

Sciences Géomatiques et Ingénierie Topographique

STAGE DE PROFESSIONNALISATION

ANNEE 2022-2023

REGION DE RABAT-SALE-KENITRA

COMMUNE SIDI ALLAL EL BAHRAOUI

**Rapport analytique ;
Phase photogrammétrie**

Soutenu par :

EL MANSOUR Ilyass	N°28
GUENOUNE Assiya	N°40
MASTARI Wijdane	N°50
MADICH Bader	N°48
OUDAHA Hatim	N°55

Encadré et examiné par :

Mme. SEBARI Imane (IAV HASSAN II)
Mme AIT ELKADI Kenza (IAV HASSAN II)
M. HAJJI HICHAM (IAV HASSAN II)
Mme SARA (IAV HASSAN II)
Mme AZIZA (IAV HASSAN II)

Mai 2023

REMERCIEMENT

Nous tenons à exprimer notre sincère gratitude à toutes les personnes qui ont contribué au bon déroulement de notre stage professionnel.

Tout d'abord, nos remerciements s'adressent au corps pédagogique et administratif de l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II qui ont veillé sur l'organisation et la réussite de ce stage. Nous tenons à remercier nos chers enseignants du département des sciences géomatiques et d'ingénierie topographique qui nous ont suivis durant toute la période de notre stage, pour leur disponibilité, la confiance qu'ils nous ont accordée et pour leur assistance et conseils précieux sur les plans organisationnels et techniques.

Nous exprimons aussi nos gratitudes aux chauffeurs et opérateurs pour le temps et l'aide qu'ils nous ont offerts.

Merci également à tous les membres de notre groupe pour leur persévérance et leur sens de responsabilité.

Merci à tous nos collègues de la filière pour l'effort fourni et le travail réalisé qui a permis d'atteindre les objectifs de ce grand chantier.

TABLEAU DE MATIERE

LISTE DE FIGURES	5
LISTE DES TABLEAUX.....	6
Introduction générale.....	7
1. Contexte générale :.....	7
2. Objectifs :	7
3. Zone du travail	8
4. Outils de travail :	8
5. Organigramme du projet :	10
Chapitre 1 : Calcul des précisions et tolérances exigés pour le projet	11
6. Echelle du projet :	11
1.1. En planimétrie :.....	12
1.2. En altimétrie :.....	14
Chapitre 2 : Sortie de reconnaissance	16
7. Choix des points :.....	17
8. Choix de procéder pour déterminer les coordonnées des points :.....	18
9. Phase terrain :	19
Chapitre 3 : MISSION GNSS	21
10. Planification et l'exécution de la mission GNSS.....	21
11. Traitement.....	22
Chapitre 4 : AEROTRIANGULATION	24
12. Introduction	24
13. Démarche suivie	24
14. Etapes de calcul de l'aérottriangulation.....	25
1.3. Création du projet	25
1.4. Orientation interne	26
1.5. Calcul de l'aérottriangulation.....	28
1.6. le pointage des points de contrôle sur les différentes images.	31

1.7. Le pointage des points de liaison sur les différentes images.	31
1.8. Acceptation de l'aérotriangulation lorsque :	33
Chapitre 5 : RESTITUTION	38
15. Echelle du plan	38
16. Les critères de restitution :	38
17. Equipements et logiciels utilisés.....	38
18. Création du projet	38
19. Démarche suivie	39
1.9. Restitution des détails	40
1.1.1. En planimétrie ;	40
2.1.1. En altimétrie ;	40
20. Edition du plan et habillage :	41
Chapitre 6 : L'orthophoto.....	44
21. Introduction	44
22. Génération de MNT	44
23. La Génération automatique du MNT.....	45
1.10. Paramétrage	45
1.11. Calcule de MNT	46
1.12. Edition du MNT :	46
3.1.1. Mode automatique par l'intégration des lignes caractéristiques et les points cotés	46
4.1.1. Mode manuel :	47
5.1.1. Rectification zonale :	48
6.1.1. Rectification des routes	48
7.1.1. Densification du réseau	50
8.1.1. Contrôle du MNT :	50
1.13. Génération d'Orthophoto :	51
1.14. Ortho-photoplan :	52
CONCLUSION	55

LISTE DE FIGURES

Figure 1 : Image représentant la zone de travail	8
Figure 2:organigramme du projet de stage.....	10
<i>Figure 3: la conception de 5 points</i>	<i>16</i>
<i>Figure 4 : la conception de 9 points</i>	<i>17</i>
<i>Figure 5 : La répartition des points de calage.....</i>	<i>18</i>
<i>Figure 6 : Sommaire des méthodes de positionnement et l'ordre de précision (1)</i>	<i>19</i>
<i>Figure 7 : schéma récapitulatif du choix des points</i>	<i>20</i>
<i>Figure 8 : La disposition des points sur la bande 3.....</i>	<i>21</i>
<i>Figure 9 / Répartition des taches durant la mission</i>	<i>22</i>
<i>Figure 10 : schémas des points de calage choisit.....</i>	<i>22</i>
Figure 11:configuration de la caméra numérique.	25
Figure 12:configuration du système de coordonnées.	25
Figure 13:configuration du Datum vertical.	26
Figure 14:insertion de hauteur du vol.	26
Figure 15:l'insertion des paramètres de l'orientation interne.	28
Figure 16:Bloc de gerbes perspectives.....	28
Figure 17:Concept de la condition de la colinéarité.....	29
Figure 18:les équations des conditions de colinéarité.....	29
Figure 19:l'outil de pointage des points.	30
Figure 20:l'outil Classic Point Measurement Tool.....	30
Figure 21:Liste finale des points de contrôle.	30
Figure 22:liste des points de contrôle sur LPS.....	31
Figure 23:exemple du pointage de le premier point.....	31
Figure 24:le pointage des points de liaisons.....	32
Figure 25:RMSE de l'aérottriangulation.	32
Figure 26:le RMSE de l'aérottriangulation.....	33
Figure 27: les résiduelles sur les GCP.....	34
Figure 28:la précision absolue (sur le point de vérification).....	35
<i>Figure 29 : Répartition des points de contrôle pour une configuration minimale</i>	<i>36</i>
<i>Figure 30 : Répartition des points de contrôle dans le 3ème cas</i>	<i>36</i>

<i>Figure 31 : Répartition des points de contrôle dans le 4^{ème} cas</i>	<i>36</i>
<i>Figure 32:outil mésuser la distance dans microstation.....</i>	<i>39</i>
<i>Figure 33 : notre zone de restitution.....</i>	<i>40</i>
<i>Figure 34: notre carte sur Autocad.....</i>	<i>42</i>
<i>Figure 35:la carte finale à l'échelle 1/10 000.....</i>	<i>43</i>
<i>Figure 36 : la méthodologie suivie pour élaborer l'orthophoto</i>	<i>45</i>
<i>Figure 37 : le résultat de MNT générer automatiquement</i>	<i>46</i>
<i>Figure 38 : l'ajout des données de restitution.....</i>	<i>47</i>
<i>Figure 39 : Edition du MNT au niveau des bâtiments</i>	<i>48</i>
<i>Figure 40 : l'ajout de breaklines.....</i>	<i>49</i>
<i>Figure 41 : Résultat d'ajout de breaklines</i>	<i>50</i>

LISTE DES TABLEAUX

<i>Tableau 1 : coordonnées final des points de calages.....</i>	<i>23</i>
<i>Tableau 1:les paramètres de l'orientation interne de la caméra.</i>	<i>27</i>
<i>Tableau 2 : Résultats des différents cas d'essais d'aérotriangulation</i>	<i>37</i>

Introduction générale

1. Contexte générale :

Ce rapport présente les procédures suivies, les analyses effectuées, ainsi que les résultats du travail acharné accompli pendant la période du projet de photogrammétrie lors de notre stage de professionnalisme, qui a été réalisé dans la zone de Sidi Alal El Bahraoui. Nous avons eu l'occasion de mettre en pratique nos connaissances dans ce domaine et d'exploiter diverses méthodes techniques.

Le volet final de notre stage s'est déroulé en deux parties distinctes : la première a consisté en des travaux sur le terrain, notamment la préparation stéréoscopique. La seconde partie s'est concentrée sur le traitement des données en vue de réaliser la restitution et de créer une orthophotoplan pour notre zone de travail.

Durant notre stage, nous avons eu l'opportunité de mettre en œuvre différentes techniques de photogrammétrie pour obtenir des résultats précis et fiables. Les travaux sur le terrain nous ont permis d'acquérir des données essentielles à partir desquelles nous avons pu réaliser des analyses approfondies. En utilisant des méthodes stéréoscopiques, nous avons pu obtenir des informations en trois dimensions, ce qui nous a été particulièrement utile pour la restitution et la génération du Modèle Numérique de Terrain (MNT) de la zone étudiée. Par la suite, nous avons réalisé la génération de l'orthophoto et de l'orthophotoplan, des outils cartographiques essentiels pour représenter avec précision notre zone de travail, corrigés des déformations liées au relief.

Ce stage de photogrammétrie a été une expérience enrichissante qui nous a permis d'acquérir des compétences pratiques et de contribuer à la création de produits cartographiques utiles pour la zone de Sidi Alal El Bahraoui.

2. Objectifs :

Notre mission consistait à créer un plan de restitution, un Modèle Numérique de Terrain (MNT) et un orthophotoplan à partir d'un ensemble de photographies prises en 2021 dans la région de

Sidi Alal El Bahraoui. Afin de guider notre travail, nous avons établi les objectifs spécifiques suivants :

La planification de la stéréopréparation ;

- L'exécution de la stéréo ;
- L'aérotriangulation ;
- La restitution photogrammétrique ;
- L'édition du Modèle Numérique de Terrain (MNT) ;
- génération de l'orthophoto et l'orthophotoplan.

3. Zone du travail

Nous avons couvert une partie de la ville de Sidi Allal El Bahraoui en utilisant trois bandes de photographies, comprenant chacune huit images. Les scènes capturées présentaient principalement des terrains dégagés.



Figure 1 : Image représentant la zone de travail

4. Outils de travail :

Au sein de cette section, nous allons aborder la partie concernant les applications mobiles et les logiciels que nous avons utilisés tout au long de notre stage.

ArcGIS : est un système d'information géographique (SIG) puissant et largement utilisé dans le domaine de la cartographie et de l'analyse géospatiale. Au cours de notre stage, nous avons

opté pour ArcGIS pour délimiter avec précision notre zone de travail et aussi nous a offert une gamme d'options pour ajouter des éléments cartographiques pour réaliser l'habillage du notre orthophoto.

Google Maps : Nous avons utilisé Google Maps, à la fois comme solution web et application mobile, pour déterminer les coordonnées approximatives des points créés dans notre projet de photogrammétrie. Google Maps a joué aussi un rôle essentiel dans la navigation et le guidage des chauffeurs vers les emplacements spécifiques que nous devons étudier sur le terrain. Son interface conviviale et ses fonctionnalités de navigation en temps réel nous ont permis d'optimiser nos déplacements et de nous rendre efficacement à nos destinations.

Google Earth : permet de lire les fichiers KML de nos points et sert également de moyen de navigation et de guidage pour les chauffeurs.

Logiciel Trimble Business Centre (TBC) : Nous avons utilisé TBC (Trimble Business Center) pour effectuer le post-traitement de nos observations afin de déterminer les coordonnées des points de contrôle (GCP) ainsi que leurs précisions.

Le logiciel ERDAS Imagine 2011 : est un puissant outil de traitement d'images géospatiales. Avec ses fonctionnalités avancées, nous l'avons utilisé pour effectuer l'aérottriangulation, l'édition du Modèle Numérique de Terrain (MNT) et la génération de l'orthophoto.

L'extension PRO600 du logiciel ERDAS Imagine 2011 : Grâce à cette liaison, nous avons pu effectuer plus facilement la restitution stéréoscopique en utilisant les fonctionnalités avancées de MicroStation pour dessiner et modéliser en 3D tout en visualisant les données stéréoscopiques.

Le logiciel Microstation : est utilisé pour réaliser la restitution de notre stéréo-minute.

Autocad : est un logiciel de conception assistée par ordinateur (CAO) développé par la société Autodesk. Nous l'avons utilisé dans l'habillage de notre stéréo-minute.

Matériel utilisé :

Stéréoscope de poche : Nous avons utilisé des stéréoscopes de poche pour visualiser et déterminer les reliefs de notre zone d'étude.

Les lunettes anaglyphes et polarisées pour avons utilisé ces lunettes effectuer la restitution et l'édition du Modèle Numérique de Terrain (MNT) dans un environnement stéréoscopique.

Les récepteur GNSS : nous avons travaillé avec 8 récepteurs GNSS pour réaliser la mission GNSS. Parmi ces récepteurs, nous avons 4 de la marque Topcon, 2 de la marque SP60 et 2 de la marque GeoMAX.

5. Organigramme du projet :

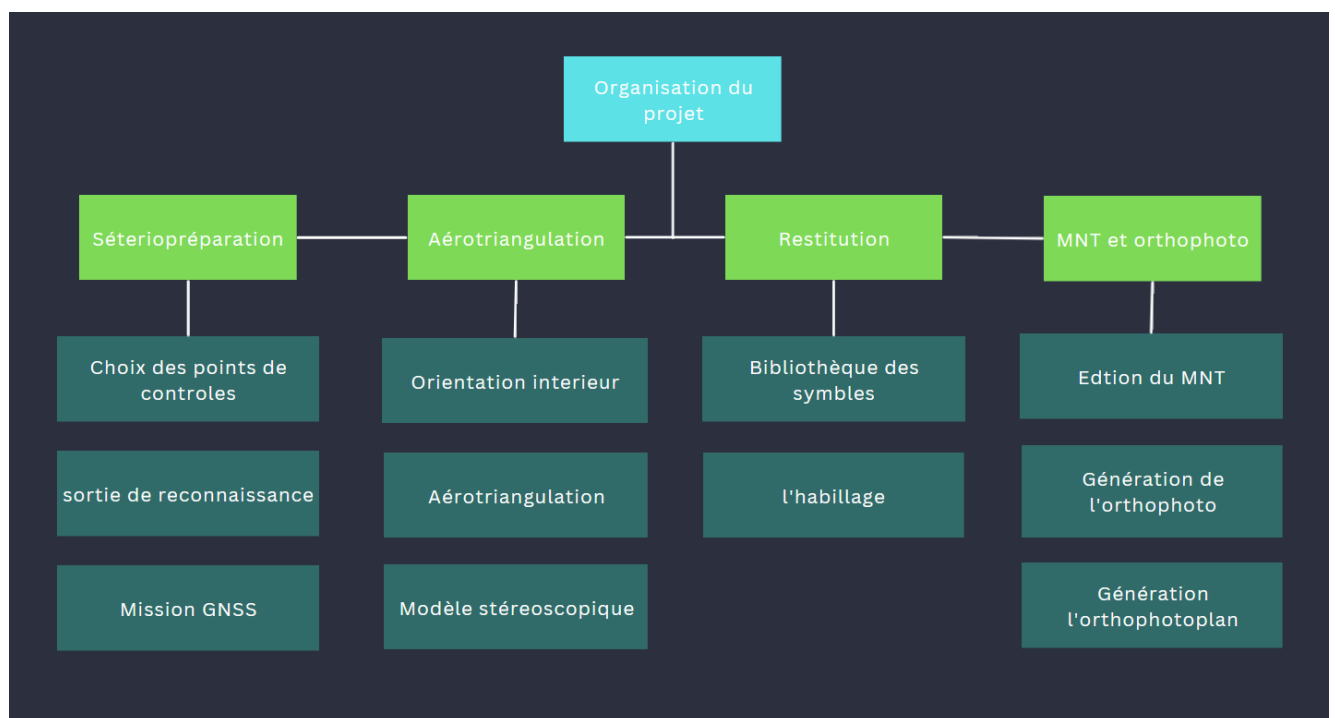


Figure 2:organigramme du projet de stage.

Chapitre 1 : Calcul des précisions et tolérances exigés pour le projet

La fiabilité de notre stéréominute dépend essentiellement du degré de fiabilité de notre aérotriangulation, qui est affectée par la caméra utilisée et la précision de la détermination des points de contrôle.

La qualité de la caméra utilisée pour prendre les images aériennes doit être de haute qualité avec des paramètres bien calibrés, notamment la position du point principal et l'élimination des distorsions radiales et tangentielles qui sont des erreurs systématiques qu'on peut les éliminer lors de l'orientation interne.

La précision des points de contrôle (**GCP**) dépend principalement du processus de leur détermination sur le terrain. Plus les points de contrôle sont déterminés avec une grande précision et une méthode adéquate, meilleure sera la qualité et la fiabilité de l'aérotriangulation et par la suite notre stériominute.

6. Echelle du projet :

La précision de notre stéréominute est affectée par le choix de l'échelle de la carte. Avant de commencer à calculer les exigences du projet, nous devons d'abord déterminer l'échelle de notre carte. Le choix de l'échelle est crucial car il détermine la proportion entre les distances sur la carte et les distances réelles sur le terrain.

On sait que :

$$\frac{1}{Ep} = \frac{f}{H - hm}$$

Avec :

Ep : échelle de la photographie

f : focal du notre cammera

H : la hauteur par rapport au niveau moyen du mer

hm : hauteur moyen du terrain

$$\frac{1}{Ep} = \frac{92 * 10^{-3}}{6000} \approx \frac{1}{65\,000}$$

$$Ec = \frac{Ep}{4} \approx \frac{1}{16\,000}$$

On sait que les échelles de base pour les cartes topographiques de base sont 1/10 000, 1/25 000, 1/50 000 pour cela qu'on a adopté l'échelle 1/10 000 pour notre carte.

Donc :

$$Ec = \frac{1}{10\,000}$$

1.1. En planimétrie :

Pour ce projet, le plan qui sera produit est à 1/10 000. La précision est donc calculée comme suit :

$$\sigma_{\text{Papier}} = Eg * \text{EchellePlan}$$

Avec :

σ_{Papier} : La précision exigée sur le plan final tiré sur papier.

eg : L'erreur graphique qui est égale à 0,2 mm

Nous avons donc :

$$\sigma_{\text{Papier}} = Eg * \text{EchellePlan} = 0.2 * 10\,000 = 200\text{cm}$$

Tandis que :

$$\sigma_{\text{numérique}} = \frac{\sigma_{\text{Papier}}}{2} = 100\text{ cm}$$

l'erreur numérique totale (ErreurNumérique²) en fonction des erreurs associées à différentes étapes du processus de photogrammétrie ceci est expliqué par la loi de propagation des erreurs à la forme suivante :

$$\sigma_{\text{Numérique}}^2 = p1 * \sigma_{\text{GCP}}^2 + p2 * \sigma_{\text{Orientation}}^2 + p3 * \sigma_{\text{Restitution}}^2$$

Voici comment interpréter chaque terme de l'équation :

p1, p2 et p3 : ce sont des coefficients qui pondèrent l'importance relative de chaque type d'erreur dans l'erreur numérique totale. Ces coefficients permettent de donner plus ou moins de poids à chaque terme en fonction de leur impact sur l'erreur finale.

σ_{GCP}^2 : c'est la précision associée aux points de contrôle géodésiques (GCP)

$\sigma_{Orientation}^2$: c'est la précision associée à l'orientation des images aériennes dans l'espace (Aérottriangulation).

$\sigma_{Restitution}^2$: c'est la précision associée à la restitution, c'est-à-dire le processus de numérisation des points caractéristiques sur les images stéréoscopiques.

Ensemble de ces erreurs son de même importance donc.

$$P1=p2=p3=1$$

Donc notre formule finale est la suivante :

$$\sigma_{Numerique}^2 = \sigma_{GCP}^2 + \sigma_{Orientation}^2 + \sigma_{Restitution}^2$$

La restitution consiste effectivement à dessiner sur le modèle stéréoscopique les points caractéristiques et les détails observés sur nos photos, tout comme l'aérottriangulation implique également un processus de pointage des points de controle(GCP) et de liaison. Les deux processus sont réalisés par l'opérateur et sont tous deux affectés par des facteurs tels que l'erreur de pointage, la taille du pixel et l'échelle de la photographie Donc on peut les écrire sous la forme suivante :

$$\sigma_{Orientation} = \sigma_{restitution} = \text{Erreur de pointage} * \text{Taille du pixel} * E_{photo}$$

La photographie est composée d'un fond rectangulaire créé par un ensemble de pixels. L'erreur de pointage est affectée par l'opérateur en fonction de son acuité visuelle. Dans notre équipe, nous supposons que tous les opérateurs ont la même capacité de pointage, estimée à un quart de pixel donc :

$$\text{Erreur de pointage} = \sqrt{0.25 * pixel + 0.25 * pixel} = 0.35 \text{ pixel}$$

Ainsi on a :

$$\sigma \text{ Restitution} = 0.35 * \text{Taille du pixel} * Ep$$

Avec :

$$\text{Taille du pixel} = 5.6 \mu\text{m}$$

$$\frac{1}{Ep} = \frac{1}{65\,000}$$

On aura :

$$\sigma \text{ Restitution} = \sigma \text{ l'orientation} = 0.35 * (5.6 * 10^{-4}) * 65\,000 = 12 \text{ cm}$$

L'erreur des points de contrôle :

Cette erreur résulte de la détermination des coordonnées terrain des points de calage lors de la stéréopréparation.

On a :

$$\sigma \text{ GCP en planimétrie} = \sqrt{\sigma \text{ numérique}^2 - 2 * \sigma \text{ restitution}^2} = 98 \text{ cm}$$

$$\text{Tolérance sur GCP en planimétrie} = 2.7 * \sigma \text{ GCP en planimétrie} = 2.6 \text{ m}$$

1.2. En altimétrie :

La précision altimétrique requise pour un plan de 1/10000 se présente comme suit :

$$\sigma \text{ papier} = \frac{\text{Equidistance}}{3}$$

$$\text{Avec :} \quad \text{Equidistance} = \frac{\text{Nombre d'échelle}}{5} = \frac{10}{5} \text{ m} = 200 \text{ cm}$$

Donc :

$$\sigma \text{ papier} = 67 \text{ cm}$$

Le passage du numérique en papier ne va pas engendrer des erreurs en altimétrie comme dans le cas de la planimétrie. Pour cela, l'erreur numérique ne doit pas dépasser 67 cm.

L'erreur numérique dépend de l'erreur de l'orientation et de restitution, comme nous avons déjà développé précédemment :

$$\sigma_{\text{GCP en altimétrie}} = \sqrt{\sigma_{\text{numérique}}^2 - 2 * \sigma_{\text{restitution}}^2}$$

$$\sigma_{\text{GCP en altimétrie}} = \sqrt{67^2 - 2 * 12^2} = 65 \text{ cm}$$

$$\text{Tolérance sur GCP en altimétrie} = 2.7 * \sigma_{\text{GCP en altimétrie}} = 1.7 \text{ m}$$

Donc, la tolérance exigée en planimétrie pour nos points de contrôle est de 2,6 mètres et de 1,7 mètre en altimétrie pour réaliser cette carte. Il est facile d'atteindre ce degré de précision soit par les procédés topographiques, soit par GNSS. Le choix de la méthode de détermination des coordonnées sera discuté dans la partie de stéréo préparation en tenant compte d'autres contraintes.

Chapitre 2 : Sortie de reconnaissance

Lors de la planification de notre reconnaissance, nous avons pris en compte la nature du terrain pour déterminer le nombre optimal de points de contrôle à utiliser. Pour ce faire, nous avons employé un stéréoscope de poche qui nous a permis d'avoir une vision stéréoscopique et une meilleure compréhension des caractéristiques topographiques de la zone couverte par les photographies aériennes de la 3^{ème} bande. Après la vision stéréoscopique, nous avons conclu que notre terrain est accidenté avec l'existence d'une saguya.

En tenant compte de la complexité et des particularités du terrain, Initialement, nous avons identifié qu'un nombre minimal de 5 points de contrôle aurait été suffisant pour réaliser l'aérotriangulation, avec 4 points situés aux extrémités de la bande et un point au milieu. Cependant, nous avons conscience que l'utilisation de points de contrôle sans aucun point de vérification supplémentaire est déconseillée, car cela pourrait entraîner des erreurs potentielles et une moindre fiabilité des résultats. Toutefois, dans un souci de précision et d'efficacité, nous avons décidé d'opter pour un nombre plus élevé de points de contrôle. Ainsi, pour notre projet spécifique, nous avons décidé de choisir 9 points soigneusement répartis le long de la bande de photographies aériennes. Ces 9 points sont situés précisément aux extrémités de la bande pour garantir une couverture complète et homogène de la zone d'intérêt et d'éviter toute extrapolation possible. De plus, nous avons choisi un point central supplémentaire afin d'éliminer tout effet de charnière potentiel, c'est-à-dire toute déformation géométrique liée à l'altitude.

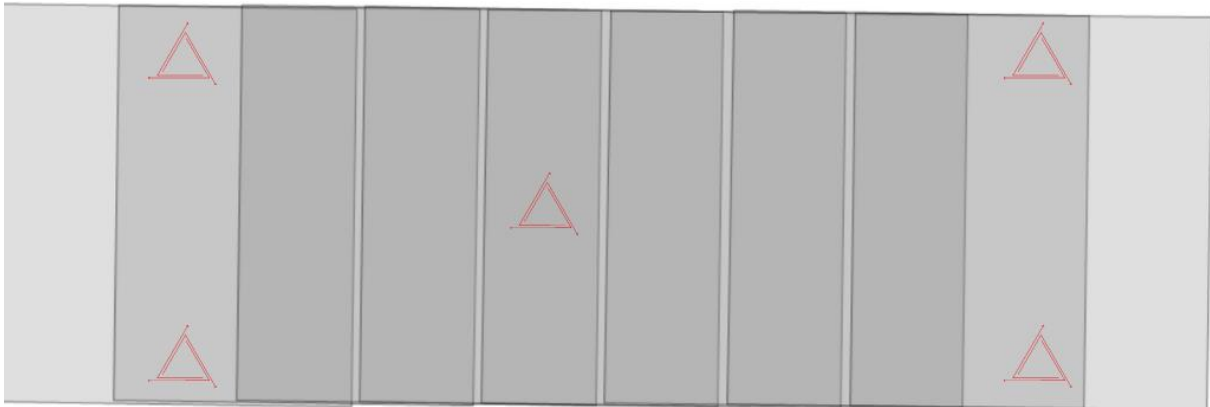


Figure 3: la conception de 5 points

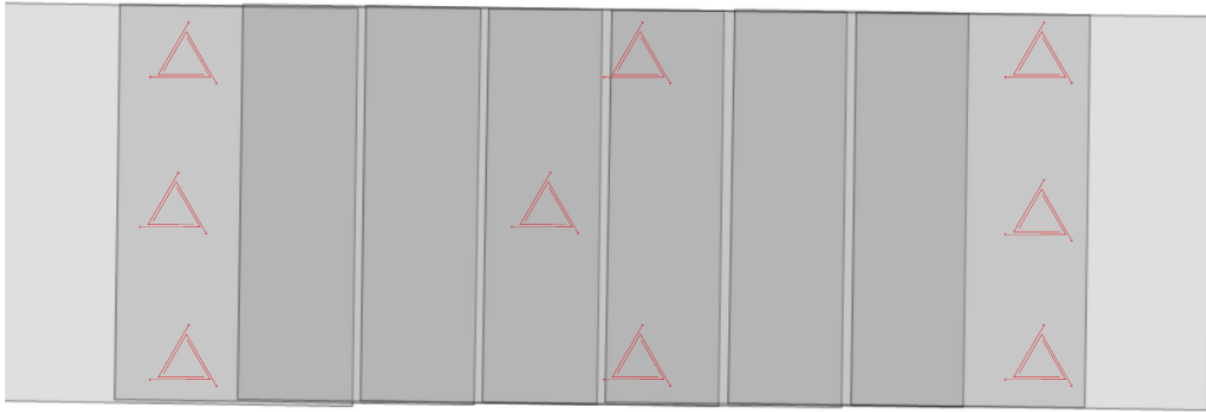


Figure 4 : la conception de 9 points

Cela nous donne un plus grand nombre de combinaisons possibles lors du processus d'aérotriangulation. En disposant de davantage de points, nous pouvons créer différentes configurations pour effectuer les ajustements géométriques nécessaires lors de l'aérotriangulation. Cette variété de combinaisons offre une meilleure adaptabilité aux particularités du terrain et permet de traiter plus efficacement les déformations géométriques éventuelles.

7. Choix des points :

Après avoir déterminé la configuration des points de contrôle, notre groupe s'est réuni avec les autres groupes de notre bande pour délimiter la zone de travail et sélectionner les positions approximatives des points de calage sur QGIS. Cette démarche vise à optimiser notre temps sur le terrain et à accroître notre efficacité lors de la sortie sur le terrain.

Notre approche pour choisir ces positions approximatives s'est basée sur le respect de la configuration préalablement établie, tout en tenant compte de l'accessibilité des points sur le terrain. Nous avons également pris en considération la présence de détails distinctifs sur les photographies aériennes, ce qui nous permettra de mieux repérer et pointer les points de contrôle pendant le processus d'aérotriangulation.

Une fois les points de calage sélectionnés, nous les avons rassemblés dans un fichier KML sur Google Earth. Ce fichier sera d'une grande utilité lors de notre sortie sur le terrain, car il nous servira de référence pour localiser avec précision les positions des points de contrôle sur le

terrain.

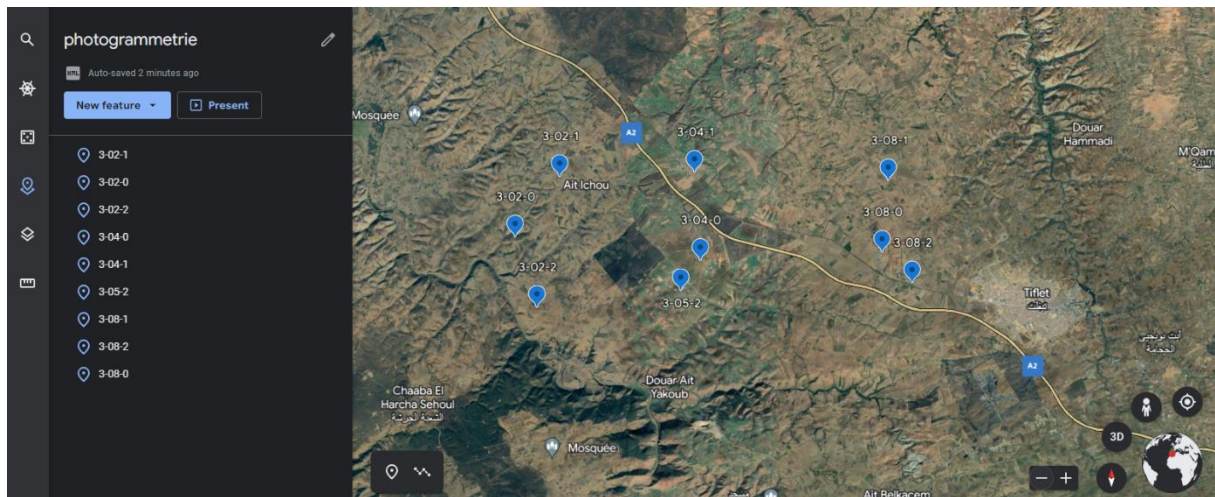


Figure 5 : La répartition des points de calage

8. Choix de procéder pour déterminer les coordonnées des points :

En raison de la non-intervisibilité entre les points sur le terrain accidenté et de la grande distance qui les sépare, l'utilisation de la méthode classique topographique s'est avérée impossible. Nous avons donc décidé d'opter pour une mission GNSS qui s'est avérée être la méthode la plus adaptée à notre situation.

Pour la mission GNSS, nous avons choisi le mode de positionnement relatif statique rapide. Ce choix s'appuie sur plusieurs considérations. Tout d'abord, ce mode offre un temps d'observation réduit, ce qui est avantageux pour notre projet afin de gagner en efficacité sur le terrain. En outre, il offre une précision suffisante pour répondre aux exigences de notre cas spécifique.

Tant que la tolérance pour la position planimétrique est 2.6m et 1.7m pour la position altimétrie. De plus, le mode relatif statique rapide est particulièrement adapté lorsque les lignes de base, c'est-à-dire les distances entre les points de réception GNSS, sont courtes, ce qui est le cas dans notre situation. En choisissant ce mode, nous pouvons obtenir des mesures précises et fiables. Un autre avantage de ce mode est qu'il ne nécessite pas d'initialisation.

(Forgues)

	Nombre minimum de récepteur(s)	Temps d'observation recommandé ^b	Précision ^c (95 %)
Récepteurs de code			
Absolu (statique ou cinématique)	1	1 à 10 s	100 m horizontalement et 150 m verticalement
Relatif (statique ou cinématique)	2	1 à 50 s	3 à 12 m horizontalement et verticalement
Récepteurs de phase (relatif)			
Statique	2	≥30 min	1 cm + 1 à 10 ppm
Statique rapide	2	3 à 15 min	quelques cm
Cinématique	2	— ^d	10 cm à 1 m
Semi-cinématique	2	~1 min par point	quelques cm

^a Adapté de RNC (1993).

^b Pour chaque méthode, plus le temps d'observation est long, meilleure est la précision obtenue. Chaque méthode a son propre temps optimal de précision.

^c Un niveau de probabilité de 95 % signifie que 95 % des observations auront cette précision.

^d Temps d'observation instantané. Cette méthode est souvent utilisée à bord de véhicules ou d'avions.

Figure 6 : Sommaire des méthodes de positionnement et l'ordre de précision (1)

9. Phase terrain :

La phase terrain de notre projet implique une subdivision en deux sous-groupes pour optimiser notre efficacité et la qualité de nos résultats. Le premier sous-groupe sera chargé de la sortie sur le terrain. Ils utiliseront le fichier KML préparé précédemment pour localiser les sites approximatifs où les points de contrôle doivent être établis. En se basant sur la configuration déterminée et les points choisis, ils chercheront avec précision des emplacements stationnables sur le terrain.

Pendant ce temps, le deuxième sous-groupe sera responsable de la coordination sur le terrain. Leur rôle consistera à vérifier simultanément si les points de contrôle choisis apparaissent de manière distincte sur les photographies aériennes fournies. En se référant aux images, ils s'assureront que les points sélectionnés sont clairement identifiables et qu'ils répondent aux critères de distinction visuelle requis pour une aérotriangulation précise.

Cette approche de travail en deux sous-groupes permettra d'optimiser notre temps sur le terrain et de garantir que les points de contrôle choisis sont appropriés et bien adaptés à notre projet de cartographie aérienne. La coordination en temps réel entre les deux sous-groupes permettra de confirmer que les sites identifiés sont appropriés pour l'établissement des points de contrôle, tout en tenant compte des conditions réelles du terrain et des photographies aériennes disponibles.

(1) : M.-H. Darche, I. Forgues. 1998. MODES DE POSITIONNEMENT PAR GPS : INTRODUCTION ET APPLICATION EN FORESTERIE. 4p

Les points à choisir sur le terrain doivent satisfaire les critères suivants :

conditions à
satisfaites
pour le choix
des GCP :



Figure 7 : schéma récapitulatif du choix des points

Il est essentiel de nommer les points de calage de manière standardisée et normalisée. Cette nomenclature conventionnelle facilite grandement le travail des photogrammètres lorsqu'ils réalisent le pointage des points pour l'aérotriangulation et l'orientation.

Elle permet d'éviter les problèmes de recherche des points et de gagner du temps.

La convention de nomenclature que nous avons adoptée est la suivante :

N° de bande_N° de la photo_ N° de la Position

La "Position" indique l'emplacement du point sur la photo : Haut=1, Milieu=0 ou Bas=2.

Chapitre 3 : MISSION GNSS

10. Planification et l'exécution de la mission GNSS

Nous avons commencé par les choix des points de l'ossature : des points dont les coordonnées planimétriques et altimétriques ont été déterminées lors des phases précédentes du projet. Le choix de ces points a été fait de façon à couvrir notre zone de stéréopréparation, tout en respectant l'exigence du mode statique rapide et ne pas dépasser une longueur de lignes de base de 15 km. Afin de pouvoir effectuer un ajustement altimétrique du réseau, au moins deux points connus en planimétrie et en altitude étaient nécessaires. Ces points devaient être répartis sur la zone d'étude et proches des points de calage pour éviter les erreurs d'extrapolation et d'interpolation du géoïde. Les deux points Ait Qassou et BG31, représentés par des marqueurs rouges sur le schéma, ont donc été retenus.

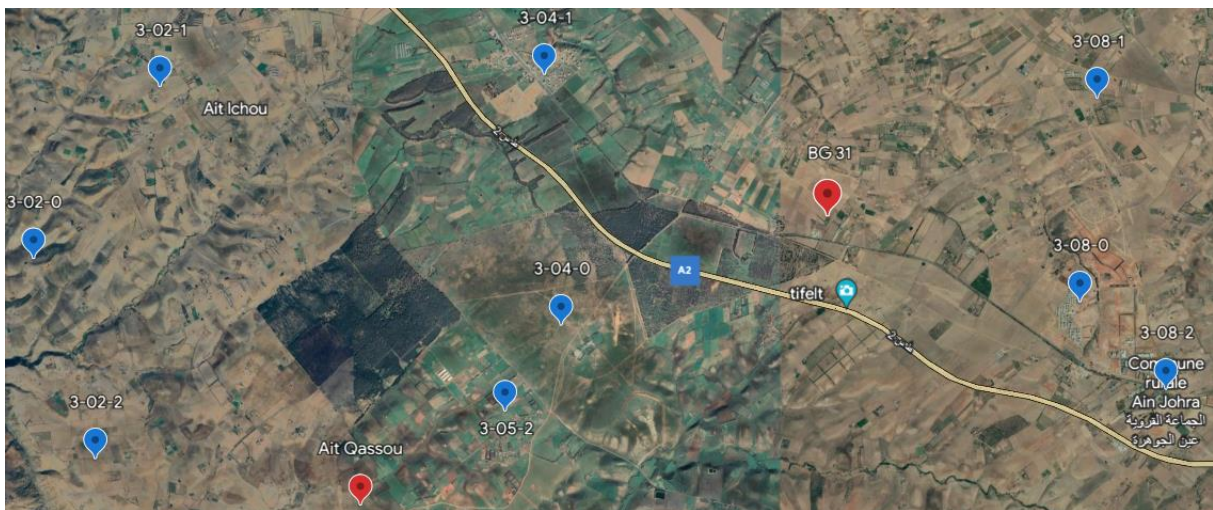


Figure 8 : La disposition des points sur la bande 3

En raison de la grande distance entre les sites, nous avons mis en place une organisation spécifique pour optimiser notre travail. Par exemple, dans notre groupe 4, Ilyass, Bader et Wijdane se sont occupés de stationner 4 points dans la zone sud-ouest, puis se sont déplacés vers le site central pour stationner 2 autres points. Hatim et Assiya, quant à eux, ont pris en charge 4 points dans la partie supérieure, puis se sont déplacés vers 2 autres points.

Cette répartition nous a permis de maximiser notre efficacité en optimisant les déplacements et en répartissant les tâches entre les membres du groupe. En stationnant les points de manière stratégique dans différentes zones, nous avons pu couvrir une plus grande étendue tout en gérant efficacement les contraintes liées aux distances entre les sites.

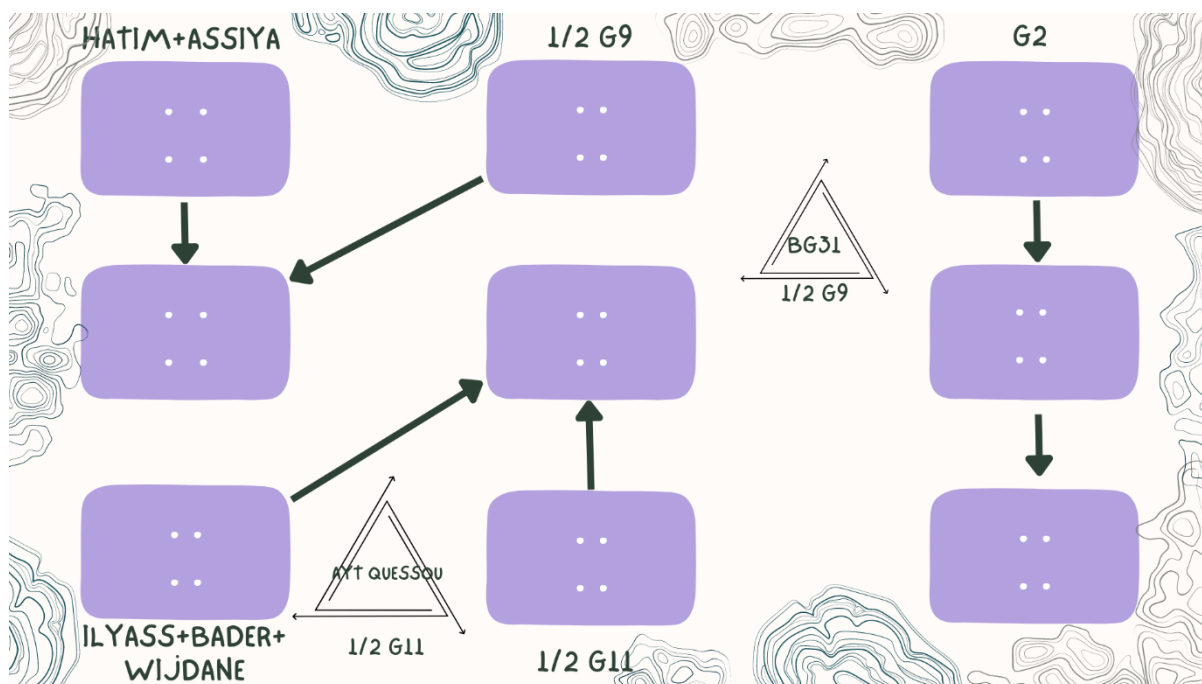


Figure 9 / Répartition des tâches durant la mission

11. Traitement

Après la collecte des données GNSS, nous avons organisé une réunion avec les groupes de notre bande pour distribuer les points. Chaque groupe a sélectionné neuf points dispersés sur les photos de la bande, puis les fichiers et les croquis de repérages ont été partagés entre les groupes pour permettre le traitement et la détermination des coordonnées des points d'appui. Cette approche de collaboration a favorisé la précision et la cohérence des résultats obtenus.

Schémas de nos points de calage :

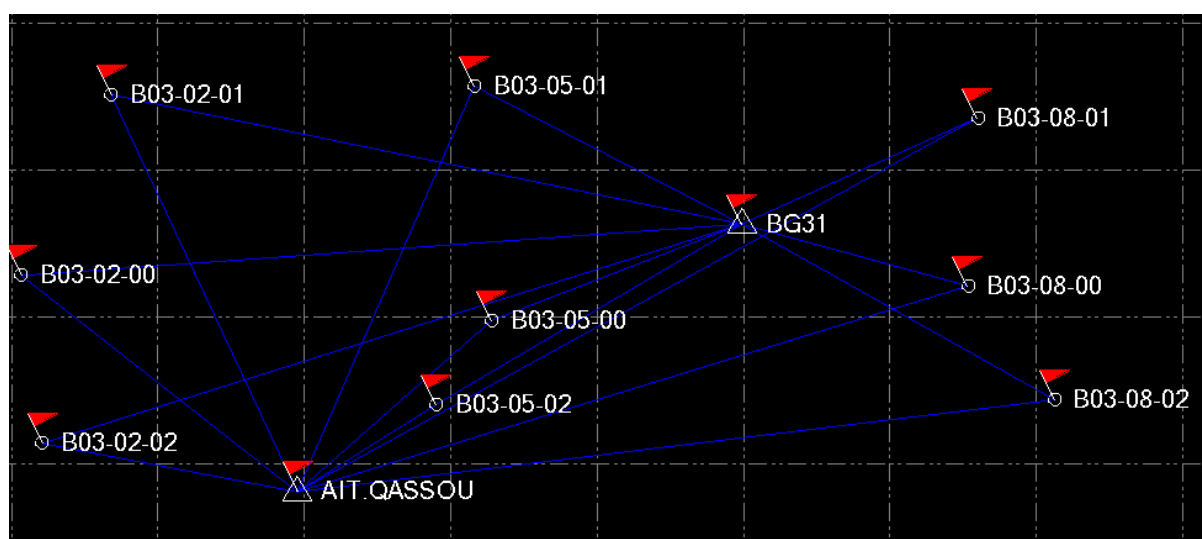


Figure 10 : schémas des points de calage choisis

Les coordonnées adopter après la fixation des coordonnées planimétrique et altimétrique des points BG31 et AYT QASSOU :

Coordonnées de grille ajustées

ID de point	Abscisse (Mètre)	Abscisse Erreur (Mètre)	Nord (Mètre)	Nord Erreur (Mètre)	Altitude (Mètre)	Altitude Erreur (Mètre)	Contrainte
AIT.QASSOU	399901,690	?	365612,340	?	270,988	?	EN e
B03-02-00	396132,091	0,011	368560,226	0,012	234,465	0,029	
B03-02-01	397358,760	0,009	371024,789	0,011	236,574	0,027	
B03-02-02	396416,502	0,008	366273,249	0,010	251,169	0,022	
B03-05-00	402557,630	0,008	367949,585	0,010	278,550	0,026	
B03-05-01	402319,626	0,009	371142,708	0,011	259,761	0,030	
B03-05-02	401804,197	0,007	366803,959	0,008	277,417	0,024	
B03-08-00	409064,450	0,013	368418,144	0,016	307,648	0,036	
B03-08-01	409198,326	0,010	370710,818	0,014	289,371	0,025	
B03-08-02	410249,299	0,016	366866,904	0,021	328,886	0,041	
BG31	405972,710	?	369260,970	?	289,586	?	EN e

Tableau 1 : coordonnées final des points de calages

Chapitre 4 : AEROTRIANGULATION

12. Introduction

Après la phase de stéréopréparation, nous avons obtenu neuf points bien répartis sur l'ensemble de notre bande (bande 03). Nous devons maintenant passer à l'aérotriangulation qui est un processus de photogrammétrie utilisé pour déterminer les coordonnées en 3D des points dans l'espace à partir des informations contenues dans l'image. Il est composé de l'orientation interne et externe pour obtenir, au final, les six paramètres d'orientation externe (X_0 , Y_0 , Z_0 , κ , φ , ω) pour chaque photographie. Ces paramètres nous permettent d'éliminer la parallaxe en y afin de visualiser la scène en stéréo de manière correcte et précise. Une fois que nous avons obtenu les paramètres d'orientation externe, nous pouvons passer à d'autres étapes du processus de photogrammétrie, telles que la restitution et la génération de produits finaux tels que le modèle numérique de terrain (MNT) et l'orthophotoplan.

13. Démarche suivie

Pendant la phase de stéréopréparation, chaque bande de photos a été équipée de neuf points de calage. Bien que le nombre de points de calage soit suffisant pour déclencher le calcul, il est probable que certains de ces points contiennent des erreurs. Par conséquent, il est nécessaire de les remplacer par des points de liaison avant de lancer le calcul de l'aérotriangulation. Il est crucial de choisir judicieusement les points de vérification qui serviront d'évaluation à notre aérotriangulation. En effet, les points de calage à transformer en points de vérification doivent présenter une meilleure précision afin de renforcer le résultat de la compensation et de pouvoir évaluer la validité de notre aérotriangulation. De plus, il est préférable d'éviter de choisir des points de calage situés aux extrémités de la zone d'imagerie comme points de vérification, afin d'éviter toute extrapolation et de maintenir la cohérence de notre zone d'étude.

14. Etapes de calcul de l'aérottriangulation

1.3. Création du projet

Une fois qu'un nouveau projet est créé, la première étape consiste à sélectionner le type de caméra (caméra numérique). Ensuite, nous devons choisir le système de coordonnées approprié. Dans notre cas, nous optons pour le système Merchich.

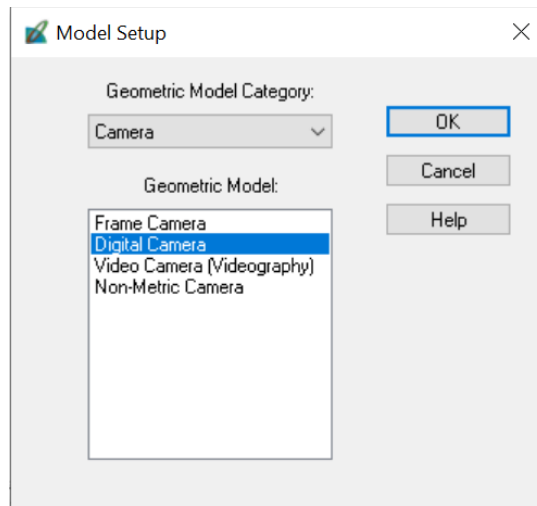


Figure 11: configuration de la caméra numérique.

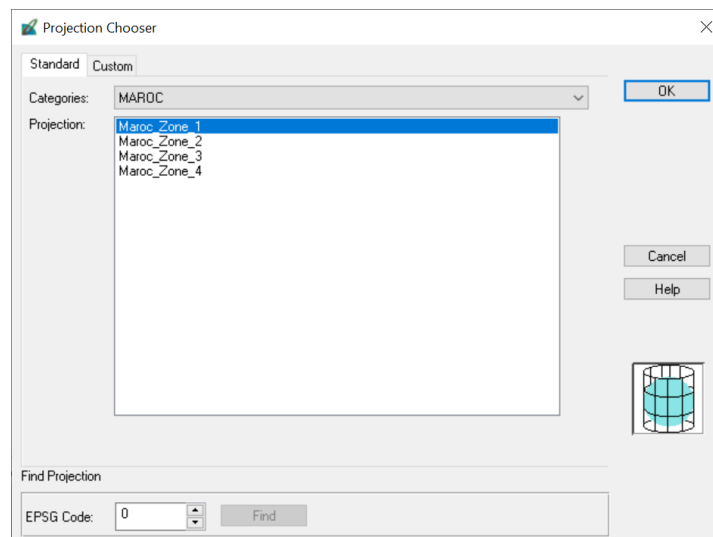


Figure 12: configuration du système de coordonnées.

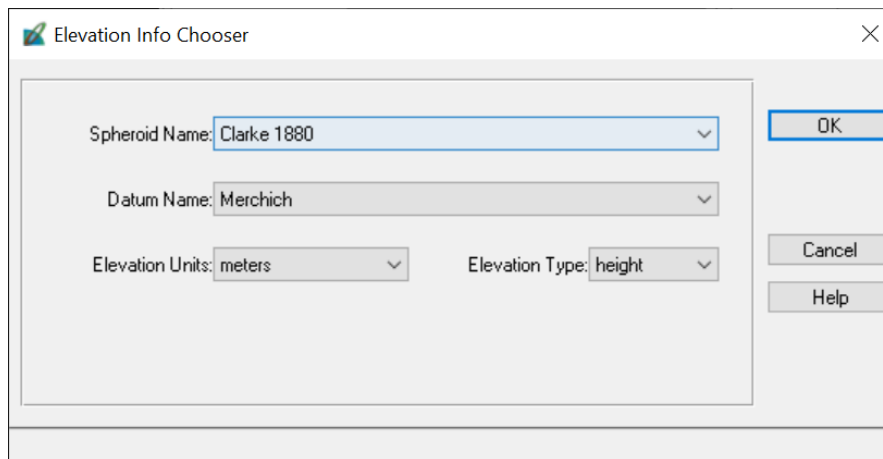


Figure 13: configuration du Datum vertical.

Ensuite, on a introduit la hauteur moyenne du vol qui vaut 6000 m,

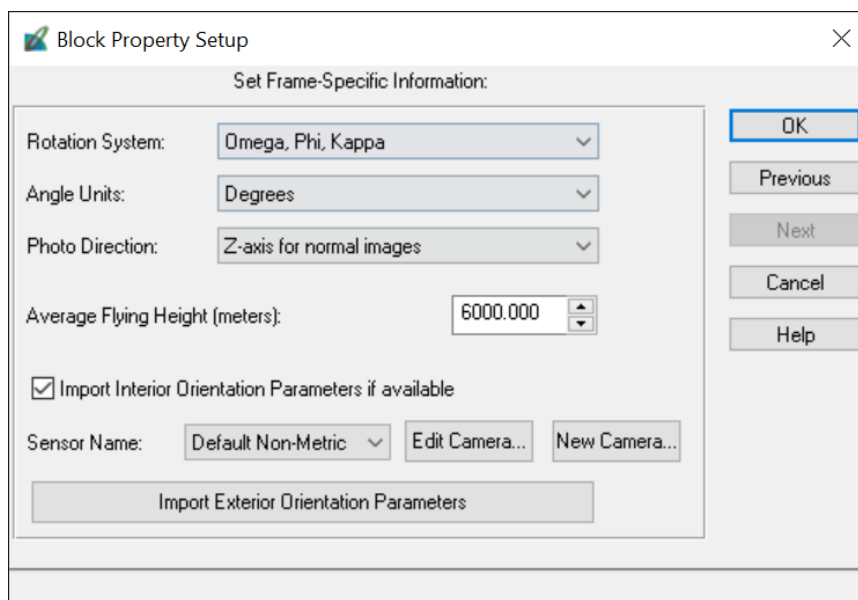


Figure 14: insertion de hauteur du vol.

1.4. Orientation interne

L'orientation interne consiste à effectuer le passage du système de coordonnées de l'image (ligne, colonne) vers un système de coordonnées photographique (x_i , y_i), en utilisant les paramètres de calibrage de la caméra. Ces paramètres sont indispensables pour corriger les déformations et les distorsions optiques inhérentes à l'appareil photo.

Les paramètres de calibrage de la caméra comprennent les coordonnées du point principal (x_0 , y_0) qui représentent le centre optique de l'image, la distance focale de la caméra qui définit la

capacité de l'objectif à faire converger les rayons lumineux, et la taille du pixel de l'image qui sont spécifiées dans le certificat de calibrage de l'appareil photo.

Ces paramètres sont déterminés lors d'un processus de calibration, où des motifs géométriques bien connus (mires) sont photographiés à différentes positions et angles. En utilisant ces images de calibration, les valeurs des paramètres de calibrage sont estimées à l'aide de méthodes mathématiques telles que la régression non linéaire.

Ce passage vers les coordonnées photographiques (x_i , y_i) est essentiel effectuer des mesures précises sur les photographies qu'on va utiliser par la suite dans le modèle mathématique de l'aérottriangulation (condition de colinéarité).

A noter qu'il n'y a pas de moyen pour valider l'orientation interne étant donné que les images sont prises par une caméra numérique. Dans ce cas-là on n'aura pas de résiduelles sur les marques fiducielles indiquées sur les images prises par une caméra analogique.

Les données nécessaires sont inscrites dans le fichier de calibration **"CalibProtocol_DMCIe230-23512_2021"**

Output image

Reference Camera	PAN	
Serial Number	00123119	
Number of rows/columns [pixels]	15552 x 14144	
Pixel Size [μm]	5.600 x 5.600	
Image Size [mm]	87.0912 x 79.2064	
Focal Length [mm]	92.0000 mm	+ /- 0.001 mm
Principal Point [mm]	X= 0.0000 mm, Y= 0.0000 mm	+ /- 0.001 mm

Tableau 2: les paramètres de l'orientation interne de la caméra.

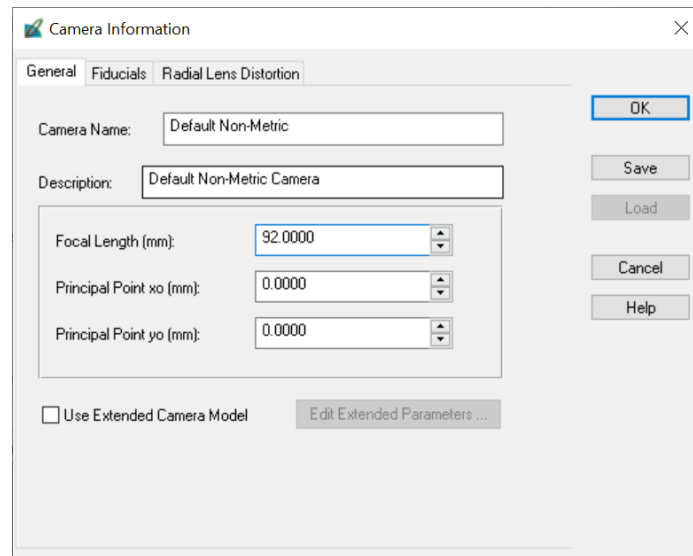


Figure 15: l'insertion des paramètres de l'orientation interne.

1.5. Calcul de l'aérotriangulation

Après l'insertion des images et la réalisation de l'orientation interne, nous entamons l'aérotriangulation, qui vise à déterminer les 6 paramètres de l'orientation externe (X_0 , Y_0 , Z_0 , κ , ϕ , ω) pour chaque photographie. Cette étape est cruciale pour obtenir une représentation précise des points d'intérêt sur la surface terrestre à partir des images aériennes ou satellitaires. La formulation de base de l'aérotriangulation repose sur la géométrie des rayons émanant des points objets et passant par le centre de perspective pour former les points image sur les images capturées. Cela nous permet d'établir des relations géométriques entre les coordonnées 3D des points objets et les coordonnées 2D des points image.

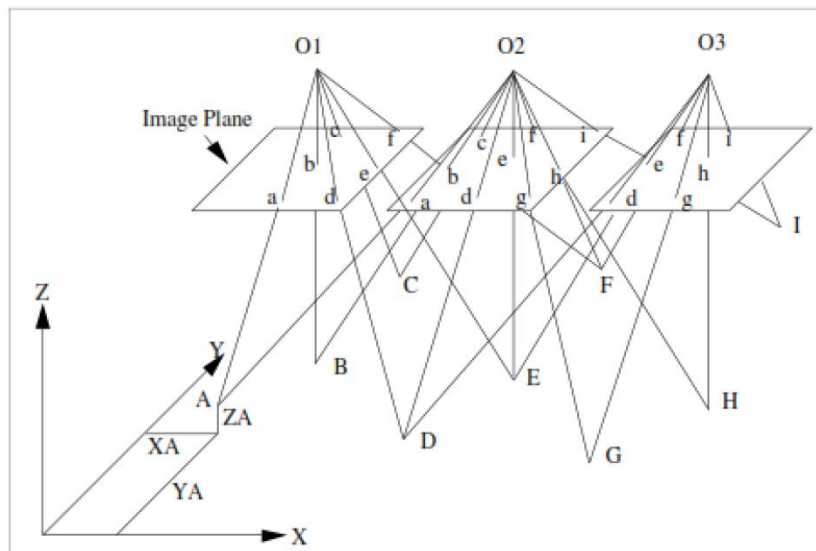


Figure 16: Bloc de gerbes perspectives.

L'expression mathématique de la formule de base d'ajustement par gerbes de perspectives est la condition de colinéarité. Cette condition exprime que le point objet, son homologue image, et le centre de perspective sont alignés sur une même droite.

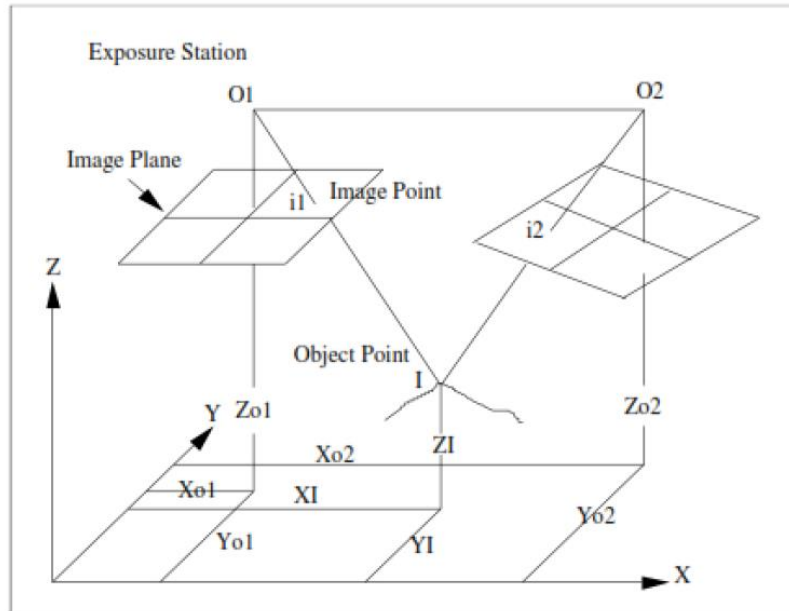


Figure 17: Concept de la condition de la colinéarité.

les équations qui expriment la condition de colinéarité sont les suivantes :

$$F_x = x_i - x_0 + f \cdot \frac{m_{11}(X_i - X_0) + m_{12}(Y_i - Y_0) + m_{13}(Z_i - Z_0)}{m_{31}(X_i - X_0) + m_{32}(Y_i - Y_0) + m_{33}(Z_i - Z_0)} = 0$$

$$F_y = y_i - y_0 + f \cdot \frac{m_{21}(X_i - X_0) + m_{22}(Y_i - Y_0) + m_{23}(Z_i - Z_0)}{m_{31}(X_i - X_0) + m_{32}(Y_i - Y_0) + m_{33}(Z_i - Z_0)} = 0$$

Figure 18: les équations des conditions de colinéarité.

$x_i y_i$: sont les coordonnées image du point i.

$x_0 y_0$: sont les coordonnées du point principal.

f : le focal de la caméra de la prise de vue .

$X_i Y_i Z_i$: les coordonnées objet du point i.

$X_0 Y_0 Z_0$: sont les coordonnées du centre de perspective.

M : la matrice de rotation d'éléments m_{ij} .

1. Introduction les coordonnées des points de contrôle .

On va ouvrir l'outil **Points Measurement** en cliquant sur l'icône suivante :

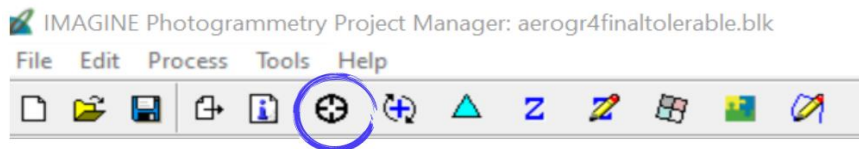


Figure 19:l'outil de pointage des points.

Par la suite, on va sélectionner "**Classic Points Measurement Tool**" pour pointer les points homologues sur chaque couple d'image.

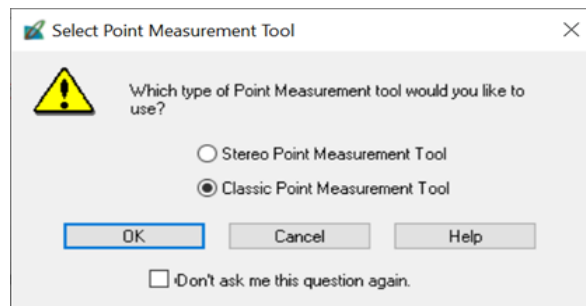


Figure 20:l'outil Classic Point Measurement Tool.

On va insérer le fichier de notre points GCP la liste des coordonnées dans projet.

GCP.txt - Bloc-notes

Fichier	Edition	Format	Affichage	Aide
B03-02-00	396132.091	368560.226	234.465	
B03-02-01	397358.760	371024.789	236.574	
B03-02-02	396416.502	366273.249	259.761	
B03-04-00	402557.630	367949.585	278.550	
B03-04-01	402319.626	371142.708	719.35	
B03-05-02	401804.197	366803.959	277.417	
B03-08-00	409064,450	368418,144	307,648	
B03-08-01	409198.326	370710.818	289.371	
B03-08-02	410249.299	366866.904	328.886	

Figure 21:Liste finale des points de contrôle.

Point #	>	Description	Type	Usage	Active	X Reference	Y Reference	Z Reference
1	▶		Full	Control	✓	397358.760	371024.789	236.574
2			Full	Control	✓	395678.424	368831.793	223.068
3			Full	Control	✓	396416.502	366273.249	251.169
4			Full	Control	✓	402319.626	371142.708	259.761
5			Full	Check	✓	402557.630	367949.585	278.550
6			Full	Control	✓	401804.197	366803.959	277.417
7			Full	Control	✓	409198.326	370710.818	289.371
8			Full	Control	✓	409064.450	368418.144	307.648

Figure 22: liste des points de contrôle sur LPS.

1.6. le pointage des points de contrôle sur les différentes images.

L'opérateur commence à pointer les GCP (points de contrôle au sol) sur les images dans les parties à double et triple recouvrement.



Figure 23: exemple du pointage de le premier point.

1.7. Le pointage des points de liaison sur les différentes images.

On a adopté la procédure de pointage manuelle des points de liaison, car après avoir essayé le pointage automatique, nous avons observé que l'erreur augmentait.



Figure 24: le pointage des points de liaisons.

- Procéder à l'aérotriangulation, analyser les résultats (RMSE, écarts entre les coordonnées des points).

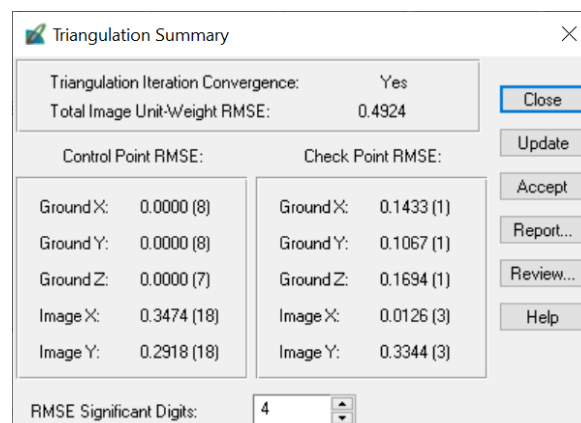


Figure 25: RMSE de l'aérotriangulation.

- En tirer des conclusions :

- Génération manuelle des points de liaison.
- Choisir les points de contrôle les plus fiables en termes d'exactitude et de précision comme points de vérification
- Conversion des points de contrôle dont les coordonnées semblent peu fiables en points de liaison avec la condition qu'ils n'appartiennent pas aux deux extrémités de la bande.

1.8. Acceptation de l'aérottriangulation lorsque :

- La RMSE (Root Mean Square Error) est inférieure à la moitié d'un pixel.

la RMSE (Root Mean Square Error) et les résidus sur les points de contrôle est généralement exprimée par la formule suivante :

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (r^2)}{n}}$$

où :

- RMSE est la Root Mean Square Error, qui représente l'écart type des résidus ou erreurs entre les coordonnées mesurées des points de contrôle et les coordonnées calculées à partir de l'aérottriangulation.
- $\sum_{i=1}^n (r^2)$: est la somme des carrés des résidus, c'est-à-dire la somme des carrés des différences entre les coordonnées mesurées et calculées pour chaque point de contrôle.
- n : est le nombre total de points de contrôle.

En d'autres termes, la RMSE est une mesure de la précision globale de l'aérottriangulation, calculée en prenant la racine carrée de la moyenne des carrés des résidus. Une RMSE faible indique que les coordonnées calculées se rapprochent étroitement des coordonnées mesurées, ce qui indique une bonne précision de l'aérottriangulation. En revanche, une RMSE élevée suggère que les coordonnées calculées présentent des écarts importants par rapport aux coordonnées mesurées, ce qui indique une moindre précision de l'aérottriangulation.

Triangulation Summary	
Triangulation Iteration Convergence:	Yes
Total Image Unit-Weight RMSE:	0.4924
<div>Close</div>	
Control Point RMSE:	Check Point RMSE:
Ground X: 0.0000 (8)	Ground X: 0.1433 (1)
Ground Y: 0.0000 (8)	Ground Y: 0.1067 (1)
Ground Z: 0.0000 (7)	Ground Z: 0.1694 (1)
Image X: 0.3474 (18)	Image X: 0.0126 (3)
Image Y: 0.2918 (18)	Image Y: 0.3344 (3)
<div>Update</div>	
<div>Accept</div>	
<div>Report...</div>	
<div>Review...</div>	
<div>Help</div>	
RMSE Significant Digits:	4

Figure 26: le RMSE de l'aérottriangulation.

Lorsque le RMS est supérieur à la moitié d'un pixel, cela signifie que les écarts entre les valeurs estimées par le modèle et les valeurs de référence des points de contrôle peuvent être relativement importants. En examinant les résidus, on peut repérer les points qui ont des écarts significatifs par rapport aux autres points de contrôle. Ces points peuvent être mal contrôlés, mal identifiés ou souffrir d'erreurs dans les mesures de référence.

```

- - -
The residuals of the control points
Point ID      rX      rY      rZ
All residuals of fixed GCP are zero.

The difference of intersected and measured control points
Point ID      rX      rY      rZ
1      -0.0731      0.0942      -0.1676
3       0.0148      0.0078      -0.1004
4       0.0453      0.3112      -0.5717
6       0.0176     -0.0721      0.0469
8      -0.1754     -0.2056     -0.0341
9       0.1217      0.0691     -0.1130
33      0.1778      0.6001     -1.3468
2       0.2151     -0.0513

      aX      aY      aZ
      0.0430      0.0942     -0.3267
      mX      mY      mZ
      0.1281      0.2551      0.5600
      CE90      LE90
      0.4429      0.6477

```

Figure 27: les résiduelles sur les GCP.

- **La précision absolue.**

La précision absolue est une mesure de la qualité de l'orientation externe d'un modèle généré par l'aérotriangulation. Elle est évaluée en comparant les coordonnées 3D estimées des points de vérification (ou points de contrôle indépendants) avec leurs coordonnées 3D réelles qui sont déjà déterminées avec précision durant la phase de la stéréopréparation. Après l'aérotriangulation, on peut estimer les coordonnées 3D des points de vérification. En comparant ces coordonnées estimées avec les coordonnées réelles, on obtient les résidus ou les différences entre les coordonnées terrain estimées et réelles. Pour nous la différence entre les coordonnées est de l'ordre de 0.1 pixel ce qui est très satisfaisant.

Triangulation Summary

Triangulation Iteration Convergence: Yes		Close
Total Image Unit-Weight RMSE: 0.4924		
Control Point RMSE:		Update Accept Report... Review... Help
Ground X:	0.0000 (8)	
Ground Y:	0.0000 (8)	
Ground Z:	0.0000 (7)	
Image X:	0.3474 (18)	
Image Y:	0.2918 (18)	
Check Point RMSE:		
Ground X:	0.1433 (1)	
Ground Y:	0.1067 (1)	
Ground Z:	0.1694 (1)	
Image X:	0.0126 (3)	
Image Y:	0.3344 (3)	
RMSE Significant Digits: 4		

Figure 28: la précision absolue (sur le point de vérification).

- Il y'a absence de parallaxe lors de l'affichage des couples en mode split-view.

Après avoir réalisé l'aérottriangulation, on procède au dernier contrôle pour vérifier la réussite de l'apparition d'un modèle stéréoscopique, c'est-à-dire l'élimination du parallaxe en y .Pour cela, on visualise notre modèle en utilisant soit une lunette anaglyphe ou polarisée.

En utilisant cette visualisation stéréoscopique, nous pointons les détails que nous avons déterminés comme des points de contrôle. Nous vérifions alors que les coordonnées terrain de ces points de contrôle présentent des différences de l'ordre d'un mètre en planimétrie et de l'ordre de 40 cm en altimétrie .

8.1 Analyse des différents essais d'aérottriangulation et leurs résultats

Cas 1 :

Lors de la première tentative d'aérottriangulation, avec 9 points, le résultat obtenu était un RMSE de 14,05 pixels.

Cas 2 : La configuration minimale

Cette fois-ci, nous utilisons le nombre minimum de points de calage pour calculer l'aérottriangulation, soit 5 points. Parmi ces points, 4 sont situés aux extrémités de la bande et 1 point se trouve au milieu.

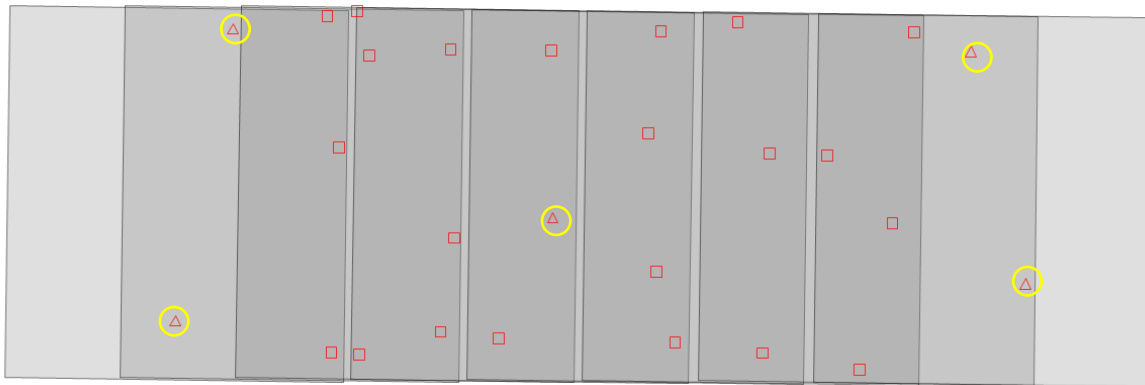


Figure 29 : Répartition des points de contrôle pour une configuration minimale

Cas 3 :

Dans le troisième cas de calcul de l'aérotriangulation, nous utilisons 9 points de contrôle.

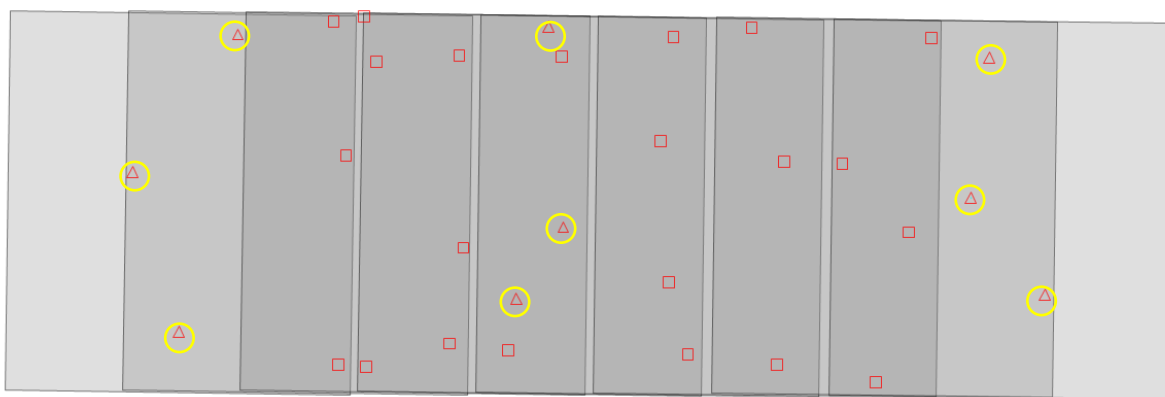


Figure 30 : Répartition des points de contrôle dans le 3ème cas

Cas 4 :

Pour cet essai de calcul de l'aérotriangulation, nous avons inclus 9 points de contrôle, dont l'un d'eux est un point de vérification. De plus, nous avons modifié la fonction du point B03-02-00 pour en faire un point de contrôle horizontal.

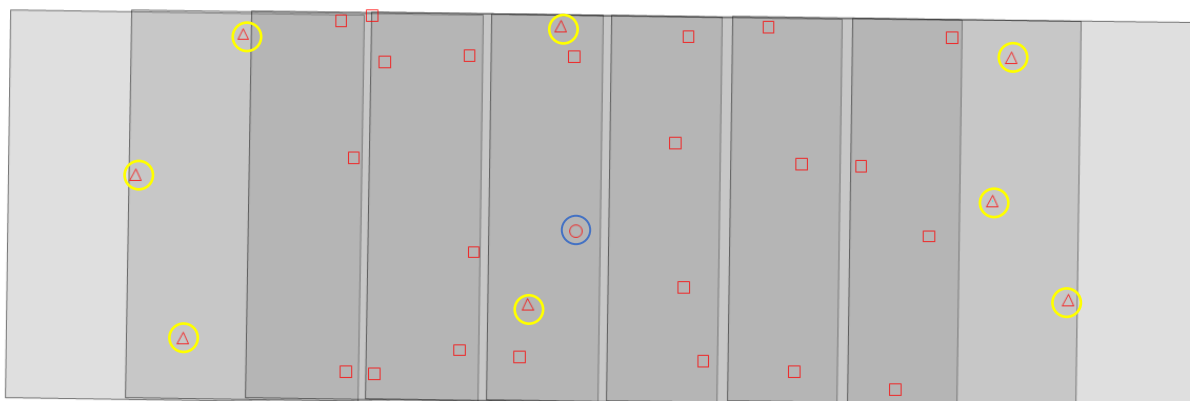


Figure 31 : Répartition des points de contrôle dans le 4ème cas

Dans ce tableau, nous avons regroupé les résultats des différents cas d'essais d'aérotriangulation. Les colonnes représentent les critères évalués, à savoir la RMSE (Racine Carrée de l'Erreur Moyenne).

Cas	RMSE (pixel)
1	14.0507
2	0.3718
3	0.4867
4	0.4924

Tableau 3 : Résultats des différents cas d'essais d'aérotriangulation

Analyse et explication :

Lors de la première tentative d'aérotriangulation, le résultat obtenu était un RMSE de 14,05 pixels, Cela était dû à une mauvaise sélection d'un point nommé B03-02-00, ce qui nous a conduit à le remplacer par un autre point provenant de notre mission GNSS effectuée dans la même zone nommé B03-02-00(le 2ème point).

Suite au changement du point, le résultat de l'erreur quadratique moyenne (RMSE) pour les trois derniers cas est relativement faible, se situant en dessous de la tolérance.

Cas 2 : Dans ce cas, nous observons le plus faible RMSE (Root Mean Square Error), mais il est important de noter que juger la qualité de l'aérotriangulation uniquement en se basant sur le RMSE peut être insuffisant. Dans ce cas spécifique, il y a la présence d'une parallaxe lors de l'affichage des paires d'images en mode split-view.

Cas 3 : Dans cette situation, nous avons essayé d'utiliser tous les points de contrôle disponibles, c'est-à-dire les 9 points. Le résultat obtenu présente un RMSE relativement faible, mais il reste insuffisant en raison de l'absence d'un point de vérification et de la présence d'une parallaxe au niveau du point B03-02-00.

Cas 4 : Cet essai a été réalisé pour résoudre les problèmes mentionnés précédemment. Nous avons pris la décision de sélectionner le point de contrôle le plus fiable, B03-05-00, pour le transformer en point de vérification. En outre, nous avons modifié la fonction du point B03-02-00 (problème de présence de parallaxe) pour en faire un point de contrôle horizontal. De plus, le RMSE présente une valeur relativement faible.

→ Ces résultats confirment que ce cas dernier constitue le choix optimal pour le calcul de l'aérotriangulation et sert de base pour les opérations suivantes, telles que la génération du MNT et de l'Orthophoto.

Chapitre 5 : RESTITUTION

Après l'étape d'aérotriangulation, nous avons obtenu les 6 paramètres de l'orientation externe qui nous ont permis de visualiser notre zone d'étude en mode stéréoscopique en utilisant des lunettes anaglyphes ou polarisées. L'objectif de la restitution photogrammétrique est de réaliser une représentation tridimensionnelle détaillée de la zone de recouvrement, conduisant ainsi à la création d'une stéréo-minute en utilisant des techniques de dessin assisté par ordinateur.

15. Echelle du plan

Tous les groupes seront sensés de fournir un plan de restitution à l'échelle de 1/10 000.

Nous avons déjà expliqué les raisons avec lesquelles nous avons adapté cette échelle lors de la partie de la planification.

16. Les critères de restitution :

Lors de la restitution, nous n'allons pas restituer n'importe quel détail que nous pouvons distinguer. Ce choix est lié à plusieurs critères cartographiques tels que la précision et l'échelle de notre stéréominute.

Nous avons déjà calculé dans la partie de la planification l'erreur sur papier, qui est égale à 2 mètres. Pour cette raison, nous n'allons restituer que les détails qui ont une épaisseur supérieure à 2 mètres.

17. Equipements et logiciels utilisés

Afin d'effectuer notre restitution nous disposons de :

- Bloc des photographies déjà orienté (orientation interne et externe) à partir de LPS.
- Microstation pour le tracé de détails et au niveau duquel nous utilisons une table de dessin qui contient l'ensemble des éléments et couches de type de détails à utiliser.
- PRO 600 comme interface de visualisation associé à microstation.
- Des lunettes de vision stéréoscopique (anaglyphe ou polarisés).

18. Création du projet

Le projet est en format dgn.

On a besoin pour la création d'un projet, la définition du couple de restitution ainsi que la bibliothèque des cellules, et le fichier prototype.

Le projet est en format dgn.

- **Les deux librairies des éléments et des cellules à utiliser dans le projet (PRO600 LIBRARY et Cell Library) :**
- **La fonctionnalité qui permet d'importer le fichier prototype 3D (DGN SEEF FILE)** qui sera une base d'information.

Finalement on sauvegarde le projet et on l'ouvre via L'extension LPS PRO600.t de paramètres pour le projet.

19. Démarche suivie

Grâce à l'extension PRO600 de MicroStation, nous avons la possibilité de restituer les détails sur un environnement stéréoscopique de LPS et de projeter ces détails sur un fond 3D de MicroStation.

Nous avons un fichier prototype et une bibliothèque de cellules à l'échelle 1/1000. Nous allons passer d'une échelle de 1/1000 à 1/10000, et les groupes de la classe se mettent d'accord concernant les cellules et les symboles que nous allons adopter dans notre restitution. Cela permettra d'éviter tout problème lors de l'assemblage des restitutions.

Tout d'abord, nous allons manipuler l'élévation en fonction du parallaxe en x pour les bâtiments. Nous allons restituer les toits des bâtiments en ajustant la position du curseur à chaque fois. Nous devons corriger le parallaxe pour bien représenter la réalité du terrain.

Pour vérifier si nous pouvons restituer un détail, nous pouvons utiliser l'outil de mesure de MicroStation pour vérifier si son épaisseur dépasse 2 mètres.

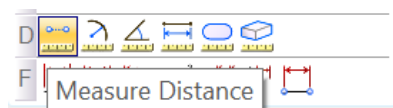


Figure 32: outil mesurer la distance dans microstation.

1.9. Restitution des détails

Nous étions sensés de restituer la partie inférieure de la zone de recouvrement du couple stéréoscopique (Khmisset_(23_GSD40_15)_03-07, Khmisset_(23_GSD40_15)_03-08) qui se présente comme suit :



Figure 33 : notre zone de restitution.

Pour l'ordre de dessin, nous allons restituer selon l'approche suivante :

1.1.1. En planimétrie ;

Le dessin des détails planimétriques en suivant l'ordre :

- Routes, pistes et voies de communication.
- Chemins et pistes de la moindre importance.
- Constructions, bâtiments.
- Hydrographie.
- Végétation.

2.1.1. En altimétrie ;

Le dessin des détails altimétriques en pointant les points cotés caractérisant les détails suivants :

- L'axe des routes et des pistes.
- Les intersections des chemins et des pistes.
- Les points et les lignes caractéristiques.
- Les variations marquées d'altitudes.
- Les zones dégagées.

→ Le dessin consiste à effectuer le tracé des détails planimétriques en gérant les déplacements en X, Y par les mouvements horizontaux et verticaux de la souris sur son support, et les déplacements en Z par la roulette. En combinant ces deux mouvements et à l'aide de la vision 3D nous avons essayé de retracer les contours des détails figurant dans la zone tout en corrigeant les parallaxes en X (souris) et en Z (roulette).

20. Edition du plan et habillage :

Cette étape consiste à agir sur le côté visuel de notre stéréo-minute afin de produire un plan présentable et lisible.

L'édition du plan consiste à corriger les irrégularités du dessin, ajouter des hachures, organiser les calques ...

L'habillage a pour but de produire un résultat compréhensible en ajoutant les éléments suivants :

- Titre
- Echelle
- Légende
- Grille de coordonnées
- Flèche du nord
- Eléments de la projection
- Auteur.

Pour notre groupe, nous avons préféré travailler l'habillage de notre stéréominute sur le logiciel AutoCAD. Pour cela, nous avons exporté notre fichier DGN au format DXF, qui est un format d'échange lisible sur AutoCAD.

Par la suite, nous avons enregistré notre carte au format DWG.

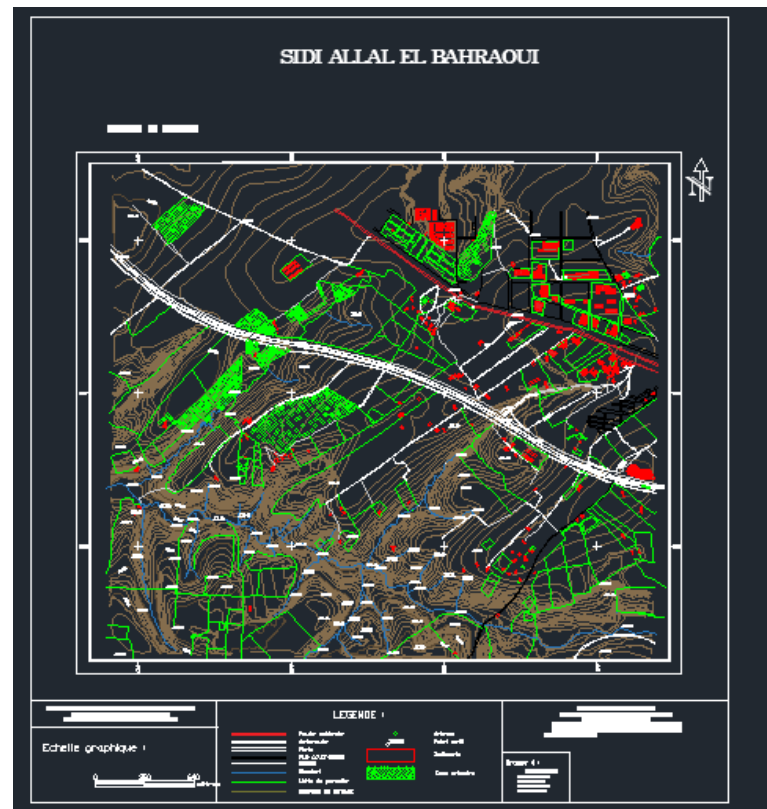


Figure 34: notre carte sur Autocad.

[illegible]

Figure 35: la carte finale à l'échelle 1/10 000.

Chapitre 6 : L'orthophoto

21. Introduction

L'élaboration d'une orthophoto est une étape essentielle dans la production de produits cartographiques précis et géoréférencés. Cet outil cartographique est conçu pour représenter une image aérienne ou satellitaire corrigée géométriquement, éliminant ainsi les distorsions causées par l'inclinaison du terrain et la perspective de la caméra. Grâce à cette correction, l'orthophoto obtient une précision géométrique élevée, permettant d'obtenir une représentation visuellement réaliste et à l'échelle de la zone d'intérêt étudiée.

Cette image géoréférencée constitue une base solide pour de nombreuses applications telles que des analyses topographiques, des études d'impact environnemental, des simulations d'urbanisme et bien d'autres utilisations. Tout au long de ce rapport, nous allons détailler les différentes étapes du processus d'élaboration de l'orthophoto, ainsi que les outils et techniques utilisés pour parvenir à des résultats de haute qualité. En comprenant ces processus, nous serons en mesure de mieux appréhender les avantages et les applications de l'orthophoto dans le domaine cartographique et géospatial.

L'élaboration d'une orthophoto de qualité est une tâche complexe qui requiert une étape préliminaire essentielle : la réalisation du Modèle Numérique de Terrain (MNT)

22. Génération de MNT

Le Modèle Numérique de Terrain (MNT) est une représentation numérique en trois dimensions de la surface terrestre. Il fournit des informations précises sur l'élévation du terrain à différents emplacements, exprimées sous forme de valeurs numériques.

Les données et matériels utilisés

Bande 3, couple 7-8 déjà orienté.

Logiciels : LPS 2011.

lunette anaglyphe et polarisée

Méthodologie

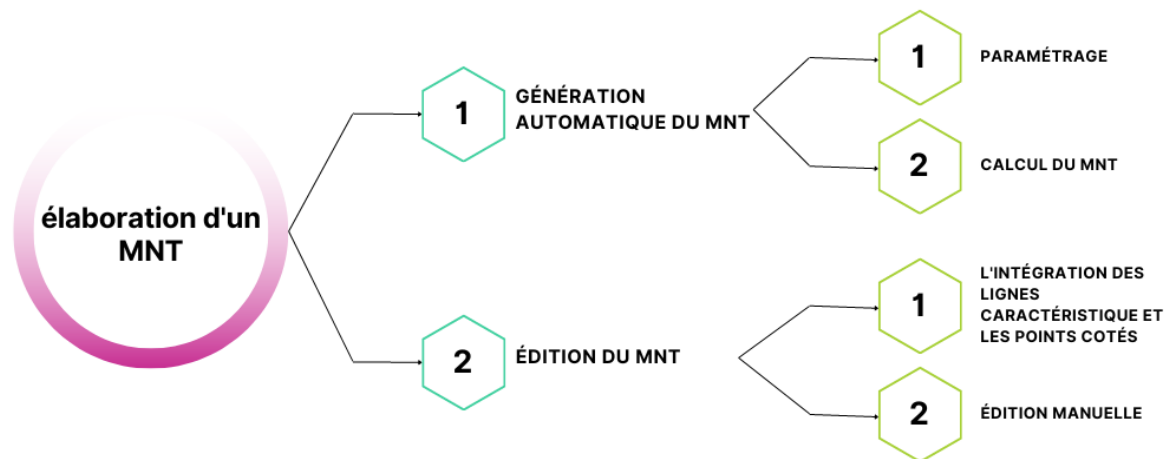


Figure 36 : la méthodologie suivie pour élaborer l'orthophoto

23. La Génération automatique du MNT

1.10. Paramétrage

-Le pas choisi : Nous avons sélectionné un pas de 10 pour deux raisons essentielles :

Présence de zones accidentées : Notre terrain comporte principalement des zones accidentées, avec la présence d'une ravine. Un pas de 10 nous permet de mieux représenter ces variations d'altitude, notamment les talus et autres détails du relief.

Bon compromis précision/efficacité : Le pas de 10 nous offre une résolution suffisante pour obtenir un Modèle Numérique de Terrain (MNT) de qualité sans compromettre l'efficacité du traitement.

-Stratégie adoptée : Pour la détermination des points homologues sur les deux images et la génération du MNT, nous avons choisi une stratégie basée sur la corrélation d'images. Cette méthode utilise un algorithme qui évalue la similitude entre une fenêtre de référence centrée sur un pixel spécifique et une fenêtre de recherche balayant les alentours. Le processus s'arrête lorsque le "coefficient de corrélation" atteint un maximum, indiquant la meilleure correspondance entre les fenêtres.

-Format du MNT choisi : Nous avons opté pour le format Terramodel TIN basé sur la triangulation de Delaunay. Ce format offre une représentation optimale du relief, avec une structure triangulée homogène, garantissant une meilleure représentation des points d'altitude.

1.11. Calcul de MNT

Le résultat de la génération automatique du MNT



Figure 37 : le résultat de MNT générer automatiquement

1.12. Edition du MNT :

L'édition du MNT consiste à rectifier les erreurs et les imperfections afin d'obtenir un modèle numérique de terrain précis et cohérent. Deux modes de correction sont utilisés : le mode automatique et le mode manuel.

3.1.1. Mode automatique par l'intégration des lignes caractéristiques et les points cotés

Dans cette phase du projet, nous avons cherché à corriger et améliorer notre Modèle Numérique de Terrain (MNT) pour mieux refléter la réalité du terrain. Pour ce faire, nous avons ajouté nos données de restitution, incluant les routes et les seguias, directement dans le modèle. Cette démarche nous a permis de densifier ces zones clés du terrain, réduisant ainsi le besoin d'ajustements manuels.

Nous avons intégré ces données de restitution en ouvrant le fichier correspondant dans ArcGIS et en exportant les couches des seguias et des routes au format shapefile. Ensuite, nous avons

ajouté ces shapefiles à notre MNT via le menu "Terrain files and display" en utilisant l'outil "DTM editing."

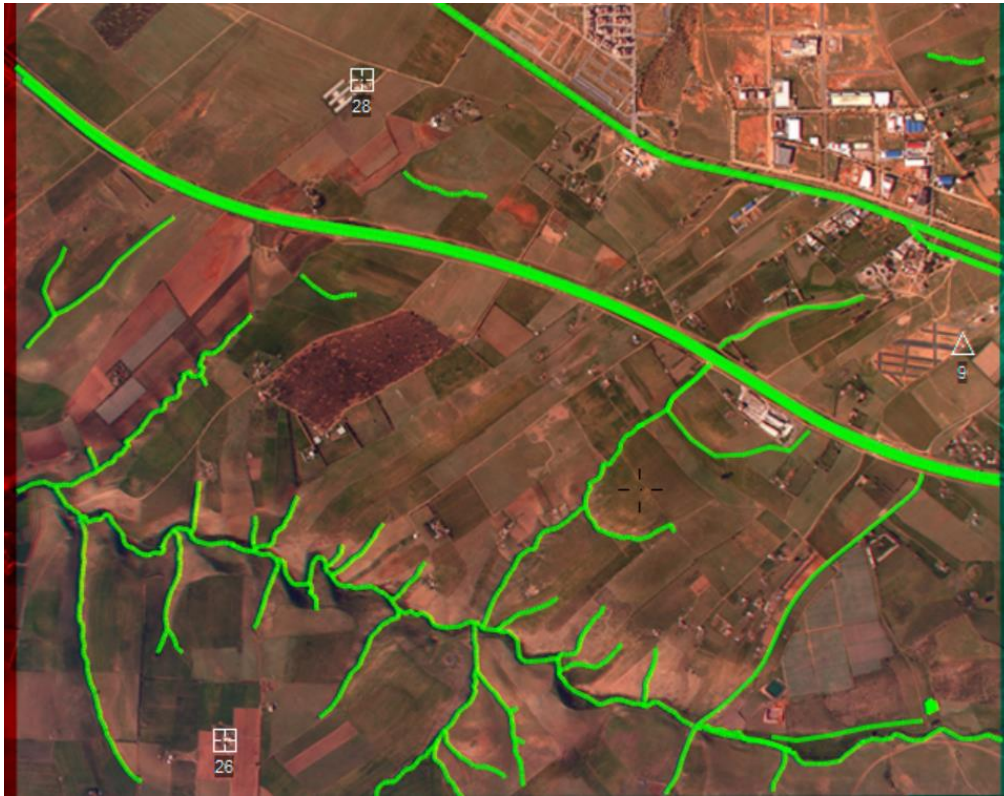


Figure 38 : l'ajout des données de restitution

4.1.1. Mode manuel :

Dans la phase de correction manuelle du MNT, nous avons opté pour une approche plus interventionniste, offrant un contrôle précis sur les ajustements effectués. Notre objectif principal était d'améliorer la représentation du terrain en réalisant des corrections zonales pour remettre les zones plates à leur altitude correcte. De plus, nous avons pris en compte les points aberrants, en effectuant des corrections linéaires grâce à des outils tels que "Soft Line" et "Hard Line".

Ce processus de correction manuelle nous a permis de garantir la précision et l'exactitude de notre MNT, en harmonisant les triangles qui apparaissaient initialement "dans l'air" à la même hauteur que les bâtiments et les arbres. En visualisant notre MNT en 3D avec des lunettes anaglyphe, nous avons identifié ces triangles et avons procédé à leur correction pour les ramener au niveau du sol.

Nous avons constaté que les bâtiments et les arbres représentent ou il y a plus de rectification

5.1.1. Rectification zonale :

Notre objectif est de corriger les altitudes calculées au niveau des surfaces en les ajustant à leurs valeurs réelles sur le terrain. Pour ce faire, nous nous concentrons particulièrement sur les détails des bâtiments.

Pour corriger notre MNT en prenant en compte les détails des bâtiments, nous commençons par sélectionner le bloc à corriger à l'aide de l'outil Area Select Tool. Cette sélection nous permet de cibler spécifiquement les zones où les altitudes doivent être ajustées pour refléter avec précision la réalité du terrain, notamment les hauteurs des bâtiments.



Figure 39 : Edition du MNT au niveau des bâtiments

6.1.1. Rectification des routes

Dans cette étape, nous utilisons l'outil Breakline pour dessiner une ligne continue le long de la route. Ensuite, nous densifions cette ligne en ajoutant des sommets de triangle à intervalles réguliers, respectant un pas de 5 mètres dans notre cas.

L'utilisation de l'outil Breakline nous permet de créer une représentation plus précise et détaillée de la route dans notre Modèle Numérique de Terrain (MNT). En densifiant la ligne avec des sommets de triangle à intervalles réguliers, nous améliorons la précision et la représentation du relief le long de la route.

En supprimant les points adjacents sur une distance de 5 mètres de part et d'autre de la ligne, nous éliminons les éventuelles erreurs ou incohérences dues à des points indésirables qui pourraient interférer avec la représentation fidèle de la route.



Figure 40 : l'ajout de breaklines

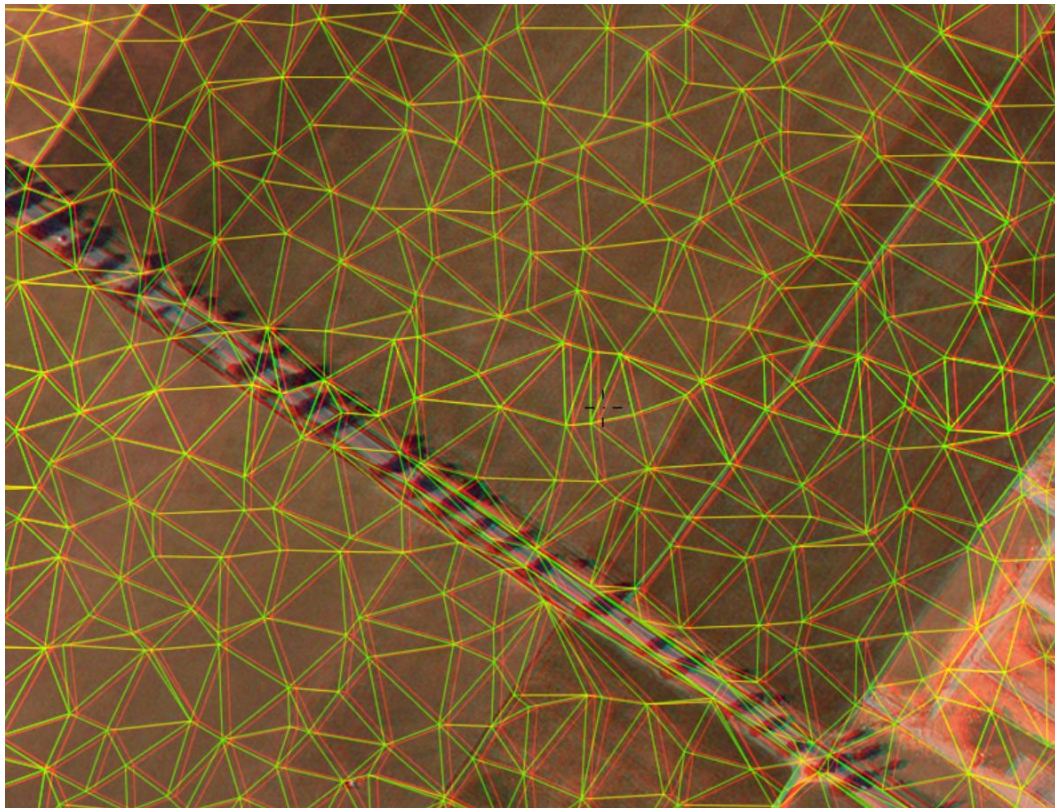


Figure 41 : Résultat d'ajout de breaklines

7.1.1. Densification du réseau

Dans cette étape, nous avons rajoutés des points dans les zones que nous avons jugés moins densifiées en utilisant l'outil Point Tool

8.1.1. Contrôle du MNT :

Pour évaluer la qualité de notre Modèle Numérique de Terrain (MNT), nous effectuons l'affichage des courbes de niveaux à une équidistance de 2 mètres. Cette étape nous permet d'observer l'allure et la représentation des différentes courbes générées par le MNT.

Lors de cette analyse, nous avons remarqué l'apparition de petits contours dans certaines zones. Ces petits contours indiquent la présence de fausses altitudes dans ces points spécifiques du MNT. Nous nous concentrerons sur ces zones afin de corriger ces incohérences et d'améliorer la précision de notre modèle.

La détection de ces fausses altitudes souligne l'importance du contrôle qualité dans notre processus de cartographie aérienne. En identifiant ces anomalies, nous pouvons prendre les mesures nécessaires pour effectuer des corrections appropriées et garantir une représentation plus fidèle du terrain réel.

En corrigeant ces points avec des altitudes incorrectes, nous nous assurerons que notre MNT reflète au mieux la réalité du terrain, ce qui est essentiel pour nos analyses topographiques et pour assurer la fiabilité de nos données cartographiques.

Les contraintes rencontrées

Nous faisons face à plusieurs contraintes dans notre projet de génération et d'édition du Modèle Numérique de Terrain (MNT) :

Contraintes liée à la nature de terrain : Notre zone d'étude présente un terrain très accidenté, avec des variations importantes d'altitude. La complexité topographique représente un défi majeur lors de la génération du MNT, nécessitant des techniques d'interpolation et de correction plus avancées pour représenter avec précision ces détails topographiques.

Contraintes matérielles : L'édition du MNT se réalise à l'aide de lunettes anaglyphes, qui introduisent des limitations dans notre perception 3D. Bien que ces lunettes permettent une visualisation en relief, elles peuvent restreindre la perception de certains détails. Nous devons donc faire preuve d'une vigilance accrue pour assurer la fidélité de la représentation du relief malgré ces contraintes visuelles. Ainsi que notre PC portable n'est pas suffisamment puissant pour manipuler de grands ensembles de données géospatiales avec une fluidité optimale. Cette limitation matérielle peut entraîner des ralentissements lors de l'édition et de la visualisation du MNT. Pour pallier cette contrainte, nous devons adopter des stratégies d'optimisation du workflow et gérer efficacement les données pour maintenir la qualité et la précision du MNT malgré ces limitations matérielles.

Après correction du MNT, on passe à l'établissement de l'orthophoto-plan.

1.13. Génération d'Orthophoto :

Pour générer les orthophotos, notre processus impliquait de superposer l'MNT corrigé de chaque paire d'images avec l'une des deux images du pair de photos correspondantes. Cette étape de superposition est importante pour aligner correctement les données géoréférencées. Nous avons pris soin de choisir la méthode de rééchantillonnage "bilinéaire" pour ce processus. Cette méthode a été préférée car elle permet de conserver la valeur radiométrique du pixel en question lors de la mise à l'échelle de l'image. En d'autres termes, la méthode bilinéaire préserve les caractéristiques radiométriques de l'image d'origine, assurant ainsi une fidélité des couleurs et des nuances dans les orthophotos finales.

L'orthophoto se base sur notre **MNT calculé est corrigé** et **l'image de la zone de recouvrement**



Figure 10 : orthophoto de l'image B03_08

1.14. Ortho-photoplan :

Nous avons réussi à produire un orthophotoplan, également appelé orthophoto habillée, en utilisant ArcGIS. Cette orthophoto intègre des informations cartographiques essentielles pour faciliter son utilisation et sa compréhension. Les éléments cartographiques ajoutés incluent :

- **Titre :** Un titre approprié a été attribué à l'orthophotoplan pour identifier clairement son contenu et son contexte.
- **Nord géographique :** Nous avons indiqué la direction du nord géographique sur l'orthophoto pour aider à l'orientation spatiale et à la compréhension de la direction.

- **Échelle** : L'échelle a été précisément indiquée pour donner une idée de la relation entre les distances sur l'orthophoto et les distances réelles sur le terrain.
- **Grille** : Une grille a été superposée sur l'orthophoto pour faciliter la localisation précise des points d'intérêt et pour aider à mesurer les distances.
- **Projection** : Nous avons utilisé une projection conique conforme de Lambert pour assurer une représentation précise des distances et des angles sur l'orthophoto.
- **Auteur** : L'auteur responsable de la création de l'orthophoto a été spécifié pour attribuer la responsabilité de l'œuvre.

Nous avons produit cette orthophoto habillée à deux échelles différentes : 1/7 500 et 1/10 000. Ces deux échelles offrent une vision détaillée de la zone étudiée, adaptée aux besoins spécifiques des analyses topographiques.



Orthophoto-plan à l'ECHELLE 1/7500



GROUPE 04:
-El Mansour Byass
-Guemoune Aasiya
-Madich Bader
-Mustari Wijdane
-Oudaha Hatim

Ellipsoïde Clarke 1880
Projection conique conforme de Lambert zone I

0.7 0.35 0 0.7 Kilomètres

Figure 11 : ortho photoplan à échelle 1/7500

CONCLUSION

À la fin de ce stage, nous avons réussi à établir une stéréo-minute grâce à la restitution photogrammétrique, le MNT et à l'Orthophotoplan. Bien que nous ayons rencontré plusieurs contraintes, notamment lors de la phase d'aéro-triangulation, celles-ci nous ont incités à approfondir nos recherches et à formuler des hypothèses pour résoudre les problèmes rencontrés. Cette phase nous a également permis d'apprendre à travailler en groupe.

En conclusion, la photogrammétrie est indéniablement un outil puissant pour produire des plans numériques à différentes échelles. Cependant, il est important de continuer à corriger et à développer nos compétences dans ce domaine. Nous devons rester ouverts à l'amélioration continue et à l'exploration de nouvelles méthodes pour obtenir des résultats encore plus précis et efficaces.