		4,120 m	30 cm		2,808 m	60%		4,302 m	25%
	Pixel	7.2 µm	max (1)	500 m		3,870 m	28 cm		2,638 m	57%		4,041 m	20%
	Focale	100.5 mm	max (2)	700 m		3,670 m	27 cm		2,502 m	55%		3,832 m	15%
UC_Xp	Taille (X)	11,310 pixels	minimale	0 m		4,370 m	26 cm		2,980 m	62%		4,561 m	29%
	Taille (Y)	17,310 pixels	nominale	250 m		4,120 m	25 cm		2,810 m	60%		4,300 m	25%
	Pixel	6.0 µm	max (1)	500 m		3,870 m	23 cm		2,639 m	57%		4,039 m	20%
	Focale	100.5 mm	max (2)	700 m		3,670 m	22 cm		2,503 m	55%		3,831 m	15%

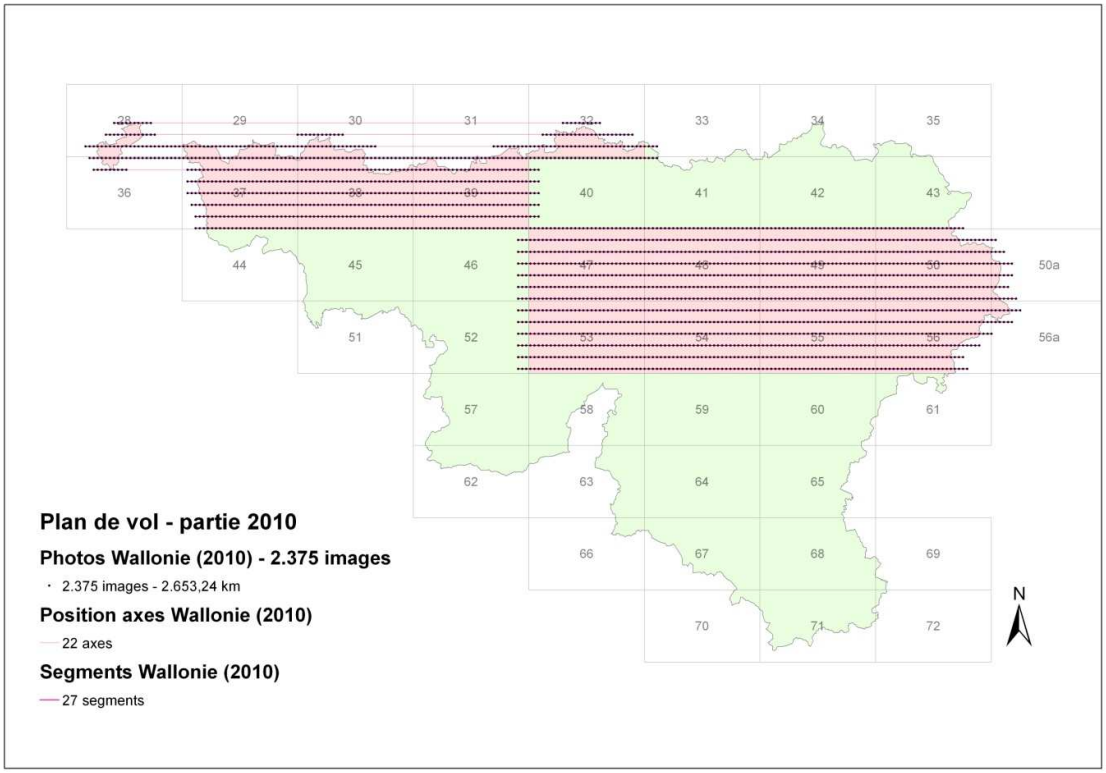
Tableau 2 : Résolution au sol et recouvrements attendus

Comme l'indique ce tableau, seul le survol des zones les plus élevés du territoire (au dessus de 500 m d'altitude) peuvent poser un problème pour le respect des recouvrements. Ces zones étant limitées et localisées, les altitudes de vol au dessus de ces territoires ont été adaptées pour respecter intégralement les spécifications du CSCH.

Les cartes (cartes 3 et 4) suivantes reprennent les positions des axes et photos planifiées pour couvrir le territoire pour chacune des 2 saisons (2009 et 2010) :



Carte 2 : Plan de vol 2009



Carte 3 : Plan de vol 2010

Certains axes communs sont prévus de manière à avoir une couverture complète pour chaque période

2.2) Caméras utilisées

Les missions de prises de vues ont été réalisées à l'aide de caméras numériques Vexcel UltraCam (modèles X et Xp). Ce sont des caméras Grand format de type surfacique, c'est-à-dire que les capteurs CCD (semi-conducteurs mesurant l'intensité lumineuse émise ou réfléchie par le sol) responsables de l'acquisition des images forment des matrices et produisent des images planes discontinues exactement comme le fait une caméra argentique.

La Vexcel Ultracam possède deux groupes d'optiques distincts (Fig.3) : un premier groupe composé de quatre optiques alignées dans le sens de déplacement principal de l'avion et utilisé pour produire l'image panchromatique (Noir et Blanc) à très haute résolution ; un deuxième groupe de quatre optiques réparties autour des quatre premières pour l'acquisition des quatre images multispectrales à basse résolution (Rouge, Vert, Bleu et Infra-rouge).

Figure 1 : Présentation de la caméra

L'image panchromatique est en fait constituée de neuf imagettes saisies par neuf matrices CCD placées dans les quatre optiques panchromatiques. L'obtention d'images couleur à très haute résolution est rendue possible grâce à l'opération de pan-sharpening. Au cours du pan-sharpening, l'image couleur basse résolution est « drapée » sur l'image panchromatique haute résolution. Notons que les corrections radiométriques, permettant d'atténuer l'influence du soleil sur les images et d'homogénéiser les couleurs, interviennent préalablement à l'opération de pan-sharpening. Le tableau suivant (Tab. 3) reprend les principales caractéristiques des 2 modèles de caméra utilisés.

Spécifications techniques des caméras Vexcel UltraCam X et Xp		Modèle X	Modèle Xp
Image panchromatique, et multi-spectrale (après pan-sharpening) :			
Taille de l'image panchromatique		14.430 * 9.420 pixels	17.310 * 11.310 pixels
Taille physique du pixel panchromatique		7.2 µm	6 µm
Distance focale des lentilles panchromatiques		100 mm	
Ouverture des lentilles panchromatiques		f=1/5.6	
Angle de vue depuis la verticale, transversalement		55°	
et dans le sens de déplacement		37°	
Imagettes des bandes spectrales (avant pan-sharpening):			
Bandes spectrales couvertes :	Bleu	410 – 530µm	
	Vert	490 – 630µm	
	Rouge	585 – 680µm	
	Infra-rouge	685 – 910µm	
Taille de l'image couleur		4.810 * 3.140 pixels	5.770 * 3.770 pixels
Taille physique du pixel couleur		7.2 µm	6 µm
Distance focale des lentilles couleur		33 mm	
Ouverture des lentilles couleurs		f=1/4.0	
Angle de vue depuis la verticale, transversalement		55°	
et dans le sens de déplacement		37°	
Autres caractéristiques :			
Système de compensation du déplacement (FMC)		TDi controlled	
Seuil maximum de compensation (FMC)		50 pixels	
Taille du plus petit pixel au sol possible, à une altitude de vol :	500 m	3.6 cm	2.9 cm
	300 m	2.2 cm	1.8 cm
Nombre de bits utilisés pour la conversion du signal analogique en numérique		14 bits	
Nombre de bits utilisés pour le codage des couleurs dans chaque canal		> 12 bits	
Précision géométrique des images		< 2 µm	
Format de sortie des images		Tiff, jpeg, tiff mosaïqué	

Tableau 3 : Spécifications techniques des caméras

La caméra Vexcel présente de nombreux avantages par rapport aux autres caméras numériques aéroportées disponibles sur le marché. En voici les principaux :

- La plus haute résolution au sol. La caméra UltraCam est capable d'atteindre des résolutions au sol de l'ordre de 2 cm alors que d'autres caméras sont plus limitées;

- L'indépendance par rapport aux systèmes de positionnement. Le capteur matriciel de la caméra UltraCam impose moins de contraintes dans la saisie des données de positionnement (GPS et centrale inertielle). La disposition des capteurs CCD sous forme matricielle facilite les opérations de post-traitements géométriques à appliquer aux photographies (aérotriangulation,…). Par contre, l'acquisition de ces données est indispensable pour les caméras de type « linéaire » afin de connaître à tout instant le positionnement et l'orientation des barrettes de la caméra. L'absence ou le manque de données GPS ou inertielles rend les prises de vues des caméras à barrettes inutilisables. En effet, dans ce dernier cas, étant donné que les capteurs sont disposés en ligne et que l'acquisition des prises de vue est obtenue par balayage de la surface terrestre, il est absolument nécessaire de disposer des données GPS et inertielles pour connaître à tout instant le positionnement et l'orientation de la barrette de capteurs ;

- La qualité des images infra-rouge couleur. Les images Infra-rouge couleur de la caméra UltraCam ne présentent pas de déformation d'objets car toutes les bandes spectrales sont enregistrées dans le même plan focal. Par contre, les images des caméras de type « linéaire » peuvent présenter des défauts pour les éléments de grande taille (immeubles, arbres,…) et pour les objets en mouvement (voiture,…).

2.3) Système de localisation GPS à bord

Pour les besoins propres à la navigation et au contrôle de positionnement en temps réel, notre avion est équipé de GPS reliés au système CCNS (Computer Controlled Navigation System) de IGI (Ingenieur-Gesellschaft für Interfaces mbH). Le GPS relié à ce système est de type ACE III (8 channel receiver, 1 Hz).
Ce système est indépendant du système de positionnement utilisé par le senseur proprement dit et qui permet d'obtenir des précisions, en mode post-calcul, d'ordre centimétrique pour le positionnement des images elles-mêmes. Ce processus de positionnement est comparable à celui utilisé dans les capteurs LIDAR et est basé sur la combinaison entre un capteur GPS (Global Positioning System) et un capteur inertiel IMU (Inertial Measurement Unit) qui mesure les mouvements de la caméra. Ces deux capteurs sont intégrés dans le système de positionnement et d'orientation POS (Position and Orientation System).
En pratique, nous avons utilisé les antennes fixes du réseau Walcors. Ce réseau offre une densité suffisante pour répondre aux besoins de positionnement (POS) utilisé. La fréquence d'enregistrement des données Walcors utilisable est de 1 Hz et la distance maximale entre un point du territoire wallon et une antenne Walcors est de 30km.

2.4) Missions réalisées et nombre d'images acquises

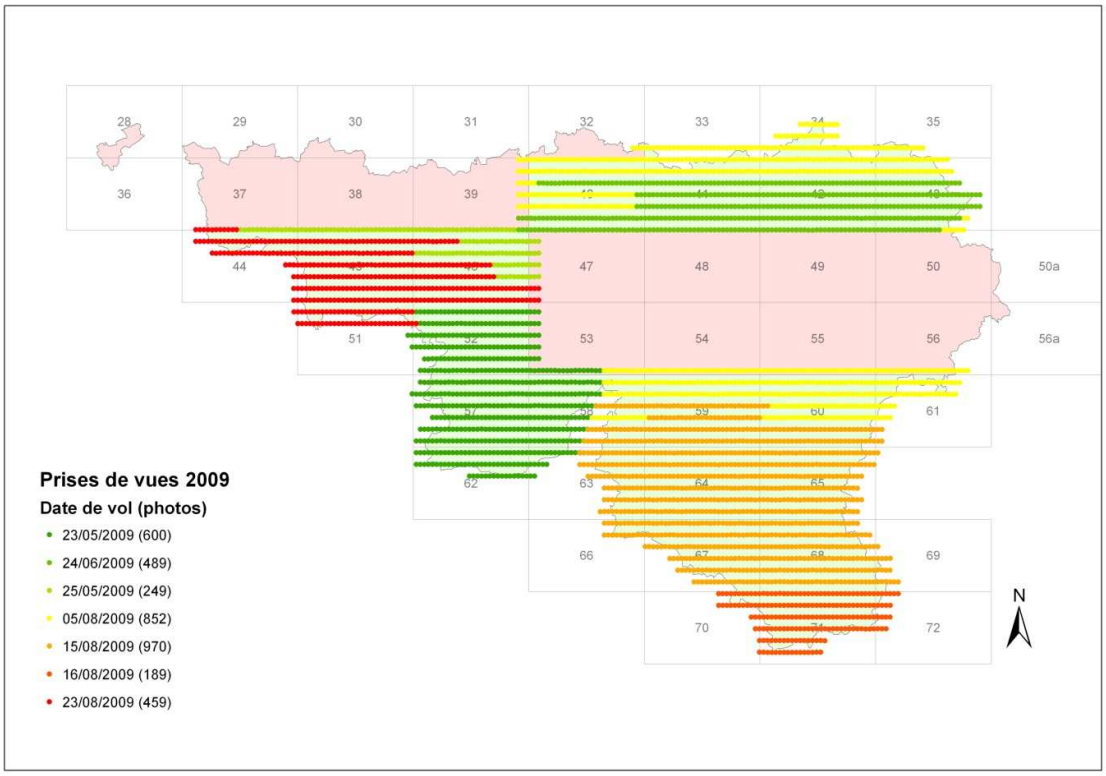
Le tableau 3 reprend les dates des missions réalisées et le nombre d'images acquises par mission. Signalons que le nombre d'images total ne correspond pas au nombre d'images réellement utilisées puisque des re-vols ont quelquefois été nécessaires pour améliorer la qualité des images ou éviter la présence de nuages sur certaines prises de vues.

Planning	Date de prise de vues	Nombre de prises de vues
2009	23/05/2009	600 clichés
	25/05/2009	249 clichés
	24/06/2009	489 clichés
	05/08/2009	852 clichés
	15/08/2011	970 clichés
	16/08/2009	189 clichés
	23/08/2009	459 clichés
	7 jours	**3,808 clichés**
2010	04/06/2010	632 clichés
	05/06/2010	741 clichés
	06/06/2010	528 clichés
	16/06/2010	554 clichés
	25/06/2010	117 clichés
	26/06/2010	274 clichés
	07/07/2010	237 clichés
	7 jours	**3,083 clichés**
TOTAL	**14 jours**	**6,891 clichés**

Tableau 4 : Dates des missions et nombre d'images acquises

Saison 2009 :

Les couvertures des différentes missions pour les parties à couvrir en 2009 sont illustrées dans la figure 4 ci-après.



Carte 4 : Missions aériennes réalisées (2009)

Comme l'indique cette carte, la partie 2009 a été découpée en 3 blocs fonctionnels :

- Bloc B1 (Liège) – planche IGN 33 à 35 et 40 à 43
- Bloc B2 (Hainaut) – planches IGN 44à 46, 51, 52, 57 et 63 + partie à l'ouest de la Meuse des planches 58 et 63
- Bloc B3 (Ardennes) – planches GN 59 à 61, 64 à 72 + partie à l'est de la Meuse des planches 58 et 63

Ce découpage en blocs fonctionnels répond aux contraintes liées à la production pour garantir une qualité optimale du produit final :

- Précision géométrique de l'aérotriangulation
- Homogénéité des couleurs et réduction du mosaïquage

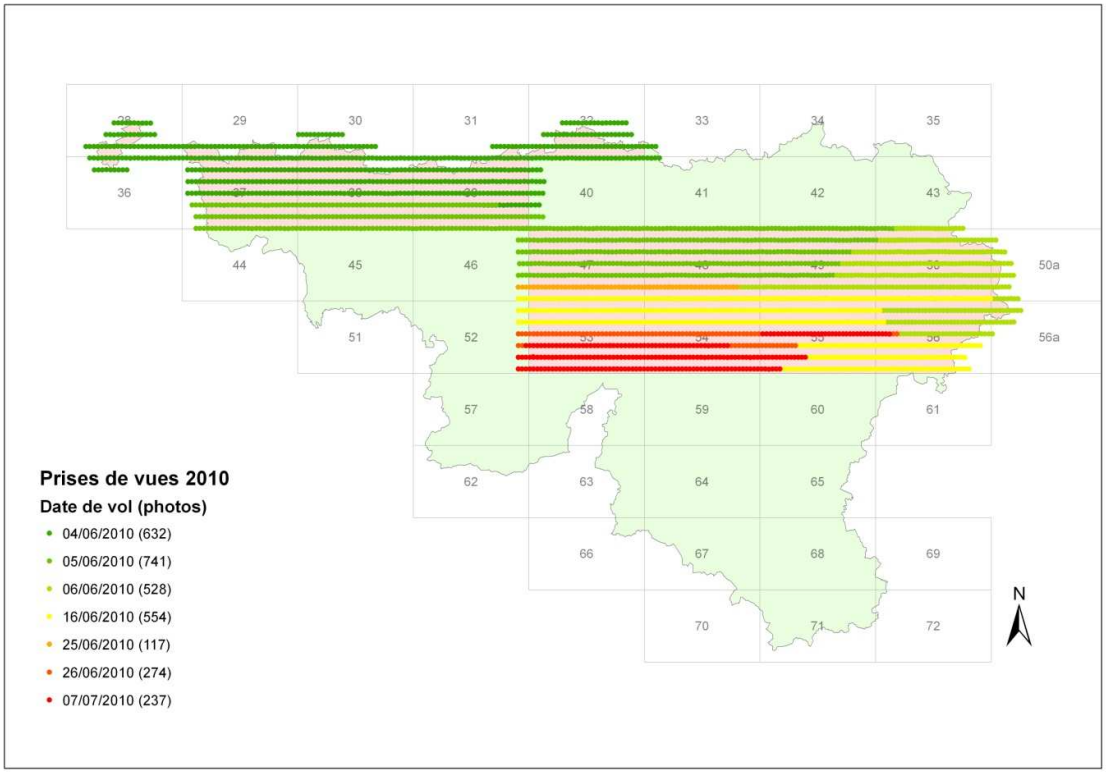
L'exécution des missions 2009 en fonction de ces différents blocs fonctionnels indique les caractéristiques et les contraintes pour le début du processus de traitement :

- Bloc B1 : couverture réalisée entre le 24/06 et le 05/08 (2 missions sur 43 jours)
- Bloc B2 : couverture réalisée entre le 23/05 et le 23/08 (3 missions sur 93 jours)
- Bloc B3 : couverture réalisée entre le 05/08 et le 16/08 (3 missions 12 jours)

Pour les blocs 1 et 2, l'écart entre le début et la fin des missions est important, pour les 3 blocs les dernières données permettant de compléter chaque zone n'ont été disponibles qu'en août 2009.

Saison 2010 :

Les couvertures des différentes missions pour les parties à couvrir en 2010 sont illustrées dans la figure 5 ci-après.



Carte 5 : Missions aériennes réalisées (2010)

Comme l'indique cette carte, la partie 2010 a été découpée en 2 blocs fonctionnels :

- Bloc B4 (nord-ouest) – planche IGN 28 à 32 et 36 à 39
- Bloc B5 (centre-est) – planches IGN 47 à 50 et 53 à 56

L'exécution des missions 2010 en fonction de ces différents blocs fonctionnels indique les caractéristiques et les contraintes pour le début du processus de traitement :

- Bloc B4 : couverture réalisée entre le 04/06 et le 05/06 (2 missions sur 2 jours)
- Bloc B5 : couverture réalisée entre le 05/06 et le 07/07 (6 missions sur 33 jours)

Par rapport à 2009, chaque bloc a pu être complété sur des périodes plus courtes. Toutefois, pour le bloc B5, un nombre important de missions ont été nécessaires (6, alors que le bloc est réduit et homogène).

On notera également le cas particulier de la carte IGN 32 qu'il serait adéquat de regrouper avec le bloc B1 (de 2009)

3) Workflow de production et contrôles qualité

Le schéma (Fig.5) illustre le processus général de production des orthophotos (avec utilisation d'un MNS existant), ainsi que les contrôles qualité qui ont été appliqués aux différentes étapes de production et aux produits finaux.

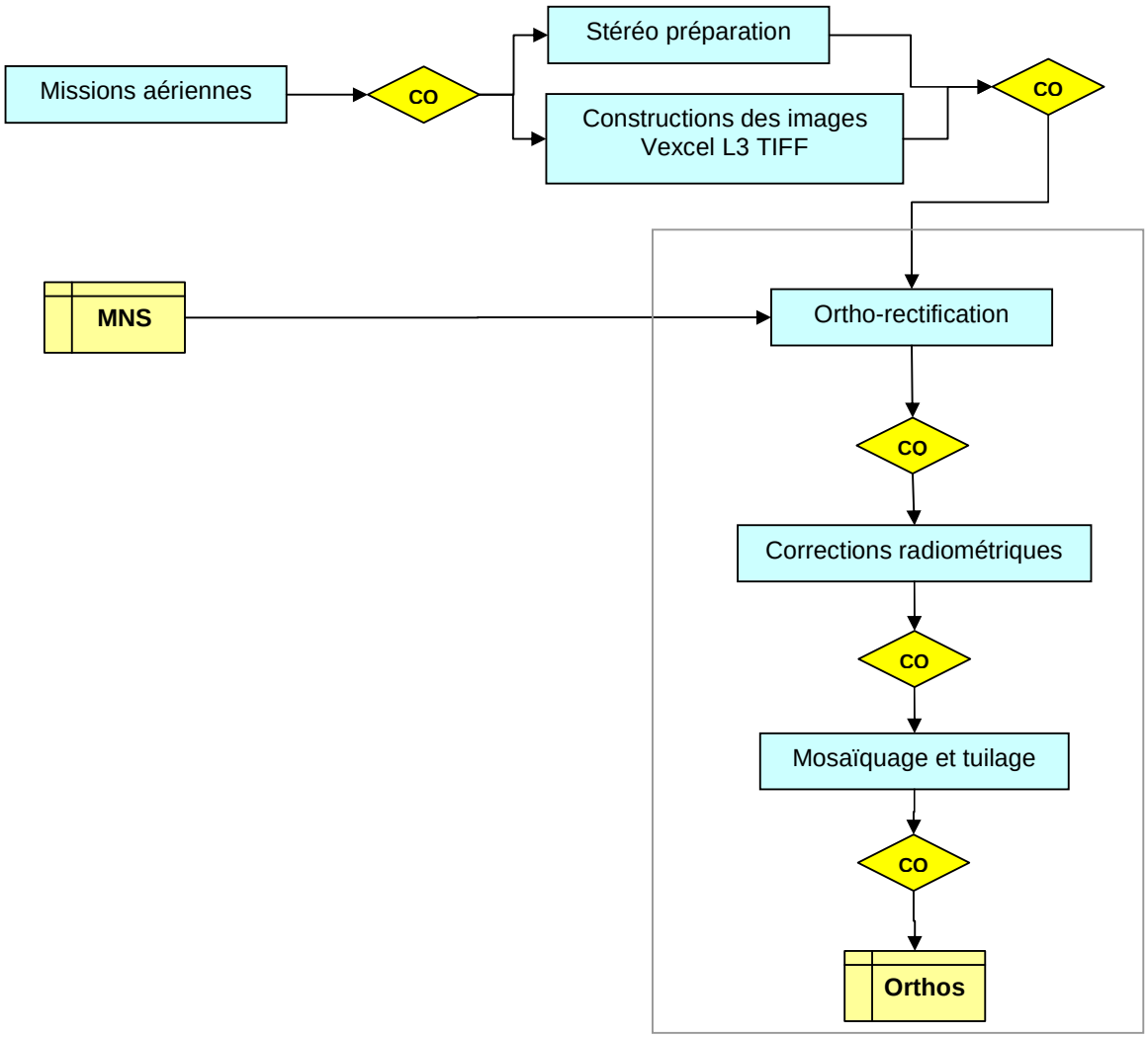


Figure 2 : Workflow de production

3.1) Missions aériennes :

Lorsque les conditions climatiques sont optimales et que les autorisations militaires sont accordées, les missions sont effectués sur base du plan de vol.

QC : Le respect du plan de vol (position des axes effectifs, zone couverte) et des spécifications (altitude et recouvrement entre bandes) est contrôlé immédiatement après chaque mission sur base de l'enregistrement des données de navigation par le GPS embarqué (CCNS) pendant le vol. Ces données sont comparées aux spécifications prévues avec les tolérances calculées pour garantir le respect des normes prescrites.

Ces données sont intégrées, avec leurs paramètres de qualité complétés, dans le planning et le système SIG (ArcGIS) de gestion de projet. Elles permettent de contrôler l'avancement de la couverture du territoire et de décider très rapidement si un re-vol est nécessaire.

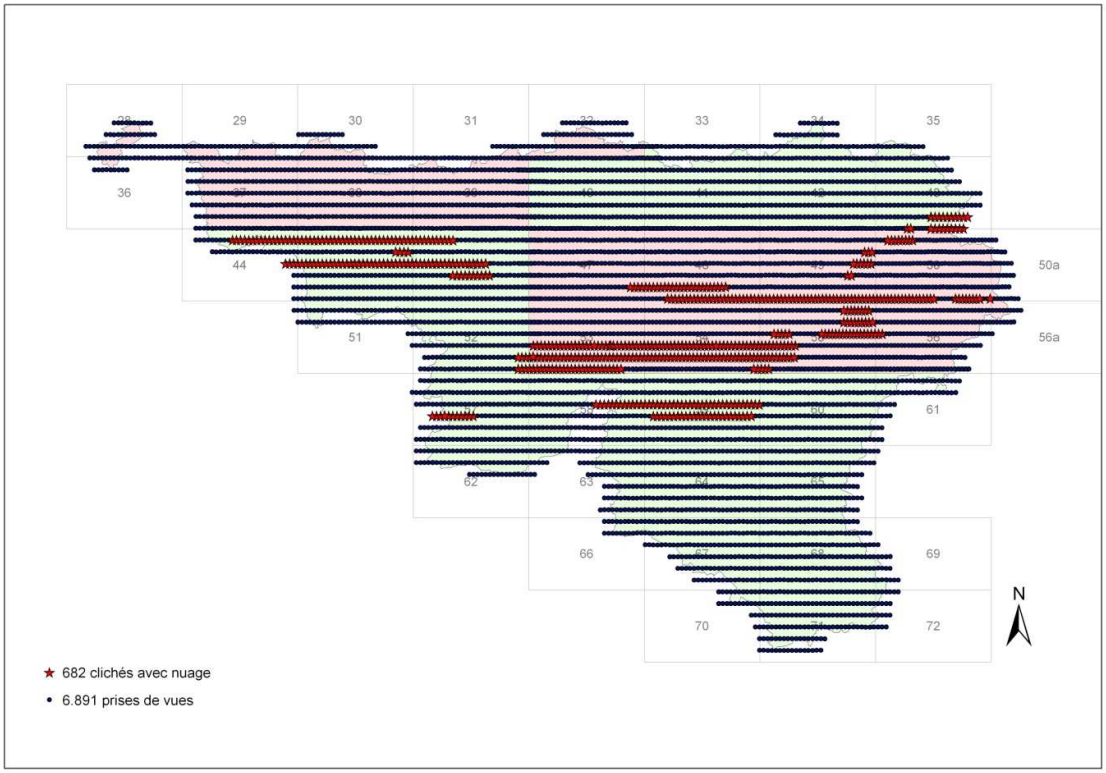
3.2) Stéréo-préparation et constructions des images Vexcel L3

La stéréo-préparation consiste à extraire les paramètres d'orientation externe des prises de vues, à savoir les données GPS/INS (X, Y, Z en Lambert 72 et Omega, Phi, Kappa en degré) propres à chaque image. Cette étape inclut une calibration des données GPS/INS sur base des résultats d'une aérotriangulation réalisée systématiquement à l'issue de chaque mission sur la même zone de référence.

Ce mécanisme permet notamment de détecter les éventuelles perturbations au niveau du système complet de prise de vues (caméra et système de positionnement/orientation GPS/INS) et de définir les paramètres internes de la caméra (X Principal Point of Autocollimation et Y Principal Point of Autocollimation). De cette manière, nous sommes assurés d'obtenir des paramètres d'orientations externes et internes de très bonne qualité. Les logiciels utilisés sont Bingo, AeroOffice, GrafNav et GrafNet.

Au départ d'images L0 (raw data), des images L2 (panchromatiques très haute résolution et couleurs basse résolution) puis L3 (couleurs très haute résolution par pan-sharpening) sont construites. Des corrections radiométriques (pré-traitements radiométriques et dodging) et des ajustements d'homogénéisation de couleurs intra- et inter-bandes de vol sont appliqués. Ces étapes sont exécutées dans le logiciel Office Processing Center développé par Vexcel.

QC : Les données Walcors et les données enregistrées en vol (GPS/INS) sont validées grâce notamment aux résultats de l'aérotriangulation de référence. Les images L2 puis L3 sont examinées individuellement afin de détecter la présence d'éventuels nuages ou de défaillances électroniques (capteurs ou matrices CCD). L'homogénéisation des couleurs est validée grâce à la visualisation des images juxtaposées. Une fois les images L3 prêtes, elles servent de produits de base pour la génération des orthophotos. Signalons que les images L3 et les données GPS/INS associées seront également livrées.



Carte 6 : QC prises de vues (qualitatif)

3.3) Aérotriangulation

Une aérotriangulation est réalisée de manière à améliorer les résultats de l'orientation directe et d'assurer une bonne liaison entre les clichés d'un même bloc. Les images L3 sont chargées dans le logiciel Match-AT. Une première étape consiste à faire un ajustement en bloc,

QC : La qualité de l'aérotriangulation est reprise dans les fichiers « log » issus de Match-AT.

Planning	Date de prise de vues	Nombre de prises de vues	Aérotriangulation	
2009	23/05/2009	600 clichés	587 clichés	98%
	25/05/2009	249 clichés	153 clichés	61%
	24/06/2009	489 clichés	489 clichés	100%
	05/08/2009	852 clichés	772 clichés	91%
	15/08/2011	970 clichés	970 clichés	100%
	16/08/2009	189 clichés	189 clichés	100%
	23/08/2009	459 clichés	409 clichés	89%
	7 jours	**3,808 clichés**	**3,569 clichés**	**94%**
2010	04/06/2010	632 clichés	632 clichés	100%
	05/06/2010	741 clichés	727 clichés	98%
	06/06/2010	528 clichés	404 clichés	77%
	16/06/2010	554 clichés	497 clichés	90%
	25/06/2010	117 clichés	68 clichés	58%
	26/06/2010	274 clichés	104 clichés	38%
	07/07/2010	237 clichés	237 clichés	100%
	7 jours	**3,083 clichés**	**2,669 clichés**	**87%**
TOTAL	**14 jours**	**6,891 clichés**	**6,238 clichés**	**91%**

Tableau 5 : Inventaire des prises de vues utilisées pour l'aérotriangulation

3.4) Orthorectification

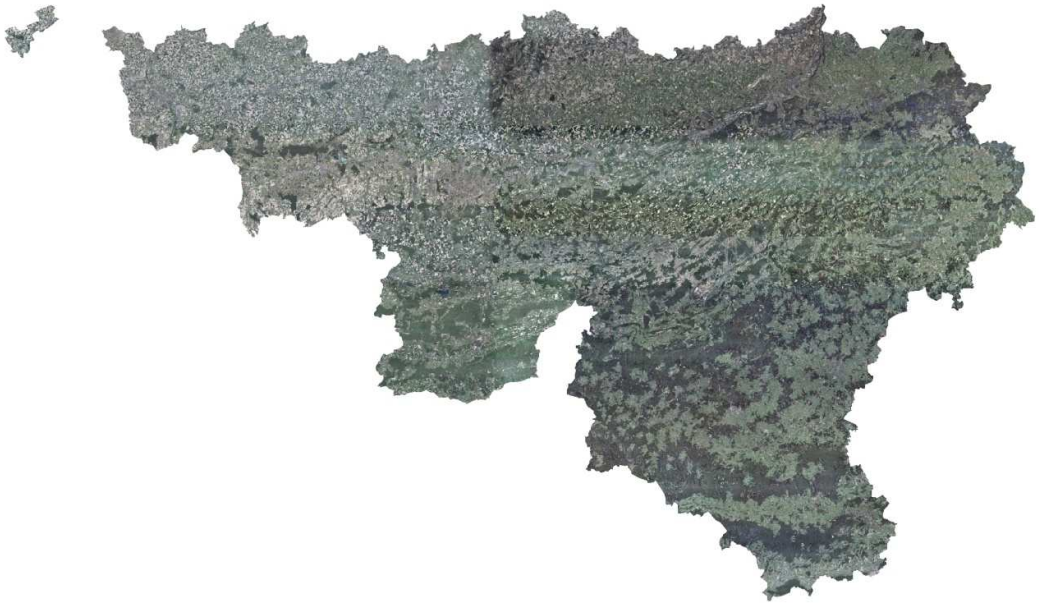
L'orthorectification est effectuée sur base des MNS issus du projet précédent et des images L3 couleurs. Elle est réalisée dans la suite logicielle Inpho (OrthoMaster). Au cours de cette étape, les orthophotos sont produites par carte IGN 1 :50.000ème et directement découpées suivant le contour de la Région Wallonne. Leur résolution finale (25cm) est également fixée. Si les contrôles planimétriques sont satisfaisants, alors les orthophotos poursuivent leurs traitements dans la chaîne de production.

QC : La qualité de l'orthorectification est validée au niveau de la précision planimétrique grâce à la superposition de vecteurs de référence (lignes PICC) sur les orthophotos dans le logiciel ArcGIS. Des écarts (pris de l'orthophoto vers la référence PICC) peuvent ainsi être mesurés et des précisions planimétriques peuvent être calculées. Nous vérifions également que certains hauts bâtiments ou ponts/viaducs ne soient pas déformés. Le tableau récapitulatif (Tab.4) contient les précisions planimétriques obtenues pour chaque carte IGN.

3.5) Corrections radiométriques

Les corrections radiométriques consistent essentiellement en une homogénéisation globale des couleurs (Rouge, Vert, Bleu et Infra-rouge) au sein des cartes IGN mais également entre elles. Pour nous aider, des outils très puissants existent dans le logiciel OrthoVista d'Inpho. Les orthophotos des différentes cartes sont ainsi juxtaposées les unes aux autres, les couleurs peuvent dès lors être ajustées.

QC : Les contrôles qualité appliqués sont surtout visuels et globaux. Des comparaisons entre histogrammes ont également été utiles dans certains cas de figure.



Carte 7 : Mosaïque finale globale

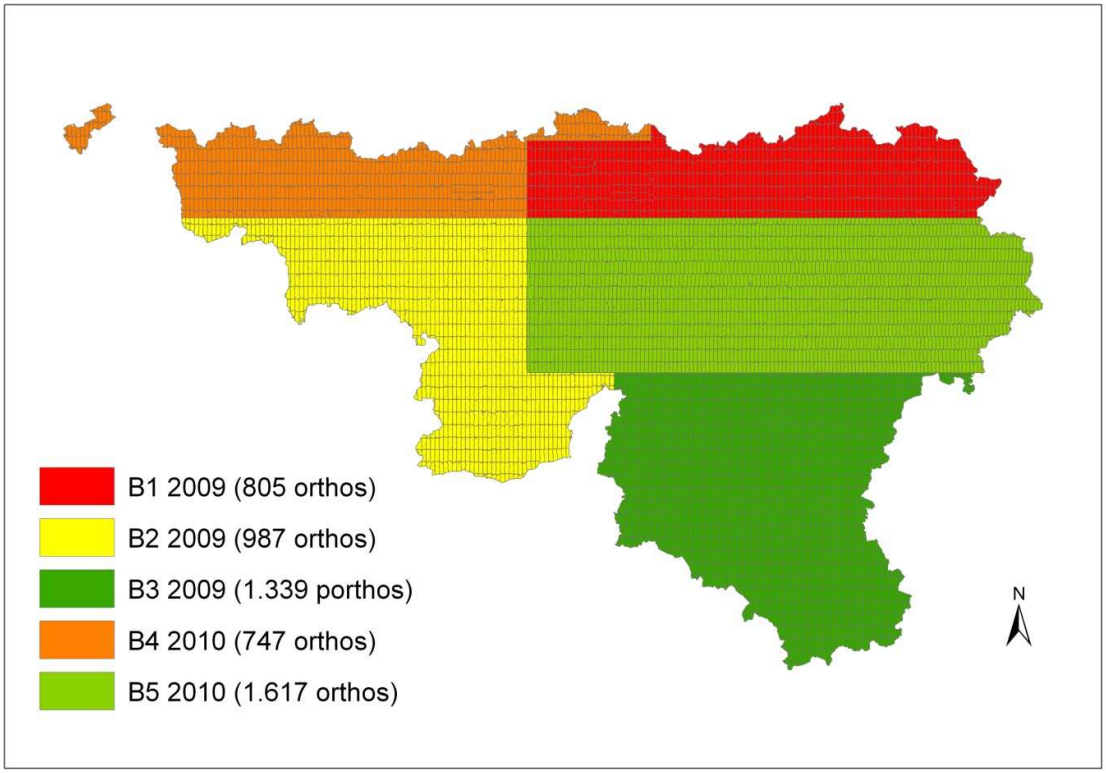
3.6) Mosaïquage et tuilage

Au départ des orthophotos et à l'aide d'OrthoVista, les mailles de 2km*2km sont produites et mises en forme (nomenclature, format) suivant les spécifications requises. Elles sont ensuite visualisées dans ArcGIS pour vérifier les lignes de mosaïquage et l'homogénéisation des couleurs. Il est arrivé à quelques reprises que les lignes de mosaïquage soient ajustées dans le logiciel Seam Editor (Inpho) de manière à éviter l'apparition de ponts ou de bâtiments tronqués. Les tuiles sont alors validées et prêtes à être livrées.

QC : Les contrôles appliqués se déroulent dans ArcGIS et concernent essentiellement la qualité radiométrique (couleurs homogènes). Nous veillons également à ce que les raccords entre les orthophotos (ligne de mosaïque) soient le moins visible possible.

Planning	Date de prise de vues	Nombre de prises de vues	Aérotriangulation		Orthos	
2009	23/05/2009	600 clichés	587 clichés	98%	486 clichés	81%
	25/05/2009	249 clichés	153 clichés	61%	137 clichés	55%
	24/06/2009	489 clichés	489 clichés	100%	461 clichés	94%
	05/08/2009	852 clichés	772 clichés	91%	658 clichés	77%
	15/08/2011	970 clichés	970 clichés	100%	880 clichés	91%
	16/08/2009	189 clichés	189 clichés	100%	151 clichés	80%
	23/08/2009	459 clichés	409 clichés	89%	358 clichés	78%
	7 jours	**3,808 clichés**	**3,569 clichés**	**94%**	**3,131 clichés**	**82%**
2010	04/06/2010	632 clichés	632 clichés	100%	507 clichés	80%
	05/06/2010	741 clichés	727 clichés	98%	673 clichés	91%
	06/06/2010	528 clichés	404 clichés	77%	359 clichés	68%
	16/06/2010	554 clichés	497 clichés	90%	451 clichés	81%
	25/06/2010	117 clichés	68 clichés	58%	65 clichés	56%
	26/06/2010	274 clichés	104 clichés	38%	79 clichés	29%
	07/07/2010	237 clichés	237 clichés	100%	230 clichés	97%
	7 jours	**3,083 clichés**	**2,669 clichés**	**87%**	**2,364 clichés**	**77%**
TOTAL	**14 jours**	**6,891 clichés**	**6,238 clichés**	**91%**	**5,495 clichés**	**80%**

Tableau 6 : Inventaire des prises de vues utilisées pour l'orthorectification



Carte 8 : découpage de la mosaïque finale par bloc

3.7) Finalisation des données

Les données sont finalisées, leurs formats et leurs contenus sont vérifiés dans ArcGIS. Les fichiers de métadonnées (LOG) sont générés et leur contenu est vérifié. Le tableau (Tab.4) ci-après reprend les valeurs de précisions planimétriques et altimétriques obtenues pour chacune des cartes IGN 1 :50.000ème.

Les infos relatives au DEM utilisé sont reprises des fichiers LOG pré-existants (ces informations sont identiques pour toutes les mailles appartenant à une même carte IGN) :

- DEMID
- DEMAccuracyZ
- AerBaseLoc
- YearcreationDTM
- NumberOfCheckPointsDEM
- CheckPointAccuracyZDEM
- CheckPointDiscrepancyZDEM
- RMSECheckPointZDEM

Les données spécifiques aux missions actuelles et reprises dans les fichiers LOG reprennent les informations suivantes :

- Spécifiques pour chaque maille de 2 x 2 km :
    - ImgFlight1Date
    - ImgFlight2Date
    - SunAngle
- Intégrées pour la carte IGN correspondante :
    - AerScale
    - AerScaleVar
    - NumberOfCheckPoints

- CheckPointDiscrepancyX
- CheckPointDiscrepancyY
- RMSECheckPointX
- RMSECheckPointY
- RMSECheckPointXY

Modes de calcul :

- Calcul des informations propres à chaque image :
  - Date, position du cliché (latitude et longitude) et heure de vol (GMT) → calcul de la hauteur du soleil (selon site http://www.susdesign.com/sunangle/)
  - Altitude du terrain reprise de la valeur moyenne issue du DEM sur la superficie utile de chaque cliché (partie de la photo orthorectifiée utilisée dans la mosaïque finale) + Altitude du vol (reprise de l'aérotriangulation) → hauteur de vol + focale utilisée → AerScale (hauteur de vol / focale)
  - Donc pour chaque image utilisée dans la mosaïque d'ortho :
    - ImgFlightDate
    - SunAngle
    - AerScale

- Calcul des mesures contrôle des précisions planimétriques par :
  - Des mesures individuelles d'écart entre la position d'un point dans l'image et dans la carte de référence (PICC) sont réalisées aléatoirement sur les orthos
  - Ces mesures sont effectuées systématiquement de la position de l'image vers la position sur la carte de manière à obtenir des valeurs d'écarts signées en X et Y
  - Les valeurs statistiques (NumberOfCheckPoints, CheckPointDiscrepancyX, CheckPointDiscrepancyY, RMSECheckPointX, RMSECheckPointY et RMSECheckPointXY) sont calculées par zone (en principe pour chaque carte IGN)
  - Certaines cartes étant très réduites (carte IGN 72 par exemple) ou peu ou pas couvertes par des données de référence (PICC) disponible, les statistiques peuvent être regroupées pour plusieurs cartes IGN proches.

- Intégration des informations par unité de découpage:
  - Chaque unité de découpage (mlaille de 2 x 2 km ou carte IGN 1/50.000) intègre les valeurs de plusieurs parties d'image (ortho).
  - Pour les valeurs individuelles d'angle et d'échelle (SunAngle, AerScale), celles-ci sont calculées par intégration des valeurs au prorata de la surface de chaque image représentée dans l'unité de découpage
  - Pour les valeurs extrêmes (AerScaleVar, ImgFlight1Date, ImgFlight2Date), celles-ci sont reprises à partir des valeurs individuelles (de chaque image) maximale et minimales rencontrées dans l'unité de découpage concernée)

Carte	Q	Discrepancy X	Discrepancy Y	RMSE X	RMSE Y	RMSE XY
28	9 pts	0.43 m	0.41 m	0.13 m	0.14 m	0.19 m
29	5 pts	0.27 m	0.39 m	0.14 m	0.10 m	0.17 m
30	2 pts	0.14 m	0.24 m	0.12 m	0.25 m	0.28 m
31	2 pts	0.76 m	0.21 m	0.11 m	0.41 m	0.43 m
32	5 pts	0.24 m	0.42 m	0.21 m	0.23 m	0.31 m
33	4 pts	0.42 m	0.53 m	0.33 m	0.45 m	0.55 m
34	5 pts	0.82 m	0.30 m	0.23 m	0.35 m	0.42 m
36	2 pts	0.10 m	0.06 m	0.04 m	0.07 m	0.08 m
37	8 pts	0.61 m	0.62 m	0.22 m	0.20 m	0.30 m
38	14 pts	0.83 m	0.90 m	0.21 m	0.19 m	0.28 m
39	14 pts	0.80 m	0.49 m	0.19 m	0.25 m	0.31 m
40	21 pts	1.38 m	1.59 m	0.42 m	0.34 m	0.54 m
41	19 pts	1.58 m	0.96 m	0.29 m	0.41 m	0.50 m
42	22 pts	1.67 m	1.14 m	0.33 m	0.52 m	0.62 m
43	5 pts	0.94 m	0.83 m	0.30 m	0.44 m	0.53 m
44	12 pts	1.83 m	1.20 m	0.37 m	0.59 m	0.70 m
45	28 pts	1.97 m	1.66 m	0.37 m	0.49 m	0.61 m
46	16 pts	0.72 m	0.70 m	0.17 m	0.22 m	0.28 m
47	20 pts	0.72 m	0.38 m	0.12 m	0.17 m	0.21 m
48	19 pts	0.45 m	0.33 m	0.10 m	0.14 m	0.17 m
49	23 pts	0.40 m	0.40 m	0.14 m	0.12 m	0.18 m
50	14 pts	0.63 m	0.50 m	0.13 m	0.15 m	0.20 m
51	12 pts	0.68 m	0.74 m	0.22 m	0.21 m	0.31 m
52	52 pts	1.99 m	1.15 m	0.25 m	0.41 m	0.48 m
53	28 pts	0.76 m	0.50 m	0.14 m	0.17 m	0.22 m
55	8 pts	0.57 m	0.25 m	0.10 m	0.18 m	0.21 m
56	9 pts	0.61 m	0.52 m	0.16 m	0.16 m	0.23 m
57	12 pts	1.76 m	1.58 m	0.49 m	0.67 m	0.83 m
58	38 pts	1.90 m	1.35 m	0.35 m	0.45 m	0.57 m
59	16 pts	1.33 m	1.10 m	0.31 m	0.30 m	0.44 m
60	23 pts	1.21 m	1.31 m	0.31 m	0.36 m	0.47 m
67	18 pts	1.05 m	1.32 m	0.37 m	0.36 m	0.52 m
68	27 pts	1.63 m	1.63 m	0.37 m	0.40 m	0.54 m
69	7 pts	0.58 m	0.63 m	0.20 m	0.21 m	0.29 m
Total	**519 pts**	**2.31 m**	**2.12 m**	**0.28 m**	**0.35 m**	**0.45 m**

Tableau 7 : Résultats des contrôles planimétriques

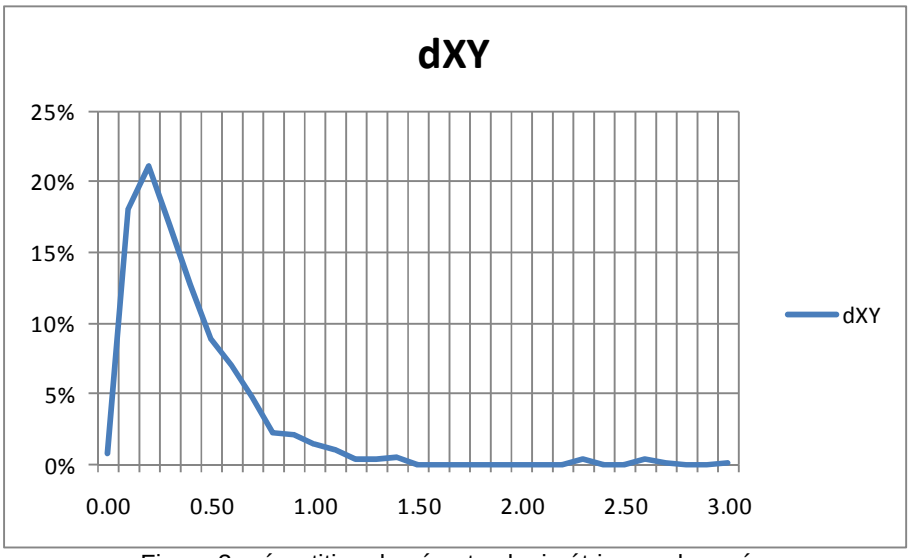


Figure 3 : répartition des écarts planimétriques observés

4) Livraison des données

Les dates de livraison des orthophotos sont reprises dans le tableau ci-dessous.

carte IGN	superficies RW		ORTHOS - offre de base - variante 2					
	absolue	relative	fourniture	réception	statut	Lot	PV	DP
28	5,236.38 ha	0.31%	12/07/2010	5/11/2010	accepté	4	3	2
29	6,467.97 ha	0.38%	12/07/2010	5/11/2010	accepté	4	3	2
30	5,329.33 ha	0.31%	12/07/2010	5/11/2010	accepté	4	3	2
31	1,204.18 ha	0.07%	12/07/2010	5/11/2010	accepté	4	3	2
32	14,479.41 ha	0.85%	12/10/2010	5/11/2010	accepté	4	3	2
33	1,920.07 ha	0.11%	11/11/2009	10/12/2009	accepté	1	1	1
34	10,101.24 ha	0.60%	11/11/2009	10/12/2009	accepté	1	1	1
35	3,854.45 ha	0.23%	11/11/2009	10/12/2009	accepté	1	1	1
36	1,170.75 ha	0.07%	12/07/2010	5/11/2010	accepté	4	3	2
37	52,921.08 ha	3.12%	12/10/2010	5/11/2010	accepté	4	3	2
38	58,699.76 ha	3.46%	12/10/2010	5/11/2010	accepté	4	3	2
39	59,187.47 ha	3.49%	12/10/2010	5/11/2010	accepté	4	3	2
40	64,000.00 ha	3.77%	11/11/2009	10/12/2009	accepté	1	1	1
41	60,586.77 ha	3.57%	11/11/2009	10/12/2009	accepté	1	1	1
42	63,490.53 ha	3.74%	11/11/2009	10/12/2009	accepté	1	1	1
43	41,626.16 ha	2.45%	11/11/2009	10/12/2009	accepté	1	1	1
44	12,434.07 ha	0.73%	23/10/2009	24/12/2009	accepté	3	2	1
45	61,822.97 ha	3.64%	23/10/2009	24/12/2009	accepté	3	2	1
46	64,000.00 ha	3.77%	23/10/2009	24/12/2009	accepté	3	2	1
47	64,000.00 ha	3.77%	26/11/2010	29/12/2010	accepté	5	5	4
48	64,000.00 ha	3.77%	3/12/2010	29/12/2010	accepté	5	5	4
49	64,000.00 ha	3.77%	12/07/2010	26/11/2010	accepté	5	4	3
50	59,862.76 ha	3.53%	12/07/2010	26/11/2010	accepté	5	4	3
50a	2,318.57 ha	0.14%	12/07/2010	26/11/2010	accepté	5	4	3
51	11,119.94 ha	0.66%	23/10/2009	24/12/2009	accepté	3	2	1
52	56,994.50 ha	3.36%	23/10/2009	24/12/2009	accepté	3	2	1
53	64,000.00 ha	3.77%	26/11/2010	29/12/2010	accepté	5	5	4
54	64,000.00 ha	3.77%	26/11/2010	29/12/2010	accepté	5	5	4
55	64,000.00 ha	3.77%	26/11/2010	29/12/2010	accepté	5	5	4
56	52,678.07 ha	3.11%	26/11/2010	29/12/2010	accepté	5	5	4
56a	2,076.59 ha	0.12%	12/07/2010	26/11/2010	accepté	5	4	3
57	51,695.85 ha	3.05%	28/07/2009	24/12/2009	accepté	1	2	1
58	49,298.64 ha	2.91%	23/10/2009	24/12/2009	accepté	3	2	1
59	64,000.00 ha	3.77%	05/10/2009	10/12/2009	accepté	1	1	1
60	62,680.97 ha	3.69%	05/10/2009	10/12/2009	accepté	2	1	1
61	7,212.58 ha	0.43%	08/10/2009	10/12/2009	accepté	2	1	1
62	17,652.45 ha	1.04%	28/07/2009	24/12/2009	accepté	1	2	1
63	23,215.16 ha	1.37%	23/10/2009	24/12/2009	accepté	3	2	1
64	64,000.00 ha	3.77%	05/10/2009	10/12/2009	accepté	2	1	1
65	50,217.23 ha	2.96%	08/10/2009	10/12/2009	accepté	2	1	1
66	3,742.46 ha	0.22%	05/10/2009	24/12/2009	accepté	2	2	1
67	43,522.30 ha	2.57%	05/10/2009	10/12/2009	accepté	2	1	1
68	58,191.75 ha	3.43%	05/10/2009	10/12/2009	accepté	2	1	1
69	1,207.35 ha	0.07%	05/10/2009	10/12/2009	accepté	2	1	1
70	2,862.49 ha	0.17%	08/10/2009	10/12/2009	accepté	2	1	1
71	38,626.28 ha	2.28%	08/10/2009	10/12/2009	accepté	2	1	1
72	824.14 ha	0.05%	05/10/2009	10/12/2009	accepté	3	1	1

Tableau 8 : Calendrier des fournitures et acceptations

5) Liste et description des shapefiles associés au rapport

Les shapefiles suivants sont fournis avec ce rapport (système de copordonnées : Lambert Belge 1972):

- Données initiales (INPUT) - source = Région Wallonne :
  - MP2008_Orthophotoplans_Input_RegionWallonne: extension du territoire à couvrir
  - MP2008_Orthophotoplans_Input_CartesIGN : découpage et identification des cartes IGN 1/50000
  - MP2008_Orthophotoplans_Input_Mailles : découpage et identification des mailles de 2 x 2 km (unité de fourniture des orthos)
- Données intermédiaires de production (PROCESS) :
  - MP2008_Orthophotoplans_Process_IndexDeVol : position enregistrées en cours de mission des centres de perspectives des images aériennes
  - MP2008_Orthophotoplans_Process_Aerotriangulation : paramètres de positionnement et d'orientation des images calculées par aérotriangulation
  - MP2008_Orthophotoplans_Process_Orthos : assemblage des images composant la mosaique orthorectifiée
  - MP2008_Orthophotoplans_Process_Orthos_Intersect_CartesIGN : intersection spatial entre le découpage IGN et la mosaïque d'orthos
  - MP2008_Orthophotoplans_Process_Orthos_Intersect_Mailles : intersection spatial entre le découpage en maille de 2 x 2 km et la mosaïque d'orthos
- Données finales (OUTPUT) :
  - MP2008_Orthophotoplans_Output_Maille : données informatives intégrées par maille de 2 x 2 km
  - MP2008_Orthophotoplans_Output_IGN : données informatives intégrées par carte IGN 1/50.000

Les shapefiles reprennent une série d'information enregistrées dans les champs des bases de données associées aux shapefiles :

- Carte_IGN : nom de la carte IGN (texte)
- Planning : année prévue pour la réalisation des orthos (entier)
- Maille : numéro de la maille de 2 x 2 km (entier)
- Nom_Photo : identification de chaque cliché « aaaammdd_ll_ppppp » reprenant la date de prise de vue, le numéro d'axe et le numéro de photo (texte)
- Num_Axe : numéro de l'axe de vol (entier)
- Num_Photo : numréo de photo (entier)
- Date_Vol : date de prise de vue (date)
- Heure_Vol : heure de vol « hh :mm :ss » (texte)
- WGS84_Lat : latitude en degrés décimaux (floating)
- WGS84_Long : longitude en degrés décimaux (floating)
- WGS84_H : hauteur ellipsoïde en mètres (entier)
- SunAngle : hauteur du soleil (floating)
- Use_AET : code déterminant l'utilisation (1) ou non (0) dans l'aérotriangulation (entier)
- Use_Ortho : code déterminant l'utilisation (1) ou non (0) dans l'orthorectification (entier)
- Camera : identification de la camera utilisée (texte)
- X_AET : coordonnée X en Lambert belge 72 (floating)
- Y_AET : coordonnée Y en Lambert belge 72 (floating)
- Z_AET : coordonnée Z en Lambert belge 72 (floating)
- Omega : angle en degré décimaux (floating)
- Phi : angle en degré décimaux (floating)
- Kappa : angle en degré décimaux (floating)
- Date_AET : date de l'aérotriangulation (date)
- Z_Sol : altitude moyenne au sol (entier)
- H_Vol : hauteur de vol (entier)
- GSD_cm : résolution moyenne du pixel au sol en cm (entier)
- AerScale : facteur d'échelle (entier)
- Surface : superficie du polygone (floating)
- FlightDate : date de vol (date)
- Check_Id : identifiant de la mesure de contrôle (entier)
- X1 : coordonnée X source (image) des mesures de contrôle (floating)

- Y1 : coordonnée Y source (image) des mesures de contrôle (floating)
- X1 : coordonnée X de référence (PICC) des mesures de contrôle (floating)
- Y1 : coordonnée Y de référence (PICC) des mesures de contrôle (floating)
- dX : X1-X2 (floating)
- dY : Y1-Y2 (floating)
- dXY : distance entre mesure source et donnée de référence (floating)
- I_F_Date1 : (ImgFlight1Date) première date de vol (date)
- I_F_Date2 : (ImgFlight2Date) dernière date de vol (date)
- Q_Orthos : nombre d'images mosaîquées dans chaque maille ou carte IGN (entier)
- Ortho_Area : superficie nette de l'image (floating)
- ScaleVar : (AerScaleVar) variation du facteur d'échelle (entier)
- Q_Mailles : nombre de mailles dans la carte IGN (entier)

* * * Fin du document * * *