

Service public de Wallonie
Département de la géomatique

Id/TE/BDL-BE22-037 & BE22-038

Association Momentanée

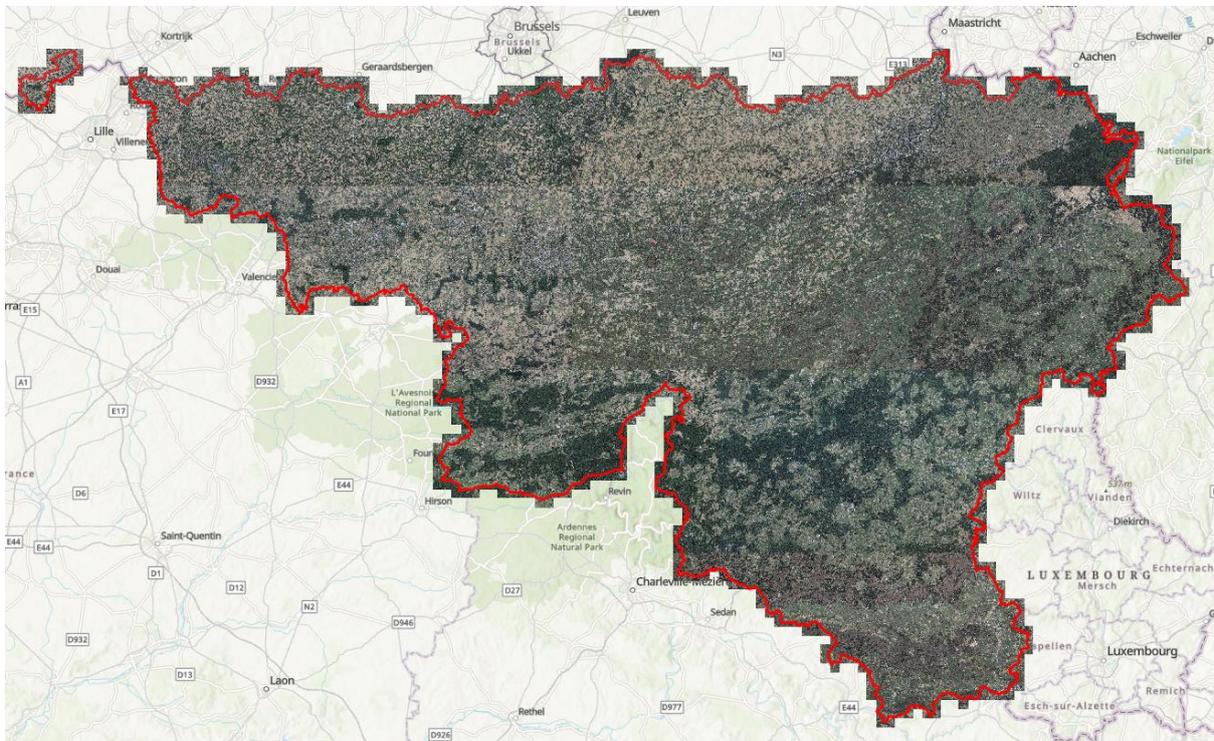


WALPHOT sa
Chaussée de Liège 221
B-5100 NAMUR



EUROSENSE sprl
Avenue des Nerviens 54
B-1780 WEMMEL

Rapport global
BE22-038 – Mission Hiver – Eté 2022 - Marché public de fournitures
d'orthophotos couleur numériques d'une résolution de 0,25 m
Références : S2.21.01-21-3962



Service publique de Wallonie Département de la géomatique	Id/TE/BDL-BE22-037 & BE22-038	
	Association Momentanée	
	 WALPHOT WALPHOT sa Chaussée de Liège 221 B-5100 NAMUR	 EUROSENSE EUROSENSE sprl Avenue des Nerviens 54 B-1780 WEMMEL

Identification du document

Projet	BE22-037 et BE22-038 – Orthophotos Hiver et Eté 2022
Référence	SPW_2022_STEREO_AERO_ORTHO_rapport_global.docx
Version	4
Date	12/01/2023
Auteur	GTi
Destination	SPW / Tous concernés

Statut du document

Version	Date	Objet de la version	Auteur
1	12/01/2023	Rédaction	GTi
2	13/01/2023	Révision / Adaptation finale	TE
3	09/03/2023	Integration remarque Marie Goossens et ajout de l'annexe 8bits -16bits	GTi
4	13/03/2023	Modification date fin vol hiver et §8.2	GTi

Service publique de Wallonie Département de la géomatique	Id/TE/BDL-BE22-037 & BE22-038	
	Association Momentanée	
	 WALPHOT WALPHOT sa Chaussée de Liège 221 B-5100 NAMUR	 EUROSENSE EUROSENSE sprl Avenue des Nerviens 54 B-1780 WEMMEL

Table des matières

1. VUE GLOBALE DU PROJET 2022	5
2. CANEVAS DE REFERENCE	9
3. RESOLUTION AU SOL	9
4. CAMERA UTILISEE	9
5. ZONES MILITAIRES ET NUCLEAIRES SENSIBLES	9
6. AEROTRIANGULATION	9
6.1. METHODE GENERALE	9
6.2. AJUSTEMENT FINAL – A PRIORI	10
6.3. AJUSTEMENT FINAL – A POSTERIORI	11
7. DESCRIPTION DE L'ORTHORECTIFICATION ET DU MOSAÏQUAGE	13
7.1. EXPLOITATION DES PRISES DE VUE ET DES ORIENTATIONS LIVREES	13
7.2. MODELE NUMERIQUE DE TERRAIN	13
7.3. ORTHORECTIFICATION ET MOSAÏQUAGE	13
7.4. CONTROLE DE QUALITE ET CORRECTIONS	13
7.5. REGLAGE DE LA RADIOMETRIE	14
8. LIVRAISON	15
8.1. IMAGES LV3	15
8.2. ORTHOPHOTOS TUILEES 2X2 KM ² A 25 CM	15
8.3. METADONNEES « TUILAGE »	16
8.4. METADONNEES « MAILLAGE »	17
8.5. GEODATABASES ET DONNEES CONSOLIDEES	17
9. ANNEXE: RÉOLUTION RADIOMÉTRIQUE DES IMAGES VEXCEL UCXP ET UCE-M3	18

Service public de Wallonie Département de la géomatique	Id/TE/BDL-BE22-037 & BE22-038	
	Association Momentanée	
	 WALPHOT WALPHOT sa Chaussée de Liège 221 B-5100 NAMUR	 EUROSENSE EUROSENSE sprl Avenue des Nerviens 54 B-1780 WEMMEL

9.1. INTRODUCTION	18
9.2. QUANTITE D'INFORMATION CONTENUE DANS LES IMAGES.	19
9.3. ACQUISITION INITIALE DES DONNEES LEVEL 0 ET SPECIFICATIONS DE VEXCEL	22
9.4. VERIFICATION DU CONTENU DES IMAGES INDIVIDUELLES LEVEL 0	23
9.5. CREATION DES IMAGES 16 BIT ET 8 BIT LEVEL 3	24
9.6. ANALYSE DE LA RADIOMETRIE DES IMAGES PAN 16 BIT	25
9.7. ANALYSE DE LA RADIOMETRIE DES IMAGES RGBI 16 BIT	25
9.8. ANALYSE DE LA RADIOMETRIE DES IMAGES 8 BIT	26
9.9. COMPARAISON DES IMAGES 16 BIT ET 8 BIT	26
9.10. UTILITE DES IMAGES 16 BIT	28
9.11. ILLUSTRATION	29

Service publique de Wallonie Département de la géomatique	Id/TE/BDL-BE22-037 & BE22-038	
	Association Momentanée	
	 WALPHOT WALPHOT sa Chaussée de Liège 221 B-5100 NAMUR	 EUROSENSE EUROSENSE sprl Avenue des Nerviens 54 B-1780 WEMMEL

1. Vue globale du projet 2022

Le présent rapport concerne la stéréopréparation, les clichés aériens, l'aérotriangulation, l'orthorectification, le mosaïquage et enfin le contenu des livraisons orthophotos 2022 pour le SPW.

Il décrit succinctement les méthodes suivies, les résultats obtenus, le contenu et l'organisation des livraisons.

Le projet de couverture orthophoto 2022 de la Wallonie a été divisé en 2 périodes de vol:

- Les vols "Hiver": les vols sont effectués entre le 27/03/2022 et le 14/05/2022
- Les vols "Eté": les vols sont effectués entre le 18/06/2022 et le 13/08/2022

Les vols "Eté" ont conduit à la production d'une orthophoto "Eté" et d'un MNS

Les vols "Hiver" ont conduit à la production d'une orthophoto "Hiver". Un MNS a également été généré si la zone n'avait pas été couverte par des vols "été"

Enfin, lorsque des blocs ont été volés à la fois en hiver et en été, la fourniture des géodatabases consolidées sur l'intégralité de la Wallonie a toujours donné la priorité au vol les plus récents, à savoir les vols "été".



WALPHOT sa
Chaussée de Liège 221
B-5100 NAMUR



EUROSENSE sprl
Avenue des Nerviens 54
B-1780 WEMMEL

Vols HIVER réalisés

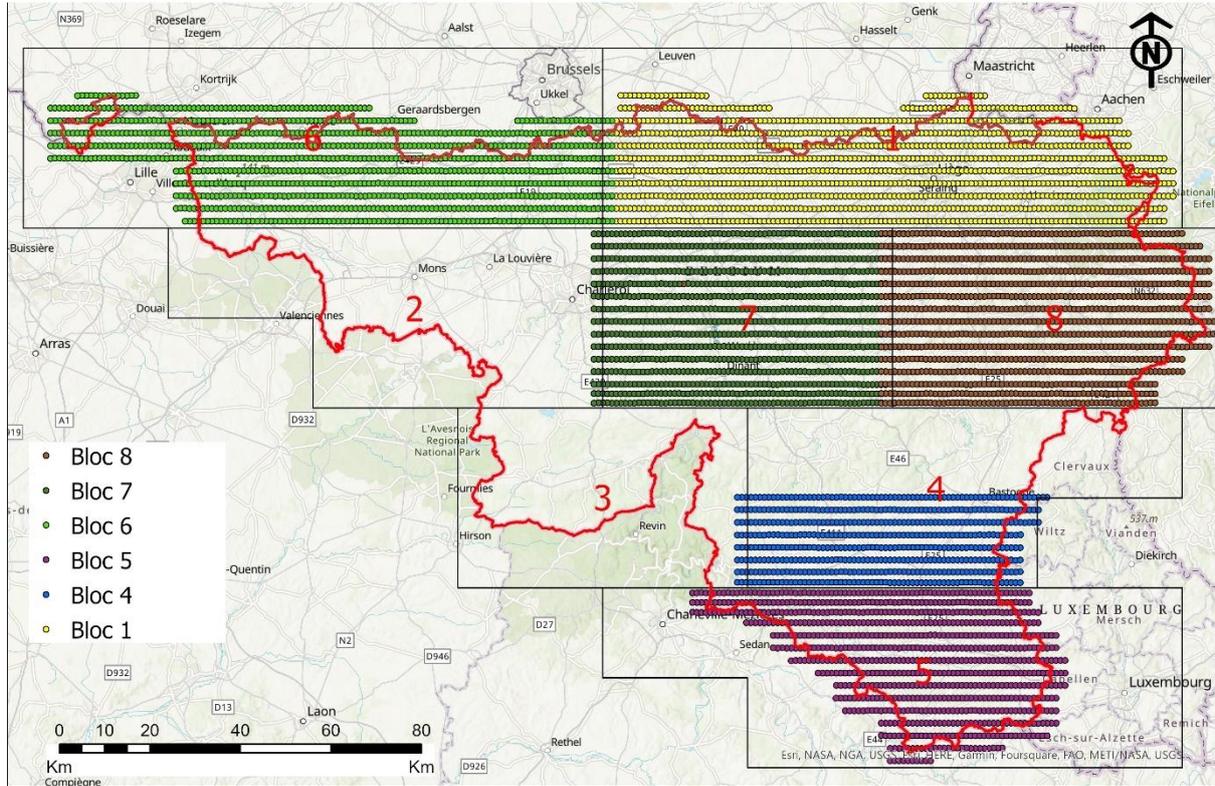


Figure 1: Vue des vols "Hiver" réalisés. Les blocs 2 et 3 n'ont pas pu être volés et le bloc 4 a été volé partiellement



Vols Eté réalisés

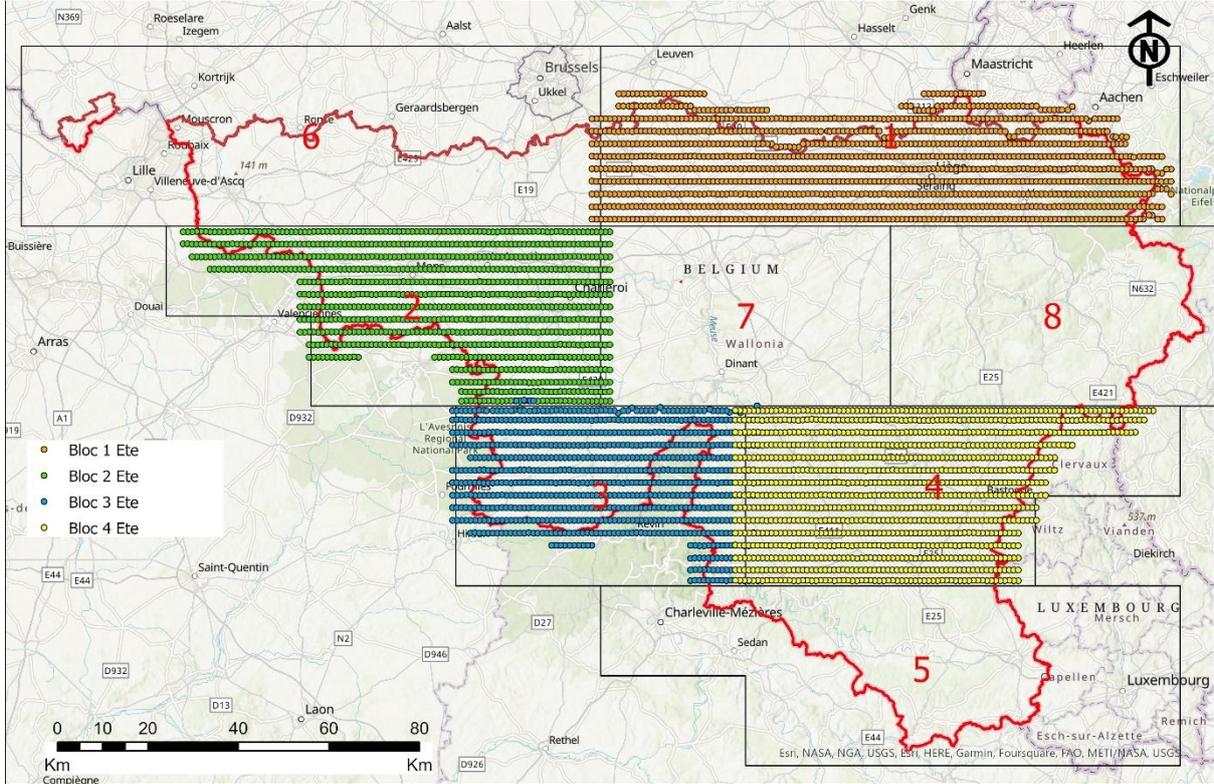


Figure 2: Vue des vols "Eté" réalisés. Les blocs 5, 6, 7 et 8 n'ont pas pu être volés

Service publique de Wallonie Département de la géomatique	Id/TE/BDL-BE22-037 & BE22-038	
	Association Momentanée	
	 WALPHOT WALPHOT sa Chaussée de Liège 221 B-5100 NAMUR	 EUROSENSE EUROSENSE sprl Avenue des Nerviens 54 B-1780 WEMMEL

Le tableau ci-dessous reprend de façon synthétique ce qui a été couvert par les vols “Hiver” et les vols “Eté”.

BLOC	COUVERTURE HIVER	COUVERTURE ETE
1	100%	100%
2	0%	100%
3	0%	100%
4	+/-60% (Partielle)	100%
5	100%	0%
6	100%	0%
7	100%	0%
8	100%	0%

En combinant les vols des 2 saisons, la Wallonie a pu être couverte intégralement.

Service publique de Wallonie Département de la géomatique	Id/TE/BDL-BE22-037 & BE22-038	
	Association Momentanée	
	 WALPHOT WALPHOT sa Chaussée de Liège 221 B-5100 NAMUR	 EUROSENSE EUROSENSE sprl Avenue des Nerviens 54 B-1780 WEMMEL

2. Canevas de référence

Le canevas planimétrique de base correspond au système géodésique de référence national Lambert 72 belge. Le canevas altimétrique de base correspond au Deuxième Nivellement Général du Royaume (DNG).

Les transformations entre les références ETRS89 et Lambert 72 sont effectuées en utilisant le programme cConvert de l'IGN.

3. Résolution au sol

La résolution au sol des orthophotos est de 25 cm.

4. Caméra utilisée

L'intégralité du projet a été volée avec la caméra Vexcel XP 504.

Ce capteur a un format d'image de 196 mégapixels (17 310 x 11 310), et une taille de pixel de 6 µm.

Le certificat de calibration de la caméra a été fourni sur le FTP dans le répertoire /Orthos_2022/1_Livrables_FTP/15_Aerotriangulation_Hiver

5. Zones militaires et nucléaires sensibles

Les zones militaires à masquer sont définies dans la version reçue de l'officier de sécurité de l'IGN datant d'octobre – novembre 2021.

Elles ont été identifiées dans les prises de vues et la résolution y a été limitée conformément aux spécifications, par remplacement de la valeur RGB de chaque pixel par la valeur RGB « nearest neighbour » des pixels de la cellule.

La présence des zones militaires définit le besoin de deux exemplaires pour la livraison de chaque produit :

- Un exemplaire avec les zones militaires masquées ou « image dégradée », livré au SPW
- Un exemplaire à pleine résolution sans masquage ou « image non dégradée », livré à l'IGN Belgique

6. Aérotriangulation

6.1. Méthode générale

La méthode générale utilisée pour le calage des images est décrite ci-dessous :

- Acquisition des images, avec mesure dGPS/INS durant le vol

Service publique de Wallonie Département de la géomatique	Id/TE/BDL-BE22-037 & BE22-038	
	Association Momentanée	
	 WALPHOT WALPHOT sa Chaussée de Liège 221 B-5100 NAMUR	 EUROSENSE EUROSENSE sprl Avenue des Nerviens 54 B-1780 WEMMEL

- Détermination de la trajectoire
- Mesure des points de stéréopréparation dans toutes les images où ils sont visibles
- Détermination automatique des points de liaison par corrélation d'image
- Edition des points de liaison : enlèvement des points mal situés ; ajout de points dans certaines zones ; densification si nécessaire
- Vérification de la liaison des images et des bandes
- Détermination de paramètres de calibration (boresight) et nouvel import des données dGPS/INS, pour chaque mission
- Compensation en bloc globale supportée par les données dGPS/INS affinées
- Compensation globale avec détermination de paramètres de correction additionnels
- Compensation finale avec une définition de caméra standard et une orientation absolue distribuant au mieux les erreurs résiduelles

L'aérotriangulation a été effectuée à l'aide du programme Match-AT 12 de INPHO Trimble. Les résultats ont été validés et affinés en utilisant le logiciel BINGO de GIP.

6.2. Ajustement final – A Priori

Les valeurs a priori des paramètres sont reprises dans le tableau ci-dessous. Ils sont valables pour l'intégralité des vols "Hiver" et "Eté"

Valeurs a priori	Valeurs
GCP_RMSXY (m)	0.050
GCP_RMSZ (m)	0.100
IM_Auto_RMS (µm)	3.0
IM_Manual_RMS µm)	3.0
GPS_RMSX (m)	0.100
GPS_RMSY (m)	0.100
GPS_RMSZ (m)	0.100
INS_RMS_Omega (deg)	0.010
INS_RMS_Phi (deg)	0.010
INS_RMS_Kappa (deg)	0.020

Service publique de Wallonie Département de la géomatique	Id/TE/BDL-BE22-037 & BE22-038	
	Association Momentanée	
	 WALPHOT WALPHOT sa Chaussée de Liège 221 B-5100 NAMUR	 EUROSENSE EUROSENSE sprl Avenue des Nerviens 54 B-1780 WEMMEL

Le tableau ci-dessous reprend le nombre d'axes et images par projet.

BLOC	NOMBRE D'AXES	NOMBRE IMAGES
1_HIVER	11	1239
1_ETE	11	1239
2_ETE	15	992
3_ETE	15	830
4_HIVER	8	526
4_ETE	15	1092
5_HIVER	15	806
6_HIVER	11	1066
7_HIVER	15	1050
8_HIVER	15	1058

6.3. Ajustement final – A Posteriori

Les valeurs a posteriori des paramètres sont reprises dans le tableau ci-dessous.

Service publique de Wallonie Département de la géomatique	Id/TE/BDL-BE22-037 & BE22-038	
	Association Momentanée	
	 WALPHOT WALPHOT sa Chaussée de Liège 221 B-5100 NAMUR	 EUROSENSE EUROSENSE sprl Avenue des Nerviens 54 B-1780 WEMMEL

	1 Hiver	1 Eté	2 Eté	3 Eté	4 Hiver	4 Eté	5 Hiver	6 Hiver	7 Hiver	8 Hiver
ECHELLE	38655	39131	38763	38636	35900	39430	37058	39415	38805	38147
SIGMA 0 (μM)	0.7	1.4	1.0	1.0	1.3	1.0	1.0	1.4	0.8	1.5
IM_RMS_AUTO_X (μM)	0.5	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6	0.8	0.5	0.8
IM_RMS_AUTO_Y (μM)	0.6	1.2	0.9	0.7	1.0	0.7	0.7	1.1	0.6	1.3
IM_RMS_MANU_X (μM)	2.7	2.0	1.6	4.1	2.7	3.6	3.2	3.9	3.9	2.2
IM_RMS_MANU_Y (μM)	2.2	2.0	1.4	2.5	2.0	3.9	3.5	3.4	3.1	2.6
RMS_GCP_X (M)	0.10	0.08	0.07	0.07	0.06	0.04	0.02	0.06	0.05	0.09
RMS_GCP_Y (M)	0.04	0.07	0.07	0.03	0.04	0.05	0.03	0.04	0.04	0.08
RMS_GCP_Z (M)	0.06	0.13	0.04	0.05	0.05	0.06	0.02	0.06	0.07	0.05
RMS_GPS_X (M)	0.30	0.25	0.08	0.04	0.36	0.06	0.07	0.35	0.08	0.19
RMS_GPS_Y (M)	0.25	0.05	0.02	0.04	0.10	0.05	0.06	0.10	0.07	0.06
RMS_GPS_Z (M)	0.19	0.08	0.02	0.06	0.11	0.08	0.06	0.11	0.06	0.09
RMS_OMEGA (DEG)	0.003	0.003	0.003	0.002	0.003	0.004	0.003	0.003	0.002	0.002
RMS_PHI (DEG)	0.005	0.003	0.004	0.002	0.004	0.004	0.002	0.004	0.003	0.002
RMS_KAPPA (DEG)	0.007	0.006	0.006	0.012	0.006	0.012	0.020	0.007	0.008	0.005

Service publique de Wallonie Département de la géomatique	Id/TE/BDL-BE22-037 & BE22-038	
	Association Momentanée	
	 WALPHOT WALPHOT sa Chaussée de Liège 221 B-5100 NAMUR	 EUROSENSE EUROSENSE sprl Avenue des Nerviens 54 B-1780 WEMMEL

Ces valeurs ne font intervenir aucun offset.

Ces résultats sont conformes, et ne nécessitent pas de traitement particulier.

Ces résultats sont utilisés pour l'extraction des paramètres d'orientation et l'exploitation ultérieure.

7. Description de l'orthorectification et du mosaïquage

7.1. Exploitation des prises de vue et des orientations livrées

La prise de vues aériennes réalisée dans le cadre de la mission est exploitée, ainsi que les orientations calculées lors de l'aérotriangulation.

7.2. Modèle numérique de terrain

Le modèle numérique de terrain de base utilisé est le MNT LiDAR 2014 de la Région Wallonne, sous forme de grille à 1 m de résolution.

7.3. Orthorectification et mosaïquage

Le calcul des images orthorectifiées est effectué dans le logiciel OrthoBox : OrthoMaster pour l'orthorectification et OrthoVista pour le mosaïquage.

Lors du calcul des ortho-images individuelles, avant mosaïquage, l'entièreté de l'image n'est pas orthorectifiée : une zone (quelques pourcents) est généralement coupée d'office, et les images orthorectifiées le sont avec un certain recouvrement (généralement de 10% à 30%), qui peut être augmenté lorsque le mosaïquage dans des zones compliquées le nécessite. Le recouvrement est également déterminé par les conditions de dévers maximum.

A partir des orthophotos individuelles à pleine résolution, les lignes de mosaïquage automatiques sont générées, en intégrant les emprises de bâtiments (source de données: données public PICC fournies en début de projet) et en paramétrant le logiciel pour éviter de couper ces derniers. Les bâtiments à cheval sur les limites de bloc sont intégrés dans les blocs concernés.

7.4. Contrôle de qualité et corrections

Le produit final de l'étape précédente est un ensemble de tuiles au format TIFF sur lesquelles un contrôle visuel est effectué. Le contrôle est réalisé sur l'intégralité des tuiles et les erreurs suivantes sont identifiées, marquées et classées selon leur type et leur correction possible:

- Des problèmes de **qualité radiométrique** (point chaud, réflexion spéculaire, netteté, nuage, lisibilité dans les ombres, etc...).
- Les **problèmes de géométrie** causés par un défaut de MNT.

Service publique de Wallonie Département de la géomatique	Id/TE/BDL-BE22-037 & BE22-038	
	Association Momentanée	
	 WALPHOT WALPHOT sa Chaussée de Liège 221 B-5100 NAMUR	 EUROSENSE EUROSENSE sprl Avenue des Nerviens 54 B-1780 WEMMEL

- Des **problèmes de précision géométrique** : un contrôle des points de contrôle de l'aérotriangulation et des vecteurs disponibles est exécuté, documenté et rapporté afin de s'assurer de la qualité finale de l'orthophoto.

Après ce contrôle de qualité, le travail de correction interactive est réalisé.

Ce travail est fait en parallèle, d'une part sur le MNT en y intégrant des lignes de rupture du relief afin de corriger des erreurs de dédoublements, coulées de pixels, ponts et viaducs erronés, etc... ou alors en éditant les lignes de mosaïquage dans le cas de réflexions, bâtiments tronqués, etc...

Une nouvelle phase de contrôle qualité est prévue afin de valider les corrections, en repassant en revue l'intégralité des points problématiques détectés.

Les erreurs résiduelles sont ensuite corrigées par procédé infographique.

7.5. Réglage de la radiométrie

Le réglage radiométrique de la couverture orthophoto utilise les images orthorectifiées qui ne couvrent pas l'entièreté de l'image originale.

Les opérations sont effectuées dans le programme d'ajustement radiométrique et de mosaïquage « OrthoVista » de Trimble Inpho.

Les réglages classiques concernent :

- La définition et l'application de corrections radiométriques spécifiques à des images individuelles ou à des groupes d'images, définies interactivement par un opérateur en utilisant l'outil « Radiometrix ».
- L'application d'un « Global tilting » corrigeant les différences locales entre les images lors du mosaïquage ; une correction radiométrique en mode cubic convolution (CC) est appliquée à chaque orthoimage en entrée ; elle veille à minimiser les écarts entre images différentes dans les zones de recouvrement, à l'instar d'une aérotriangulation dans le domaine géométrique.
- L'application de corrections supplémentaires faisant intervenir des outils d'infographie, comme Photoshop.

Service publique de Wallonie Département de la géomatique	Id/TE/BDL-BE22-037 & BE22-038	
	Association Momentanée	
	 WALPHOT WALPHOT sa Chaussée de Liège 221 B-5100 NAMUR	 EUROSENSE EUROSENSE sprl Avenue des Nerviens 54 B-1780 WEMMEL

8. Livraison

Les données suivantes sont produites.

PERIODE	Poste	Description	Q réelle fournie
HIVER	Poste 1a	PVA-H	3,261 mailles
ETE	Poste 1b	PVA-E	2,327 mailles
HIVER	Poste 2	QO-H	3,261 mailles
ETE	Poste 3	QO-E	2,327 mailles
ETE	Poste 4	OF-E	2,327 mailles
GLOBAL	Poste 5	MNS	4,574 mailles
GLOBAL	Poste 6	FGDB LB72	1 (global)
HIVER	Option 1	GCAT-H	1 (global)
HIVER	Option 2	OF-H	3,261 mailles
ETE	Option 3	GCAT-E	1 (global)
GLOBAL	Option 4	FGDB LB08	1 (global)

8.1. Images LV3

Les images brutes livrées sont au format TIFF non comprimé, 8 bits par canal (RVB+IR).

Le nom repris pour les images LV3 reprend en premier l'indication « LV3_2022_ » suivit du numéro de bloc, ligne, du numéro de vol sur le bloc et enfin du numéro de la photo.

Pour les vols ETE, un suffixe "ETE" est ajouté.

Exemple: LV3_2022_ETE__4_092B_01009.tif

- Image du vol ETE 2022
- Bloc 4
- Axe 92B
- Image 1009

Les données ont été copiées dans les répertoires « BLOCX\PART1_ORTHO&IMAGES\IMAGES », livrés via disque dur et/ou FTP

8.2. Orthophotos tuilées 2x2 km² à 25 cm

Les orthophotos sont livrées aux formats GeoTIFF, elles sont livrées 8 bits par canal (RVB+IR).

Service publique de Wallonie Département de la géomatique	Id/TE/BDL-BE22-037 & BE22-038	
	Association Momentanée	
	 WALPHOT WALPHOT sa Chaussée de Liège 221 B-5100 NAMUR	 EUROSENSE EUROSENSE sprl Avenue des Nerviens 54 B-1780 WEMMEL

Les fichiers reprennent les coordonnées du coin inférieur gauche de chaque tuile. La division de la coordonnée Y en mètre (en Lambert Belge 72) de l'origine de la maille par 2000 définira les 4 premiers chiffres du nom de la maille.

La division de la coordonnée X en mètres (en Lambert Belge 72) de l'origine de la maille par 2000 définira les 4 derniers chiffres du nom de la maille.

L'indication "ORTHO_2022__" début le nom de l'orthophoto.

Les orthophotos ont été regroupés par répertoires portant le nom des planches IGN 1/50000. Les données sont copiées dans le répertoire « BLOCX\PART1_ORTHO&IMAGES\ORTHO ».

Ci-dessous le tableau des métadonnées associées aux orthophotos

Information requise (si applicable)	Hiver	Ete
Nom de la donnée (ou de la série de données)	ORTHO_2022__XXXXYYYY	ORTHO_ETE_2022__XXXXYYYY
Territoire couvert	Bloc 1 Bloc 4 Bloc 5 Bloc 6 Bloc 7 Bloc 8	Bloc 1 Bloc 2 Bloc 3 Bloc 4
Étendue temporelle	27/03/2022 → 14/05/2022	18/06/2022 → 13/08/2022
Système de référence spatiale	Lambert Belge 1972	Lambert Belge 1972
Projection cartographique	31370	31370
Échelle de référence	1/36977 → 1/38148	1/38747 → 1/39131
Résolution spatiale	25cm	25cm
Précision en X (m)	0.25	0.25
Précision en Y (m)	0.25	0.25
Précision en XY (m)	1	1
Précision en Z (m)	1	1
Généalogie de la donnée (nommer les étapes de production)	Acquisition aérienne Aerotriangulation Mise à jour MNT Production Orthophoto	Acquisition aérienne Aerotriangulation Mise à jour MNT Production Orthophoto
Format	TIFF/TFW	TIFF/TFW
Taille	8000 X 8000 pixels 256MB	8000 X 8000 pixels 256MB
Données ou géodonnées annexes	Maillage Tuilage	Maillage Tuilage
Producteur	Walphot	Walphot

8.3. Métadonnées « tuilage »

Service publique de Wallonie Département de la géomatique	Id/TE/BDL-BE22-037 & BE22-038	
	Association Momentanée	
	 WALPHOT WALPHOT sa Chaussée de Liège 221 B-5100 NAMUR	 EUROSENSE EUROSENSE sprl Avenue des Nerviens 54 B-1780 WEMMEL

Les lignes de mosaïquage sont reprises dans le shapefile « TUILAGE_BX.shp ». Il est copié dans le répertoire « BLOCX\PART1_ORTHO&IMAGES\SHP ».

De plus les métadonnées de tuilage ont été importées dans une FGBD appelée « BX_O2022.gdb » et copiée dans le répertoire « BLOCX\PART1_ORTHO&IMAGES\FGBD ».

8.4. Métadonnées « maillage »

Les données du maillage sont reprises dans le shapefile « MAILLAGE_BX.shp ». Il est copié dans le répertoire « BLOCX\PART1_ORTHO&IMAGES\SHP ».

De plus les métadonnées de maillage ont été importées dans une FGBD appelée « BX_O2021.gdb » et copiée dans le répertoire « BLOCX\PART1_ORTHO&IMAGES\FGBD ».

8.5. Géodatabases et données consolidées

Les géodatabases (GDB), compatibles AcrMap 10.5 ont été livrées au SPW:

1. L'orthophoto globale en projection Lambert 72
2. L'orthophoto globale en projection Lambert 2008. Elle est issue de l'orthophoto Lambert 72, reprojétée en utilisant les outils d'ArcGIS et la projection "Grille NTV2"
3. Le MNS issu de la corrélation des images en projection Lambert 72
4. Le MNS issu de la corrélation des images en projection Lambert 2008. Il est issu du MNS Lambert 72, reprojété en utilisant les outils d'ArcGIS et la projection "Grille NTV2"

Les statistiques globales et les pyramides y sont intégrées.

Service public de Wallonie Département de la géomatique	Id/TE/BDL-BE22-037 & BE22-038	
	Association Momentanée	
	 WALPHOT WALPHOT sa Chaussée de Liège 221 B-5100 NAMUR	 EUROSENSE EUROSENSE sprl Avenue des Nerviens 54 B-1780 WEMMEL

9. Annexe: Résolution Radiométrique des images Vexcel UCXp et UCE-M3

9.1. Introduction

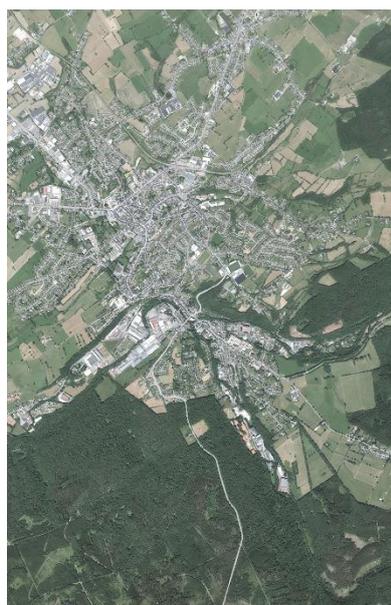
Ce document passe en revue les différentes étapes de l'acquisition et de la production des images aériennes avec les caméras Vexcel UCXp et UCE-M3 utilisées pour la réalisation des orthophotos du SPW.

Les images PAN et RGBI peuvent être produites en 16 bit ou en 8 bit.

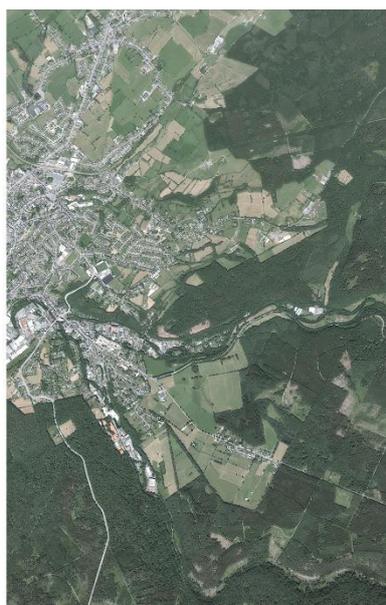
On définit d'abord la mesure de la quantité d'information contenue dans les images.

On passe ensuite en revue les différentes étapes de l'acquisition et de la production des données.

On vérifie le contenu sur quelques exemples, les images 014B_00652 à 014B_00654 de 2019 sur Eupen, présentées ci-dessous.



014_00654



014_00653



014_00652

Service publique de Wallonie Département de la géomatique	Id/TE/BDL-BE22-037 & BE22-038	
	Association Momentanée	
	 WALPHOT WALPHOT sa Chaussée de Liège 221 B-5100 NAMUR	 EUROSENSE EUROSENSE sprl Avenue des Nerviens 54 B-1780 WEMMEL

9.2. Quantité d'information contenue dans les images.

Pour analyser la richesse du contenu des images, ou la quantité d'information contenue dans les images, on utilise l'**entropie de Shannon**, voir https://fr.wikipedia.org/wiki/Entropie_de_Shannon.

Si une image comprend N niveaux (valeurs digitales), chacun d'eux caractérisé par une probabilité P(i), i=1,N (représentée dans l'histogramme), l'entropie H est définie comme suit

$$H = - \sum_{(i=1,N)} P(i).log_2(P(i))$$

Où log₂ est la fonction logarithme en base 2.

L'entropie se mesure en **bit**.

L'entropie mesure la "richesse du contenu" de l'image, **mais ne dit rien de la répartition géométrique de celui-ci.**

Souvent N est une puissance de 2, à savoir $N = 2^n$.

Les cas particuliers $n = 8$ et $n = 16$ correspondent aux images à 8 et 16 bit.

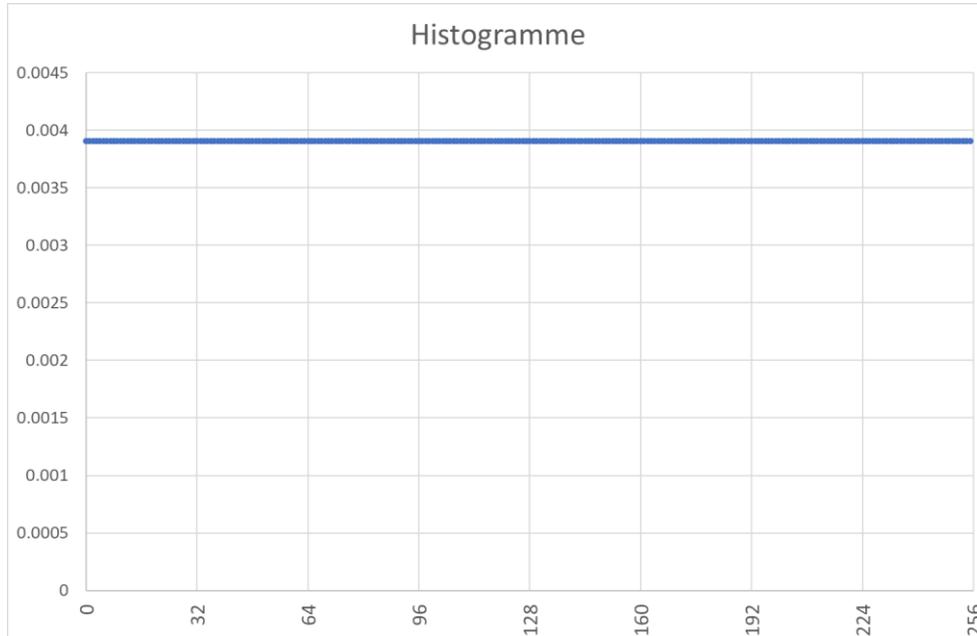
La distribution qui maximise l'entropie pour une image à N niveaux correspond à la distribution constante $P(i)=1/N$. Dans ce cas **$H_{max} = \log_2(N)$** .

Pour une image codée sur un octet, ou 8 bit, $n = 8$, $N = 256$ et $H_{max} = 8$.

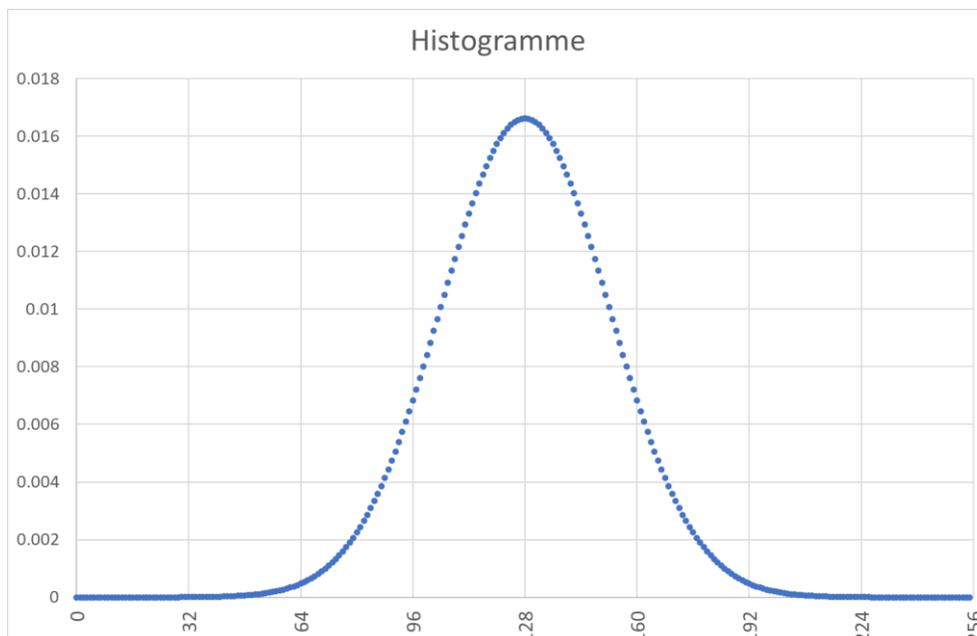
Pour une image codée sur deux octets, ou 16 bit, $n = 16$, $N = 65536$ et $H_{max} = 16$.

Pour une image présentant un histogramme non uniforme où tous les niveaux sont peuplés, l'entropie est inférieure, à cause de la distribution non uniforme de P(i).

Exemple 1. Image codée sur 8 bit d'histogramme uniforme – **H = 8**



Exemple 2. Image codée sur 8 bit d'histogramme gaussien (Sigma = 24) – $H = 6.63$



Si une image a des niveaux non peuplés, l'entropie diminuera également.

Dans ce cas, si N_p est le nombre de niveaux peuplés, l'entropie maximale se réduira à $H_{max} = \log_2(N_p)$ pour une distribution uniforme.

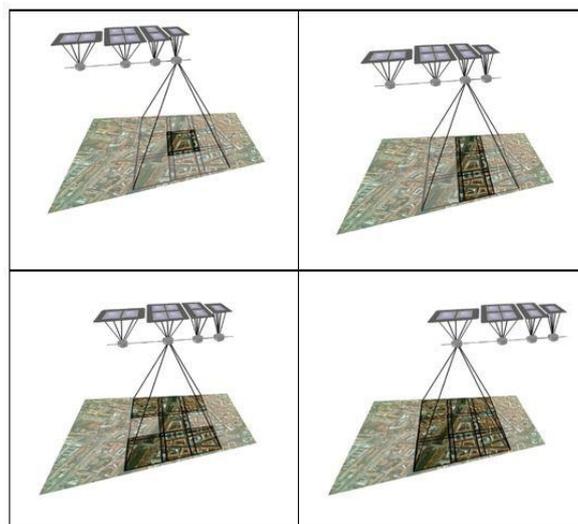
Service publique de Wallonie Département de la géomatique	Id/TE/BDL-BE22-037 & BE22-038	
	Association Momentanée	
	 WALPHOT WALPHOT sa Chaussée de Liège 221 B-5100 NAMUR	 EUROSENSE EUROSENSE sprl Avenue des Nerviens 54 B-1780 WEMMEL

Par exemple, dans le cas d'une image 8 bit dont seules les valeurs paires sont peuplées, on a $N_p = N/2$, et donc $H_{max} = \log_2(N_p) = \log_2(N/2) = \log_2(N) - \log_2(2) = 7$.
Un bit est perdu car seul un niveau sur 2 est présent.

Service publique de Wallonie Département de la géomatique	Id/TE/BDL-BE22-037 & BE22-038	
	Association Momentanée	
	 WALPHOT WALPHOT sa Chaussée de Liège 221 B-5100 NAMUR	 EUROSENSE EUROSENSE sprl Avenue des Nerviens 54 B-1780 WEMMEL

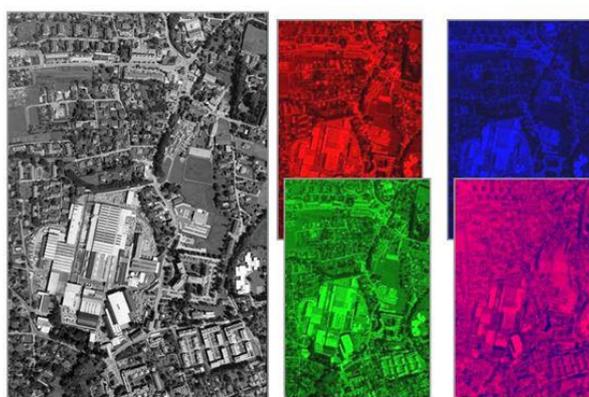
9.3. Acquisition initiale des données Level 0 et specifications de Vexcel

L'image PAN finale est composée de 9 images acquises par des cônes différents.



00_00	01_00	00_01
02_00	03_00	02_01
00_02	01_01	00_03

L'image RGBI finale est obtenue par pan-sharpening des images Rouge, Vert, Bleu, et NIR sur l'image PAN assemblée.



04_00 Rouge
05_00 Vert
06_00 Bleu
07_00 NIR

Service publique de Wallonie Département de la géomatique	Id/TE/BDL-BE22-037 & BE22-038	
	Association Momentanée	
	 WALPHOT WALPHOT sa Chaussée de Liège 221 B-5100 NAMUR	 EUROSENSE EUROSENSE sprl Avenue des Nerviens 54 B-1780 WEMMEL

Les spécifications de l'acquisition par les différents cônes sont les suivantes (Vexcel) :

- Analog to digital conversion at 14 bit (0 – 16383)
- Radiometric resolution in each colour channel > 12 bit (0 – >4095)

Nous interprétons ces données de la manière suivante :

- La conversion analogique-digitale ne fournira jamais de valeur supérieure à 16383 (14 bit).
- Le nombre de valeurs peuplées dans chaque canal (PAN ou couleur) atteint et peut même dépasser 4095 (>12 bit).

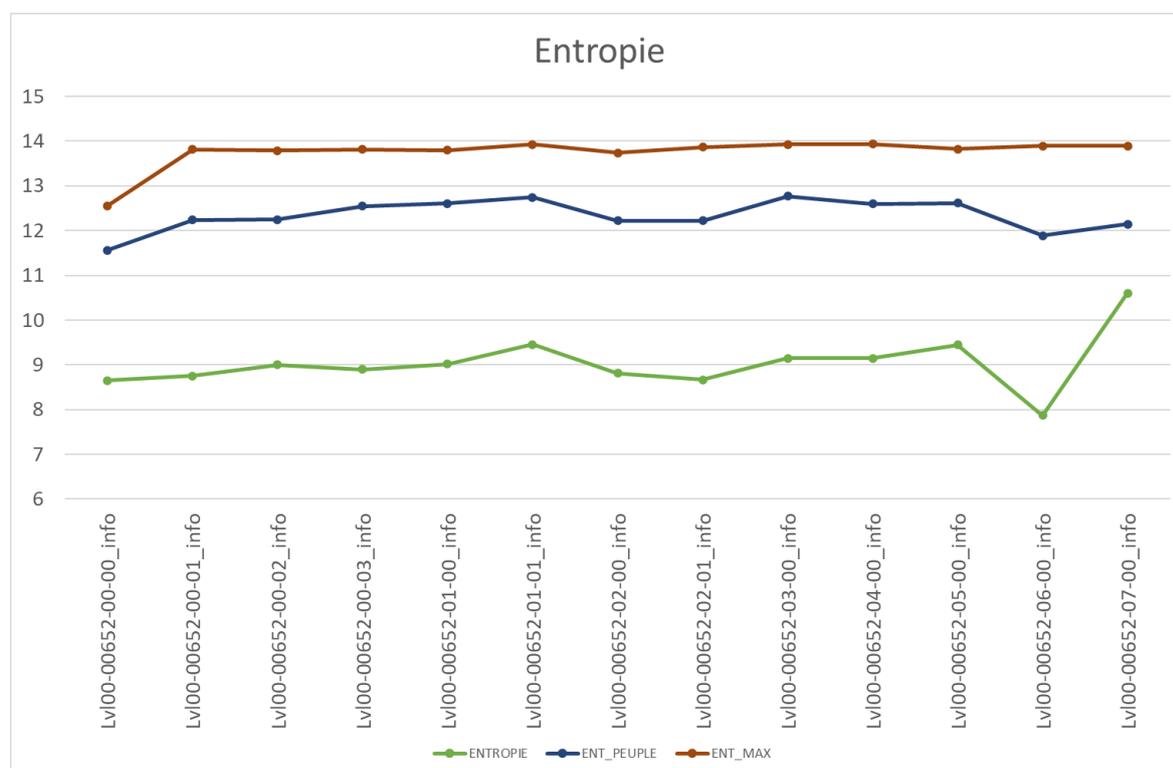
9.4. Vérification du contenu des images individuelles Level 0

Le contenu des images individuelles est vérifié par le calcul des paramètres suivants :

- Valeur maximale, et entropie maximale correspondante
- Nombre de valeurs peuplées, et entropie correspondante
- Entropie de l'image, d'après l'histogramme

Les résultats pour l'image 652 sont montrés ci-dessous :

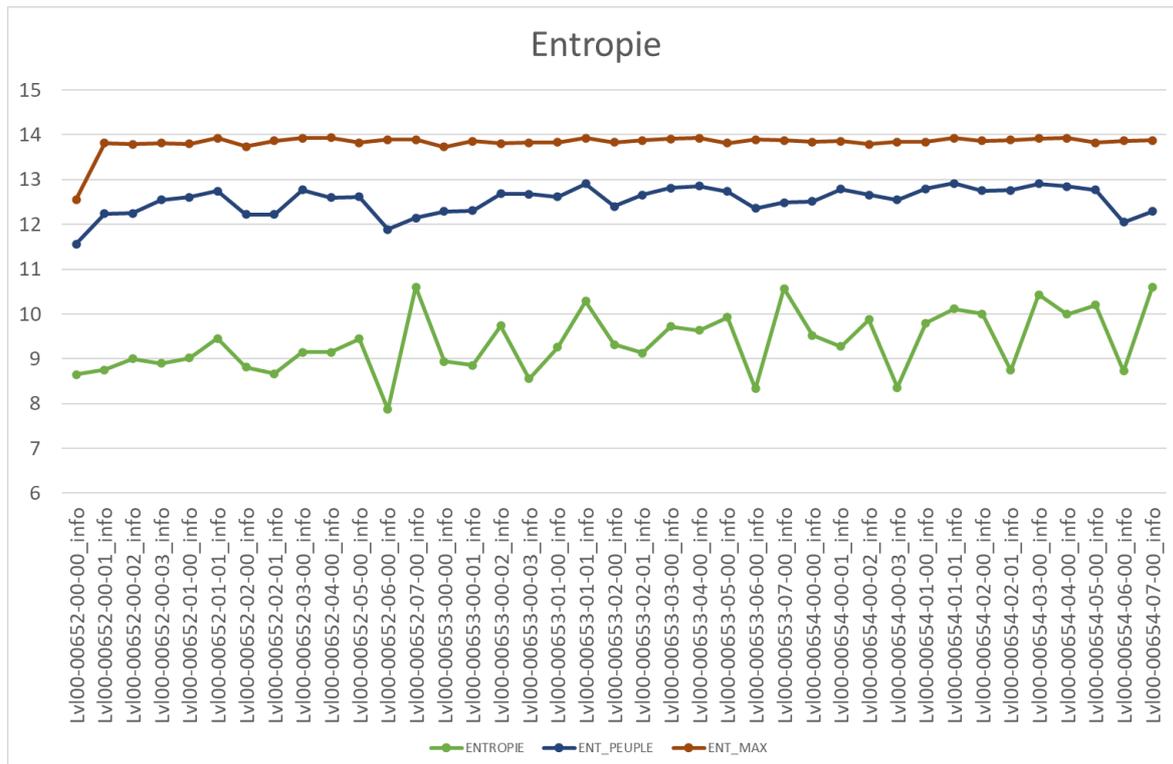
- En vert l'entropie réelle de l'image ; de 8 à 10.5
- En bleu l'entropie maximale d'après le nombre de niveaux peuplés ; 12 ou supérieure à 12 comme annoncé par Vexcel.
- En brun l'entropie potentielle basée sur la valeur maximale de la conversion ; proche de 14 comme annoncé par Vexcel





On constate également que l'entropie du canal bleu (06-00) est plus faible, et que l'entropie du canal NIR est plus importante, dans cette tuile principalement forestière.

Les résultats globaux pour les 3 images sont montrés ci-dessous, avec les mêmes constatations. On constate que l'entropie augmente pour les images 653 et 654, qui deviennent plus urbaines et contiennent plus d'information.



L'entropie moyenne des différents canaux est calculée ci-dessous pour les images 652 à 654.

CANAL	ENTROPIE MOY
PAN	9.27
Rouge	9.59
Vert	9.86
Bleu	8.31
NIR	10.59

9.5. Création des images 16 bit et 8 bit level 3

Les étapes de la production sont les suivantes :

- A partir des images level 0, les 9 images PAN sont assemblées et leur radiométrie est égalisée.
- Une image PAN 16 bit est produite.

Service public de Wallonie Département de la géomatique	Id/TE/BDL-BE22-037 & BE22-038	
	Association Momentanée	
	 WALPHOT WALPHOT sa Chaussée de Liège 221 B-5100 NAMUR	 EUROSENSE EUROSENSE sprl Avenue des Nerviens 54 B-1780 WEMMEL

- Les différents canaux couleurs (R,G,B,NIR) sont sur-échantillonnés (pan-sharpening) pour produire l'image RGBI assemblée.
- La radiométrie des images est ajustée (PBCB = Project Based Colour Balancing) et un ensemble d'images radiométriquement homogènes est produit.
- Les radiométries sont étendues et écrites dans un conteneur 16 bit ou 8 bit.

Ces traitements ne devraient théoriquement pas faire augmenter l'entropie. Cependant, lors des interpolations liées aux traitements géométriques et radiométriques, des niveaux nouveaux peuvent se peupler et augmenter l'entropie.

Ces traitements sont réalisés dans le logiciel UltraMap de Vexcel, sans contrôle réel de l'opérateur sur les méthodes et algorithmes utilisés. Ceux-ci sont programmés selon les règles de l'art.

Les images ont été produites en 16 bit et en 8 bit pour analyse.

9.6. Analyse de la radiométrie des images PAN 16 bit

Les images RGBI 16 bit sont analysées et les résultats sont présentés ci-dessous :

ENTROPIE liée au contenu de l'image
 ENT_P liée au nombre de niveaux peuplés

IMAGENAME	ENTROPIE	ENT_P
014_00652_info	10.53	14.30
014_00653_info	10.98	14.34
014_00654_info	11.23	14.32
MOYENNE	10.91	14.32

On constate :

- Une augmentation des entropies par rapport aux images Level 0 : de 9.27 à 10.91 soit 1.64 bit ou un facteur 3.
- L'entropie ENTROP augmente avec la variété du contenu de l'image (de 652 à 654).

9.7. Analyse de la radiométrie des images RGBI 16 bit

Les images RGBI 16 bit sont analysées et les résultats sont présentés ci-dessous :

ENTROPIE liée au contenu de l'image
 ENT_P liée au nombre de niveaux peuplés

IMAGENAME	Rouge		Vert		Bleu		NIR	
	ENTROP	ENT_P	ENTROP	ENT_P	ENTROP	ENT_P	ENTROP	ENT_P
014_00652_info	10.10	13.65	10.34	13.64	9.99	13.59	12.31	13.89
014_00653_info	10.66	13.65	10.84	13.64	10.54	13.59	12.32	13.88
014_00654_info	11.07	13.65	11.15	13.64	10.90	13.59	12.35	13.87
MOYENNE	10.61	13.65	10.78	13.64	10.48	13.59	12.33	13.88

Service publique de Wallonie Département de la géomatique	Id/TE/BDL-BE22-037 & BE22-038	
	Association Momentanée	
	 WALPHOT WALPHOT sa Chaussée de Liège 221 B-5100 NAMUR	 EUROSENSE EUROSENSE sprl Avenue des Nerviens 54 B-1780 WEMMEL

On constate :

- Une augmentation des entropies par rapport aux images Level 0.
- L'entropie ENTROP augmente avec la variété du contenu de l'image (de 652 à 654).
- L'entropie du canal NIR est nettement supérieure à celle des autres canaux.
- L'entropie ENT_P potentielle basée sur le nombre de canaux peuplés est de l'ordre de 13.6 à 13.9. Elle est inférieure à la valeur 16 théoriquement disponible dans une image 16 bit. Ceci signifie que dans les images enregistrées en 16 bit, seule 1 valeur sur 5.3 à 4.6 est peuplée. Ceci est confirmé par l'examen de l'histogramme. Les valeurs numériques peuplées ne sont pas nécessairement en concordance d'un canal à un autre. L'intervalle entre les canaux peuplés n'est pas constant. Il est plus grand dans les faibles lumières.

9.8. Analyse de la radiométrie des images 8 bit

Les images RGBI 8 bit sont analysées et les résultats sont présentés ci-dessous :

ENTROPIE liée au contenu de l'image

ENT_P liée au nombre de niveaux peuplés

IMAGENAME	Rouge		Vert		Bleu		NIR	
	ENTROP	ENT_P	ENTROP	ENT_P	ENTROP	ENT_P	ENTROP	ENT_P
014_00652_info	6.54	7.98	6.66	7.98	6.58	7.98	7.08	7.98
014_00653_info	6.91	7.98	6.95	7.98	6.89	7.98	6.92	7.81
014_00654_info	7.14	7.98	7.10	7.98	7.08	7.98	6.88	7.80
MOYENNE	6.87	7.98	6.91	7.98	6.85	7.98	6.96	7.87

On constate :

- L'entropie ENTROP augment avec la variété du contenu de l'image (de 652 à 654).
- L'entropie du canal NIR est nettement supérieure à celle des autres canaux.
- L'entropie ENT_P potentielle basée sur le nombre de canaux peuplés est de l'ordre de 7.9 à 8. Ceci signifie que pratiquement tous les canaux sont peuplés.

9.9. Comparaison des images 16 bit et 8 bit

Les différences d'entropie entre les images 16 bit et 8 bit sont reprises dans le tableau suivant :

Différence	Rouge		Vert		Bleu		NIR	
	ENTROP	ENT_P	ENTROP	ENT_P	ENTROP	ENT_P	ENTROP	ENT_P
014_00652_info	3.56	5.67	3.68	5.67	3.41	5.61	5.23	5.90
014_00653_info	3.75	5.67	3.89	5.67	3.65	5.61	5.41	6.06
014_00654_info	3.93	5.67	4.05	5.67	3.82	5.61	5.47	6.07
MOYENNE	3.75	5.67	3.87	5.67	3.63	5.61	5.37	6.01

On constate :

Service publique de Wallonie Département de la géomatique	Id/TE/BDL-BE22-037 & BE22-038	
	Association Momentanée	
	 WALPHOT sa Chaussée de Liège 221 B-5100 NAMUR	 EUROSENSE sprl Avenue des Nerviens 54 B-1780 WEMMEL

- Les différences d'entropie potentielle ENT_P basée sur le nombre de niveaux peuplés sont respectivement de 5.67 (RGB) et 6 (NIR), correspondant à des facteurs de pertes de nombre de niveaux de 50 (RGB) et 64 (NIR).
- Les différences d'entropie réelles sont de l'ordre de 3.7 bit (RGB) et de 5.3 bit (NIR), correspondant à des facteurs de perte de nombre de niveaux de 13 (RGB) et 40 (NIR).
- Lors du passage de 16 bit en 8 bit, le facteur de perte de nombre de niveaux n'est donc pas de 8 bit ou 256 en réalité, mais il est limité aux valeurs ci-dessus

Service publique de Wallonie Département de la géomatique	Id/TE/BDL-BE22-037 & BE22-038	
	Association Momentanée	
	 WALPHOT sa Chaussée de Liège 221 B-5100 NAMUR	 EUROSENSE sprl Avenue des Nerviens 54 B-1780 WEMMEL

9.10. Utilité des images 16 bit

L'utilité des images 16 bit est fondamentalement la suivante :

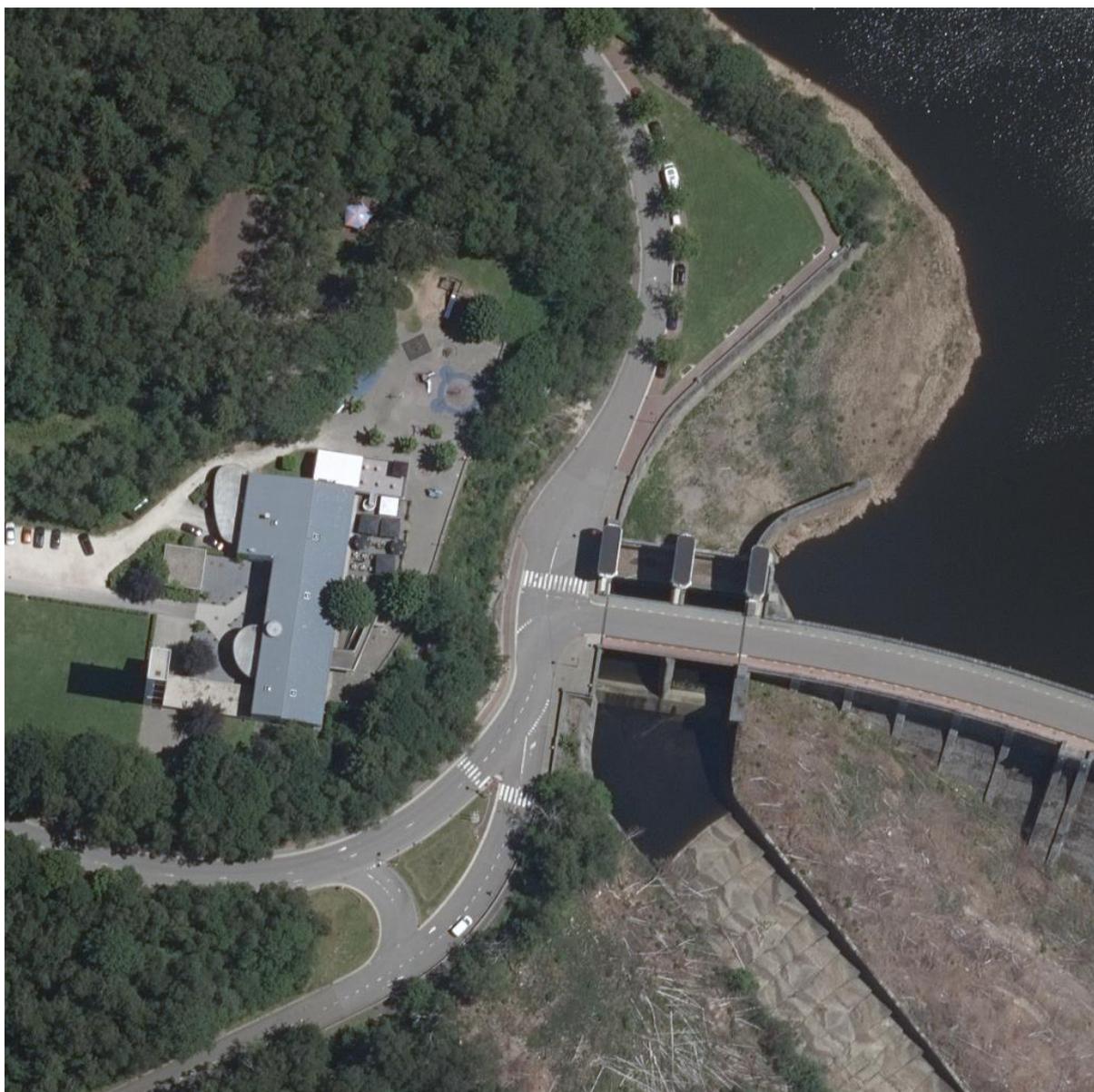
- Dans certaines parties de la gamme de valeurs enregistrées, des détails peuvent être présents, et révélés par l'étirement local de la gamme des valeurs représentées :
 - Dans des zones très éclairées, comme la neige, la sélection et l'étirement d'une petite gamme de valeurs peut révéler des détails dans la couverture neigeuse.
 - Dans des zones très sombres, comme les ombres, la sélection et l'étirement d'une petite gamme de valeurs peut également révéler des détails dans la zone d'intérêt : taques, tampons, différence de pavement ou de couverture de sol, présence d'objets, ...
- En pratique cependant, cela implique toujours un étirement et une analyse locales dans une application d'affichage ; à ma connaissance, il n'existe pas de traitement "général" permettant de faire cela dans un processus "normal et automatique" de production et d'exploitation d'orthophotos. Les exemples connus sont souvent des exemples démonstratifs de Vexcel.
- Les spécifications des logiciels utilisant la corrélation d'images, comme Match-AT (aérotriangulation) et SURE (semi-global dense matching), recommandent l'utilisation d'images 16 bit pour la corrélation. Nous n'avons pas d'étude comparative des résultats obtenus avec 16 bit et 8 bit.

Service publique de Wallonie Département de la géomatique	Id/TE/BDL-BE22-037 & BE22-038	
	Association Momentanée	
	 WALPHOT WALPHOT sa Chaussée de Liège 221 B-5100 NAMUR	 EUROSENSE EUROSENSE sprl Avenue des Nerviens 54 B-1780 WEMMEL

9.11. Illustration

Nous avons enfin examiné les résultats de l'étirement dans une partie sombre d'une image en version 8 bit et 16 bit.

L'image sélectionnée (RGB) est une partie de l'image 014B_00652 reprenant le déversoir et certaines parties sombres du barrage d'Eupen.



L'étirement totalement contrôlé de la radiométrie de l'image est possible en Erdas Imagine, fonction Raster / Breakpoints qui permet de définir complètement la LUT (look-up table) pour une gamme donnée de valeurs numériques.

Nous avons sélectionné les valeurs suivantes pour les gammes d'intensité.

Service public de Wallonie
Département de la géomatique

Id/TE/BDL-BE22-037 & BE22-038

Association Momentanée



WALPHOT sa
Chaussée de Liège 221
B-5100 NAMUR

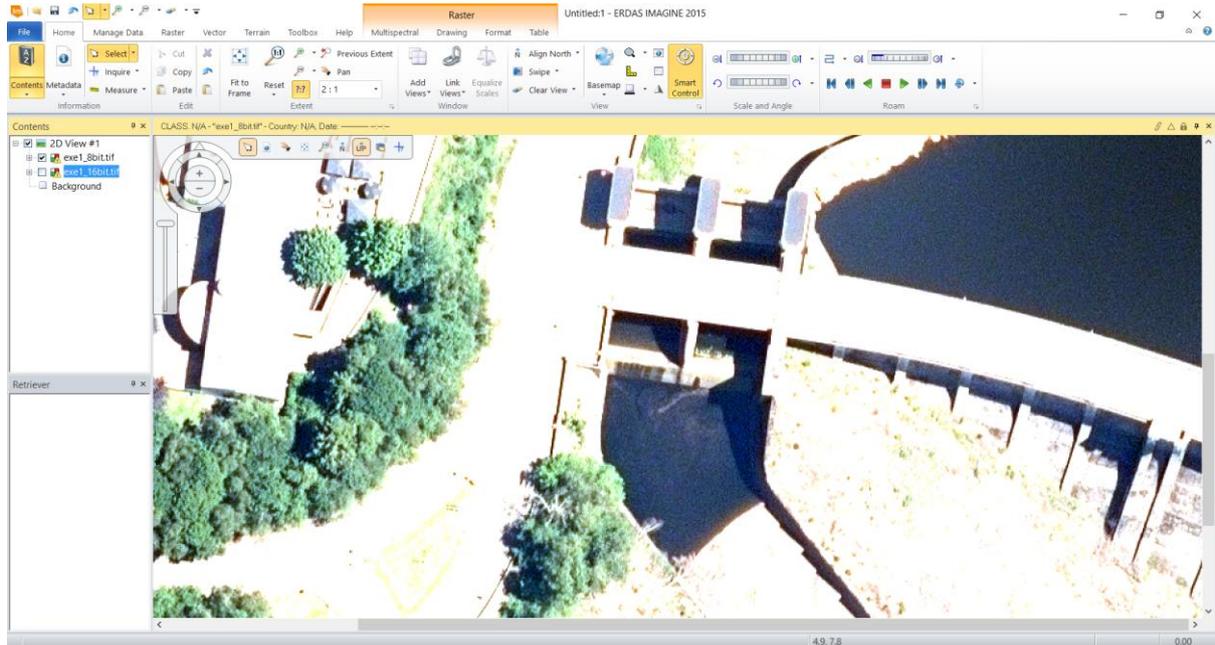


EUROSENSE sprl
Avenue des Nerviens 54
B-1780 WEMMEL

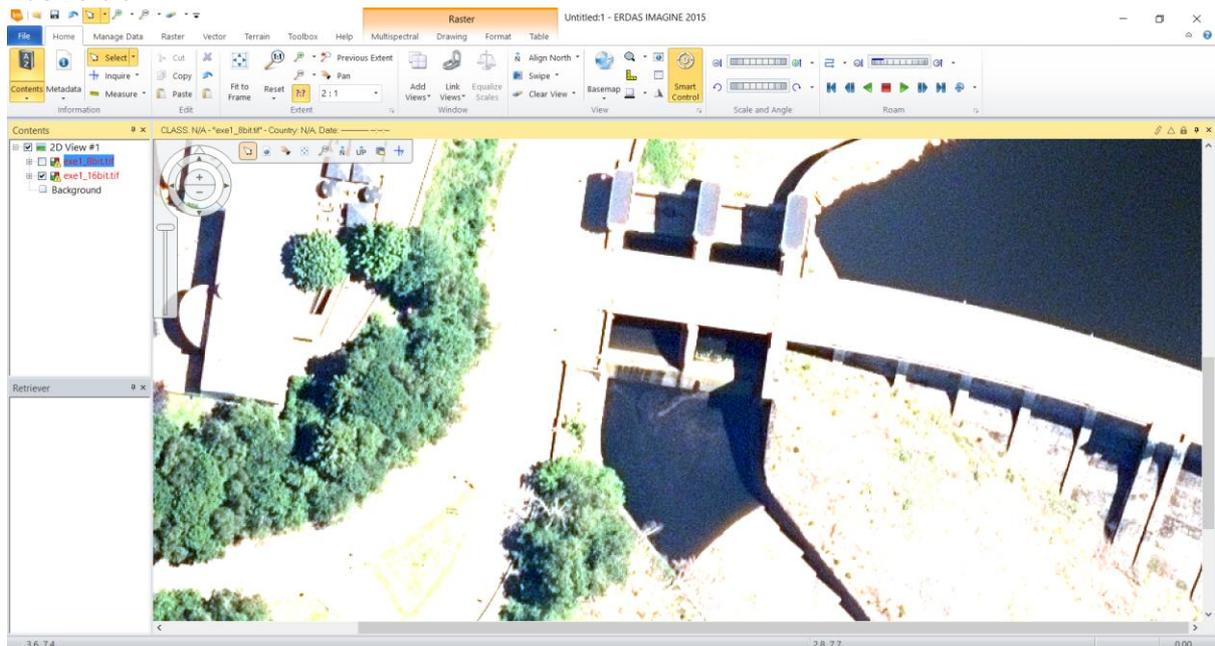
	Rouge	Vert	Bleu	Extension visualisation
Image 8 bit	31 - 93	31 - 93	31 - 93	0 - 255
Image 16 bit	7936 - 23808	7936 - 23808	7936 - 23808	0 - 255

La visualisation d'une partie de l'image (déversoir et ombre barrage) est présentée ci-dessous

Vue 8 bit



Vue 16 bit



Visuellement, il n'y a pas de différence significative entre les deux images à l'écran.

Service publique de Wallonie Département de la géomatique	Id/TE/BDL-BE22-037 & BE22-038	
	Association Momentanée	
	 WALPHOT WALPHOT sa Chaussée de Liège 221 B-5100 NAMUR	 EUROSENSE EUROSENSE sprl Avenue des Nerviens 54 B-1780 WEMMEL

Les valeurs ponctuelles RGB après application de la LUT 16 bit ou 8 bit sont très proches (différences de l'ordre de 2 unités).

L'analyse du contenu des images pour la gamme étendue est repris ci-dessous.

	Rouge	Vert	Bleu
8 bit Entropie Maximum	5.98 (63)	5.98 (63)	5.98 (63)
8 bit Entropie Niv. Peup.	5.98 (63)	5.98 (63)	5.98 (63)
8 bit Entropie	4.00	3.91	4.19
16 bit Entropie Maximum	13.95 (15873)	13.95 (15873)	13.95 (15873)
16 bit Entropie Niv. Peup.	9.58 (765)	9.57 (762)	9.50 (723)
16 bit Entropie	6.13	5.97	6.41
Différence Niv. Peup.	3.60 (765/63)	3.59 (762/63)	3.52 (723/63)
Différence réelle	2.13	2.06	2.21

Le passage de 8 bit à 16 bit correspond à une différence théorique de 8 bit (13.95 – 5.98).

Sur base du nombre de niveaux peuplés, elle est de l'ordre de 3.5.

La différence réelle est de l'ordre de 2.1 (facteur 4.3).

***** Fin du document *****