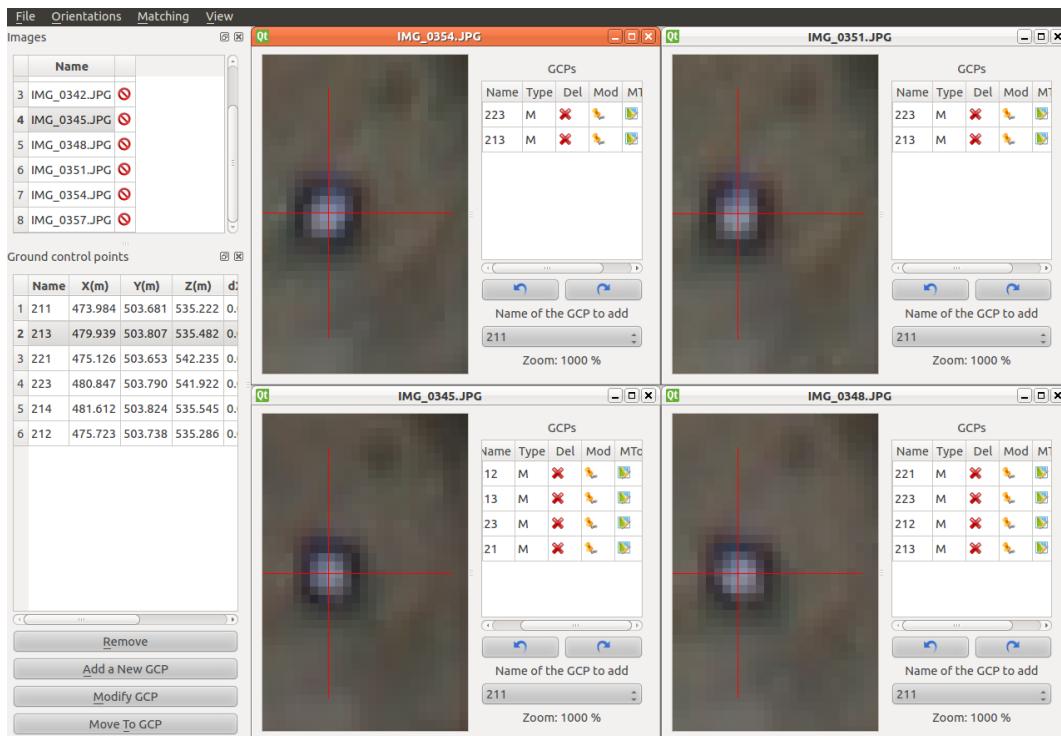


Rapport de Projet : Stage Pluridisciplinaire

Cycle : IT2

Création d'une Interface pour le Positionnement Automatique des Points d'Appui



Clément FONTAINE

le 11 Septembre 2012

Non confidentiel Confidential IGN Confidential Industrie jusqu'au

ECOLE NATIONALE DES SCIENCES GEOGRAPHIQUES

6 et 8 avenue Blaise Pascal - Cité Descartes - Champs sur Marne - 77455 MARNE-LA-VALLÉE CEDEX 2
Téléphone 01 64 15 31 00 Télécopie 01 64 15 31 07

ECOLE NATIONALE DES SCIENCES GEOGRAPHIQUES
6 et 8 avenue Blaise Pascal - Cité Descartes - Champs sur Marne - 77455 MARNE-LA-VALLÉE CEDEX 2
Téléphone 01 64 15 31 00 Télécopie 01 64 15 31 07

Jury

Président du jury

Olivier DISSARD, directeur des études

Commanditaire :

Fabio REMONDINO,
Fondazione Bruno Kessler/3DOM

Via Sommarive, 18, Trento, Italie

Encadrement de stage :

Fabio REMONDINO, maître de stage
Marc Pierrot-Deseilligny, ENSG/IGN, rapporteur principal
Francesco Nex, 3DOM

Responsable pédagogique du cycle Ingénieur :

Tuteur du stage pluridisciplinaire : Patricia PARISI, DE/DFI

© ENSG

Stage du 11 juin au 24 août

Diffusion Web : Internet Intranet ENSG

Situation du document :

Rapport de stage pluridisciplinaire présenté en fin de 2^{ème} année du cycle des Ingénieurs

Nombre de pages : 53 dont 3 d'annexes

Système hôte : Word 2007

Remerciements

Je remercie mes encadrants Fabio et Francesco de m'avoir soutenu tout au long de ce stage et offert l'opportunité de participer au CATCON 2012, Marc et Isabelle pour toutes les questions techniques (nombreuses!), ainsi que tout le laboratoire 3DOM pour son accueil.

Résumé

La suite de traitement photogrammétrique Pastis/Apero/MicMac développée par Marc Pierrot Deseilligny, permet de réaliser un certain nombre de traitements photogrammétiques mais il est possible d'automatiser certaines phases. L'objet de ce rapport est le développement d'un outil permettant un positionnement automatique des points d'appui. L'interface développée permet de positionner les points d'appuis à partir d'un géoréférencement approximatif du chantier obtenu dans une première phase de calcul, des mesures terrain de points d'appuis et de quelques mesures manuelles sur les images. La position des points d'appuis est calculée en deux temps: dans un premier temps, les points d'appui sont placés approximativement sur les images sur lesquelles ils sont visibles à l'aide des orientations absolues approximatives. Les problèmes de visibilité sont gérés à partir d'un nuage de points SIFT généré en même temps que le géoréférencement approximatif. Dans un second temps, la position des points d'appui est améliorée par corrélation, à partir de l'image de référence sur laquelle le point à ajouter a été positionné par l'utilisateur.

Afin de lancer ce processus de positionnement des points d'appui, il a été développé plusieurs interfaces permettant l'extraction automatique des points de liaisons, basé sur l'outil TAPIOCA et la génération des orientations relatives et absolues, basée sur APERO. Enfin, il a été développé une interface pour générer un nuage dense de points 3D par corrélation, basé sur l'outil MicMac.

Abstract

With the photogrammetric software Pastis/Apero/MicMac developed by Marc Pierrot-Desilligny many photogrammetric process are realised. Nevertheless, it is possible to automate some part of the treatment. The purpose of this report is the development of a tool used to locate ground control points automatically. Approximative absolute orientations obtained in a first process, ground measurements and some images measurements of ground control points are used to locate the new ground control points. The localization of these points is processed in two steps: firstly ground control points are approximatively added on the pictures on which they are visible, using approximatives absolute orientations. The visibility is checked with a 3D point cloud computed at the same time than approximative orientations. Secondly position of groung control points is improved with correlation, using reference images on which points had been firstly added by user.

In order to run this process, several interfaces had been developped. Tie points are computed using the tool TAPIOCA and orientations using the tool APERO. Finally an interface for dense stereo matching whith the tool micmac was developped.

Table des matières

<u>INTRODUCTION</u>	13
<u>ETAT DE L'ART ET ANALYSE DE L'OUTIL</u>	14
1. ETAT DE L'ART	14
1.1. LE POSITIONNEMENT AUTOMATIQUE DES POINTS D'APPUI DANS LES LOGICIELS COMMERCIAUX	14
1.2. PRESENTATION DE LA SUITE PASTIS/APERO/MICMAC ET DE L'INTERFACE DEVELOPPEE PAR ISABELLE CLERY	14
2. ANALYSE DE L'OUTIL	15
2.1. FONCTIONNALITES	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.
2.2. DESCRIPTION DES DONNEES	19
2.3. PRESENTATION DES LIBRAIRIES UTILISEES	23
<u>LE PROCESSUS DE POSITIONNEMENT DES POINTS D'APPUI</u>	24
1. PRESENTATION DES ETAPES DU PROCESSUS	24
2. GEOREFERENCEMENT APPROXIMATIF	26
3. PREMIERE LOCALISATION	26
3.1. PROJECTION DES POINTS D'APPUIS	26
3.2. TEST DE VISIBILITE ET GESTION DES OCCLUSIONS	28
4. CORRELATION ET AMELIORATION DU RESULTAT DE LA PREMIERE LOCALISATION	30
4.1. APPLICATION DU FILTRE DE WALLIS	30
4.2. SELECTION ET CHARGEMENT DES VIGNETTES DE REFERENCE	31
4.3. SELECTION DE LA ZONE DE RECHERCHE ET DE L'IMAGE DE REFERENCE	31
4.4. CORRELATION	33
<u>PRESENTATION DU PRODUIT REALISE</u>	36
1. INTERFACE GENERALE	36
2. GENERATION DES POINTS DE LIAISON	38
3. CALCUL DES ORIENTATIONS RELATIVES ET DE LA CALIBRATION	39
4. GENERATION DU FICHIER DE PARAMETRES POUR L'ORIENTATION ABSOLUE	41
5. INTERFACE DE VISUALISATION ET D'EDITION DES POINTS D'APPUI	42

6. INTERFACE DE POSITIONNEMENT AUTOMATIQUE	44
7. GENERATION DU NUAGE DENSE 3D	47
8. VISUALISATION DU NUAGE 3D	48
9. STATISTIQUES	49
<u>CONCLUSION</u>	<u>50</u>

Liste des figures

Figure 1 - Processus Général - Etapes 1 et 2	16
Figure 2 - Processus Général - Etapes 3 et 4	17
Figure 3 - Extrait d'un fichier Dico-Appuis	20
Figure 4 - Extrait d'un fichier Mesure-Appuis	20
Figure 5 - Table PAim	21
Figure 6 - Table PAterr	21
Figure 7 - Processus de positionnement automatique des points d'appui	25
Figure 8 - Projection d'un point terrain sur une image avec et sans distorsion	27
Figure 9 - Recherche d'occlusion entre le point d'appui et la caméra	28
Figure 10 - Application du test de visibilité en photogrammétrie terrestre	29
Figure 11 - Application du filtre de Wallis	31
Figure 12 - Projection de la vignette de référence dans la deuxième image, sans variation de profondeur	32
Figure 13 - Projection de la vignette de référence dans la deuxième image, avec variation de profondeur	33
Figure 14 - Emprise de la projection sur la seconde image	33
Figure 15 - Recherche de la meilleure position par corrélation	34
Figure 16 - Interface principale	36
Figure 17 - Interface de génération des points de liaison	38
Figure 18 - Interface de calcul des orientations relative et de la calibration	39
Figure 19 - Interface Caméra	40
Figure 20 - Interface de génération du fichier de paramètres pour l'orientation absolue	41
Figure 21 - Interface de visualisation et d'édition des points d'appui	42
Figure 22 - Interfaces en mosaique et exemple de MoveTo	43
Figure 23 - Sélection des orientations absolues approximatives	44
Figure 24 - Paramètres du test de visibilité	45
Figure 25 - Sélection des paramètres pour la corrélation	46
Figure 26 - Visualisation du nuage 3D	49

Liste des équations

Équation 1- Similitude à 7 paramètres	26
Équation 2 - Forme générale de l'équation de colinéarité.....	27
Équation 3 - Filtre de Wallis	30

Liste des annexes

Annexe 1 Format de fichier pour l'import de coordonnées terrain de points d'appui	53
Annexe 2 Commandes pour la visualisation du modèle 3D.....	Erreur ! Signet non défini.
Annexe 3 Annexes numériques	54

Glossaire et sigles utiles

Aérotriangulation	Détermination pour chaque photographie la position et l'orientation exactes de la caméra au moment de la prise de vue aérienne
SIFT	Scale-Invariant Feature Transform, algorithme utilisé pour détecter et identifier les éléments similaires entre différentes images
Tapas/Apero	Outils de la suite <i>Pastis/Apero/MicMac</i> utilisés pour calculer les orientations relative et absolue d'un chantier photogrammétrique
Tapioca/Pastis	Outils de la suite <i>Pastis/Apero/MicMac</i> utilisés pour générer les points de liaisons d'un chantier photogrammétrique à partir de l'extraction de points homologues par l'algorithme SIFT

INTRODUCTION

La suite photogrammétrique *Pastis/Apero/Micmac*, développée par Marc Pierrot-Deseilligny couvre toute la phase de traitement des données photogrammétriques, depuis la génération automatique de points de liaison jusqu'à l'obtention de modèles 3D et d'orthoimages. Elle se compose de nombreux programmes et outils lancés en lignes de commande et nécessitant des fichiers de paramétrage. Plusieurs interfaces ont déjà été réalisées, notamment celle développée par Isabelle Cléry, chercheur au MATIS, et permettent à un utilisateur novice en informatique de se concentrer sur le traitement photogrammétrique.

Cependant, certaines phases du traitement peuvent être semi-automatisées, comme par exemple la phase de mesure des points d'appui sur les images, qui peut être très fastidieuse quand un grand nombre de photographies est à traiter.

L'objectif de ce stage est donc d'offrir à l'utilisateur une interface permettant de faciliter ce processus en automatisant une partie du positionnement des points d'appui, à partir d'un géoréférencement approximatif du chantier qui pourra aussi être généré depuis cette interface.

Enfin, mon commanditaire M. Fabio Remondino a proposé de présenter ce travail au CATCON 2012, à Melbourne¹. Ainsi il m'a été demandé de développer en plus une petite interface pour *APERO* et *MicMac*.

¹ www.isprs2012.org

ETAT DE L'ART ET ANALYSE DE L'OUTIL

1. Etat de l'Art

1.1. Le positionnement automatique des points d'appui dans les logiciels commerciaux

Après discussion avec mon maître de stage, il apparaît qu'aucun outil ne permet le positionnement automatique des points d'appui dans les logiciels commerciaux. Celui-ci se fait manuellement.

1.2. Présentation de la suite Pastis/Apero/MicMac et de l'interface développée par Isabelle Cléry

La suite photogrammétrique développée par Marc Pierrot-Deseilligny se compose de nombreux outils et modules. Le module *PASTIS* permet la génération automatique de points de liaisons. La surcouche *TAPIOCA* permet de lancer ce premier module plus facilement, avec un nombre limité d'options mais qui fonctionne dans la plupart des cas. Le module *APERO* calcule les orientations relatives et absolues, et permet d'autocalibrer les caméras. La surcouche *TAPAS* calcule les orientations relatives et la calibration de manière simplifiée avec moins d'options disponibles. Comme la surcouche *TAPIOCA* elle fonctionne dans la plupart des cas. Enfin, les modules *MicMac* et *PORTO* permettent la génération d'un nuage dense de points obtenu par corrélation et la production d'orthophotos à l'aide de ce nuage de points 3D.

L'interface développée par Isabelle Cléry couvre déjà tous les outils de la suite. Elle permet d'utiliser les différents outils avec de nombreuses options. Cependant elle n'offre aucun mécanisme de positionnement automatique des points d'appui. L'objectif du logiciel à développer sera donc de couvrir cet aspect du géoréférencement. L'interface qui sera développée pour *TAPIOCA*, *APERO* et *MicMac* ne reprendra que les principales options, ce travail ayant déjà été réalisé auparavant.

2. Analyse de l'outil

2.1. Fonctionnalités

L'objectif du projet est de développer une interface permettant le positionnement semi-automatique des points d'appuis. Le schéma ci dessous présente le processus général permettant d'obtenir un chantier photogrammétrique géoréférencé depuis un lot d'images.

Les ellipses représentent les actions effectuées lors de ce processus et les rectangles indiquent les données en entrée ou en sortie de ces actions. Les données présentées dans des rectangles en pointillées ne sont pas obligatoires pour le déroulement du processus.

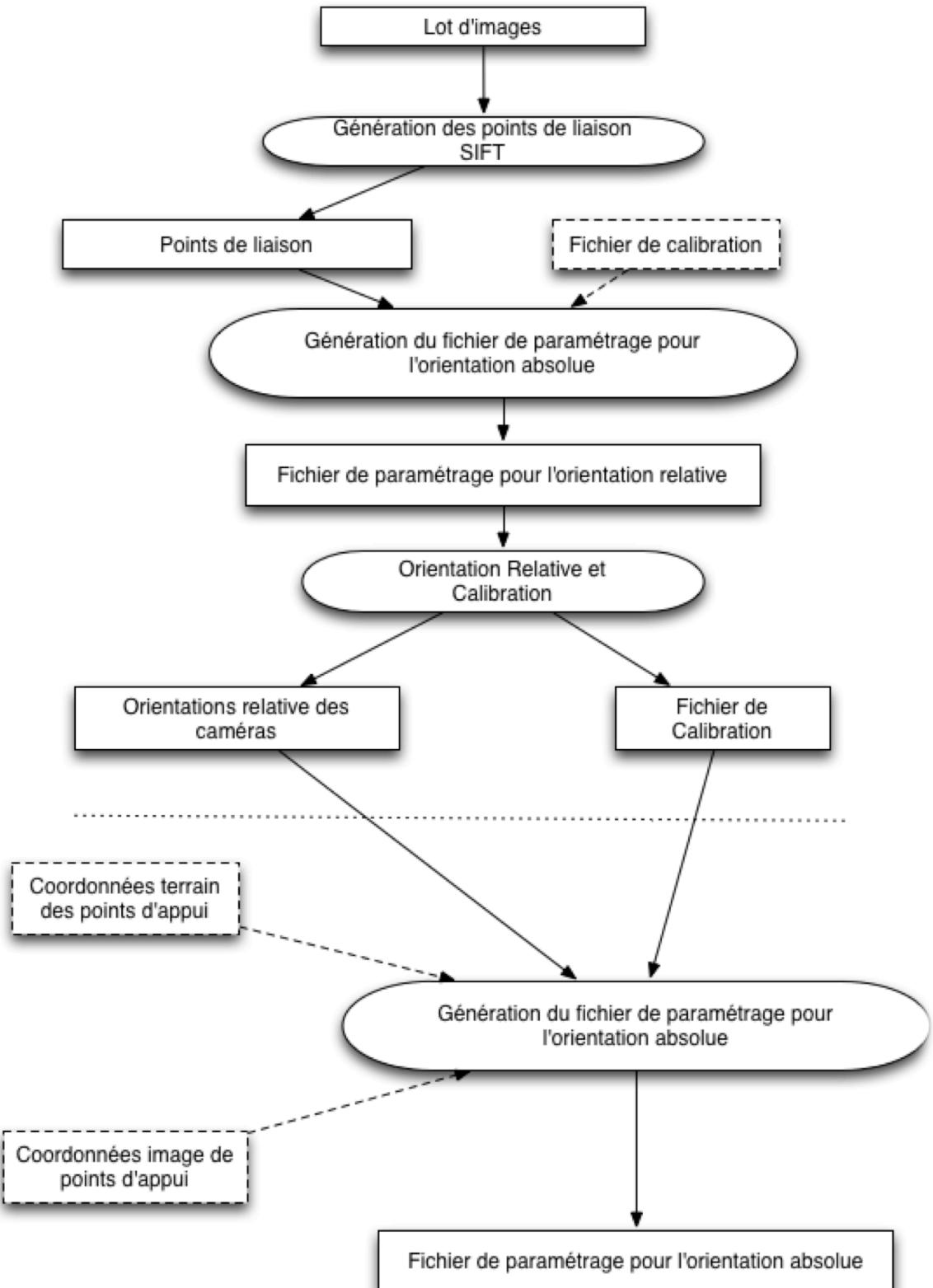


Figure 1 - Processus Général - Etapes 1 et 2

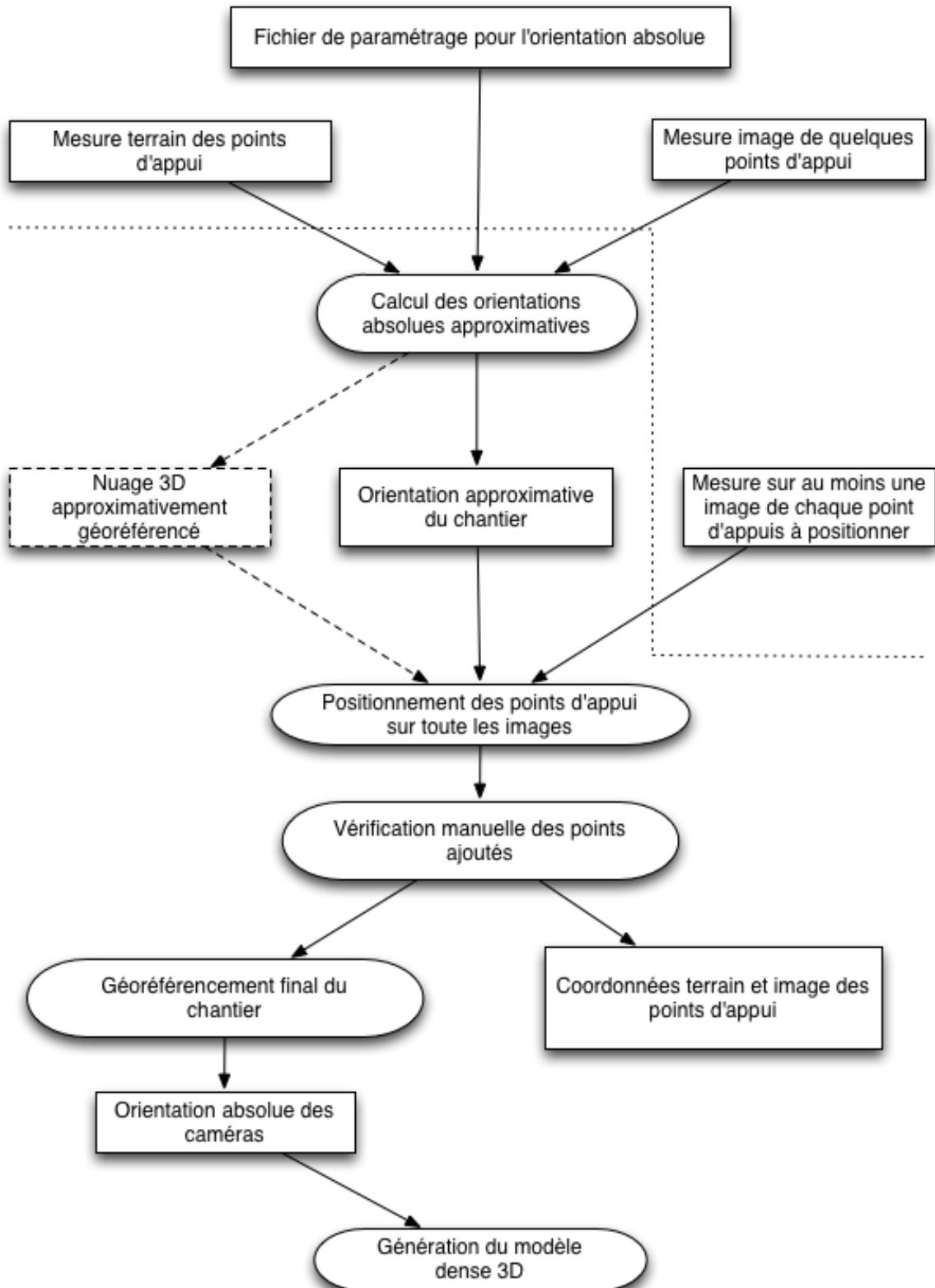


Figure 2 - Processus Général - Etapes 3 et 4

Ce processus général peut être divisé en 4 étapes:

- l'extraction des points homologues, et la génération des orientations relatives et de la calibration des caméras
- la génération du fichier de paramétrage *APERO* pour l'orientation absolue
- l'ajout et l'édition de points d'appui
- le positionnement automatique des points d'appui et le géoréférencement du chantier

Nous allons maintenant détailler chacune de ces différentes étapes

2.1.1. Points homologues, orientation relative et calibration

La première étape du traitement du chantier consiste en l'extraction automatique de points de liaisons. Celle-ci est réalisée à l'aide de l'algorithme SIFT (Lowe, 1999), qui détecte les points homologues entre deux images. Ces points sont ensuite associés en points multiples, décrivant le même point d'intérêt sur plusieurs images. Cette extraction est implémentée dans l'outil *TAPIOCA* de la chaîne *Pastis/Apero/Micmac*.

Ensuite l'orientation relative du chantier peut être calculée. En plus des points de liaison, il est possible d'ajouter des paramètres de calibration de la caméra en entrée du calcul. Ces paramètres peuvent être ajustés lors du calcul ou bien fixés. Cependant si aucune calibration de la caméra n'est disponible, une autocalibration est possible.

L'orientation relative du chantier est calculée avec l'outil *APERO*. Il génère les positions relatives des caméras ainsi qu'un fichier d'autocalibration qui seront utilisés dans la phase de géoréférencement absolu du chantier.

2.1.2. Génération du fichier de paramétrage d'*APERO* pour l'orientation absolue

Afin de pouvoir ajouter des points d'appui sur le chantier, la première étape consiste en la génération ou l'import d'un fichier de paramétrage *APERO* pour l'orientation absolue. Celui-ci nécessite de connaître au minimum les orientations relatives et la calibration des caméras. Des mesures terrains et images pourront être associées immédiatement si elles sont disponibles sous le format utilisé par *APERO*. La structure de ces différents fichiers est détaillée dans les sections 2.2.2 et 2.2.3. Si aucun fichier de ce type n'existe ils seront créés automatiquement lors de l'ajout de mesures terrain et image. De même que lors du calcul des orientations relatives, il sera possible de figer ou de libérer les paramètres de la calibration.

Une fois créé, le fichier de paramétrage est importé dans le projet.

2.1.3. Ajout et édition des points d'appui

Une fois le fichier de paramétrage d'Apero généré il est possible d'ajouter ou de modifier les points d'appui existants.

L'outil doit permettre l'affichage des coordonnées terrains des points d'appui sous la forme d'un tableau. Chacune de ces mesures doit pouvoir être modifiée ou supprimée. De plus l'utilisateur doit pouvoir ajouter manuellement des mesures terrains.

Une interface doit être dédiée à l'affichage des images ainsi qu'à la visualisation des points d'appuis présents sur ces images. L'utilisateur doit pouvoir zoomer et se déplacer dans l'image.

Enfin l'utilisateur doit pouvoir ajouter, modifier ou supprimer des mesures image et terrain des points d'appui dont les coordonnées terrain ont été indiquées préalablement.

2.1.4. Positionnement automatique

Le processus complet du positionnement des points d'appuis est présenté en détail dans le chapitre 2. Il est nécessaire de disposer d'une orientation absolue approximative et de mesures des points d'appui à ajouter sur au minimum une image.

L'orientation absolue approximative peut être importée ou bien générée si au moins 3 points d'appuis ont été ajoutés sur deux images (cf. Chapitre 2 - section 2).

Un nuage de points 3D approximativement géoréférencé au format *ply*, qui sera généré en même temps que l'orientation absolue pourra être utilisé lors du positionnement automatique des points d'appui. Il pourra de plus être visualisé dans le programme.

2.2. Description des données

Dans notre programme nous utiliserons principalement les fichiers de paramétrage *APERO* pour l'orientation absolue et relative, qui contiennent les informations liées au projet, les fichiers *Dico-Appuis* et *Mesure-Appuis* contenant respectivement les coordonnées terrain et image des points d'appui. Nous utiliserons de plus les fichiers d'orientation des caméras ainsi que le nuage de points 3D approximativement géoréférencé.

2.2.1. Points d'appui

2.2.1.1. Fichiers Dico-Appuis et Mesure-Appuis

Lors de la phase de géoréférencement, *APERO* utilise les points d'appuis spécifiés dans les fichiers xml *Dico-Appuis* et *Mesure-Appuis*.

Le fichier *Dico-Appuis* contient les mesures terrains des points d'appuis alors que le fichier *Mesure-Appuis* contient les mesures image de ces points.

```
<?xml version="1.0"?>
<Global>
    <DicoAppuisFlottant>
        <OneAppuisDAF>
            <Pt>473.984 503.681 535.222</Pt>
            <NamePt>211</NamePt>
            <Incertitude>0.01 0.01 0.01</Incertitude>
        </OneAppuisDAF>
        <OneAppuisDAF>
            <Pt>475.723 503.738 535.286</Pt>
            <NamePt>212</NamePt>
            <Incertitude>0.01 0.01 0.01</Incertitude>
        </OneAppuisDAF>
        <OneAppuisDAF>
            <Pt>479.939 503.807 535.482</Pt>
            <NamePt>213</NamePt>
            <Incertitude>0.01 0.01 0.01</Incertitude>
```

Figure 3 - Extrait d'un fichier Dico-Appuis

```
<SetOfMesureAppuisFlottants>
    <MesureAppuiFlottant1Im>
        <NameIm>IMG_0336.JPG</NameIm>
        <OneMesureAF1I>
            <NamePt>212</NamePt>
            <PtIm>2427 3481</PtIm>
        </OneMesureAF1I>
        <OneMesureAF1I>
            <NamePt>221</NamePt>
            <PtIm>2166 1086</PtIm>
        </OneMesureAF1I>
        <OneMesureAF1I>
            <NamePt>211</NamePt>
            <PtIm>1737 3464</PtIm>
        </OneMesureAF1I>
    </MesureAppuiFlottant1Im>
```

Figure 4 - Extrait d'un fichier Mesure-Appuis

L'utilisation d'incertitudes négatives dans le fichier *Dico-Appuis* permet de définir le point comme étant un point de contrôle, non utilisé dans le calcul de l'aérotriangulation.

Ces deux fichiers seront générés lors de la sauvegarde du projet.

2.2.1.2. Format des données dans le logiciel

Dans le programme nous conservons la séparation entre les mesures terrain et image des points d'appui afin de permettre un import et un export plus facile. Nous avons donc une table correspondant aux mesures terrain et une autre correspondant aux mesures image. Le diagramme uml ci dessous décrit le format de ces données au sein du programme.

PAim
nomIm : QString
nomPA : QString
x : double
y : double
verif : int

Figure 5 - Table PAim

La table *PAim* correspond aux mesures image des points d'appui, et contient le nom de l'image, le nom du point d'appui, sa position sur l'image et un statut "verif". Ce statut servira à indiquer si le point a été entré manuellement (ou importé), ajouté automatiquement mais non vérifié par l'utilisateur ou bien ajouté automatiquement et vérifié par l'utilisateur. De cette manière, seul les points manuels ou vérifiés seront exportés ou utilisés lors du géoréférencement final.

PAterr
nomPA : QString
X : double
Y : double
Z : double
dX : double
dY : double
dZ : double

Figure 6 - Table PAterr

La table *PAterr* correspond aux mesures terrain des points d'appui et contient le nom du point d'appui, les coordonnées terrain (X, Y, Z) et les incertitudes sur ces coordonnées.

2.2.2. Fichier de paramètres APERO pour l'orientation absolue

Le fichier de paramètre importé doit permettre de lancer directement un calcul d'aérotriangulation. Il pourra être généré à partir des informations indiquées par l'utilisateur.

Ce fichier se compose de 4 principales sections dans lesquelles sont indiquées les informations nécessaires au géoréférencement absolu:

- la section *DicoLoc*, dans laquelle sont indiqués les répertoires contenant les orientations relatives, la calibration des caméras ainsi que le répertoire dans lequel seront enregistrées les orientations absolues à l'issue de l'aérotriangulation

- la section *SectionBDD_Observation* contient les informations relatives aux données en entrée du calcul d'aérotriangulation. Sont indiquées les références aux points de liaison, aux orientations relatives ainsi qu'aux coordonnées images des points d'appui (fichiers *Mesure-Appuis*).
- la section *SectionInconnues* dans laquelle sont notamment indiqués la liste des images utilisées sous forme d'expression régulière ainsi que les coordonnées terrain des points d'appui (fichier *Dico-Appuis*).
- la section *SectionCompensation* qui contient les étapes du calcul d'aérotriangulation.

Un exemple commenté de fichier de paramètre est donné en annexes.

2.2.3. Fichier de paramètres APERO pour l'orientation relative

Ce fichier est utilisé lors de l'orientation relative. Il contient les mêmes sections que le premier fichier présenté mais sans les informations liées à l'orientation relative initiale ni celles liées aux points d'appui.

Cependant la *SectionCompensation* contient plus d'étapes car il faut calibrer la caméra. Dans un premier temps, tous les paramètres liés à la calibration sont figés et les points de liaison sont importés. L'étape suivante dépend du type de caméra utilisé ainsi que des paramètres qui seront ajustés. Ainsi, si tous les paramètres sont figés, aucun ne sera libéré lors de la compensation. Dans le cas contraire, si aucun paramètre n'est connu, ils seront libérés et estimés un par un. C'est l'utilisateur qui décide du type de caméra à utiliser et des paramètres qui seront figés ou libérés pendant le calcul.

2.2.4. Orientations des caméras

Les fichiers d'orientations des caméras contiennent entre autres la position et l'orientation de chacune des photographies. De plus ils contiennent un lien vers le fichier de calibration de la caméra, ce qui permet de récupérer les informations relatives à la taille de l'image, à la focale ainsi qu'aux paramètres de distorsion.

Ils sont générés par APERO lors des orientations relatives et absolues.

2.2.5. Nuage de points 3D

Le nuage de points 3D est généré à la fin du calcul d'aérotriangulation avec l'utilitaire AperiCloud. Pour pouvoir être utilisé lors de la phase de positionnement, il devra être géoréférencé approximativement. Enfin, il devra être filtré afin de réduire le nombre de points faux afin de limiter les erreurs lors de la phase de test de visibilité.

2.3. Présentation des librairies utilisées

Ce projet réalisé en c++, afin de rester en cohérence avec la suite *Pastis/Apero/Micmac* développée dans le même langage de programmation. De plus, il permet d'utiliser les librairies suivantes :

eLiSe: développée par Marc Pierrot-Deseilligny. Elle permet entre autres la manipulation des images, des calibrations et des orientations utilisées dans la suite Pastis/Apero/Micmac.

Qt: cette librairie offre des composants d'interface graphique et des outils pour manipuler les fichiers xml et pour paralléliser les processus sur plusieurs cœurs. Elle a permis de développer toutes les fenêtres ainsi que de manipuler une partie des fichiers xml utilisés par *APERO* sans avoir besoin de faire systématiquement appel à la librairie eLiSe.

The Point Cloud Library: permet la manipulation et le traitement de nuages de points 3D, utilisée aussi pour la visualisation des nuages de points 3D. Elle permet d'utiliser la puissance des GPU pour accélérer le traitement des données en 3D.

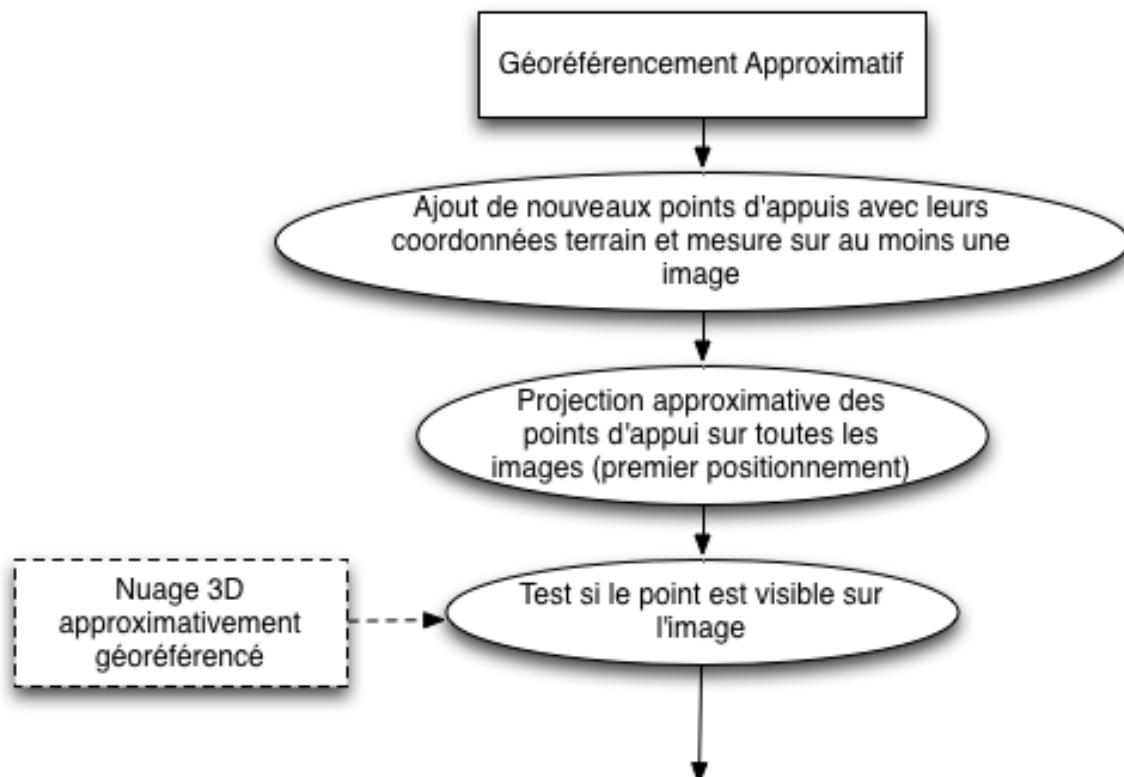
LE PROCESSUS DE POSITIONNEMENT DES POINTS D'APPUI

Le processus de positionnement des points d'appui représente la nouveauté par rapport aux interfaces existantes pour la suite *Pastis/Apero/Micmac*. Il est le cœur de ce projet et est donc présenté en détails.

1. Présentation des étapes du processus

Le diagramme ci dessous présente les différentes étapes du processus de positionnement des points d'appui, depuis le géoréférencement approximatif d'un chantier jusqu'à l'ajout final dans la liste des points d'appui.

Les ellipses représentent les actions effectuées lors de ce processus et les rectangles indiquent les données en entrée ou en sortie de ces actions. Les données présentées dans des rectangles en pointillées ne sont pas obligatoires pour le déroulement du processus.



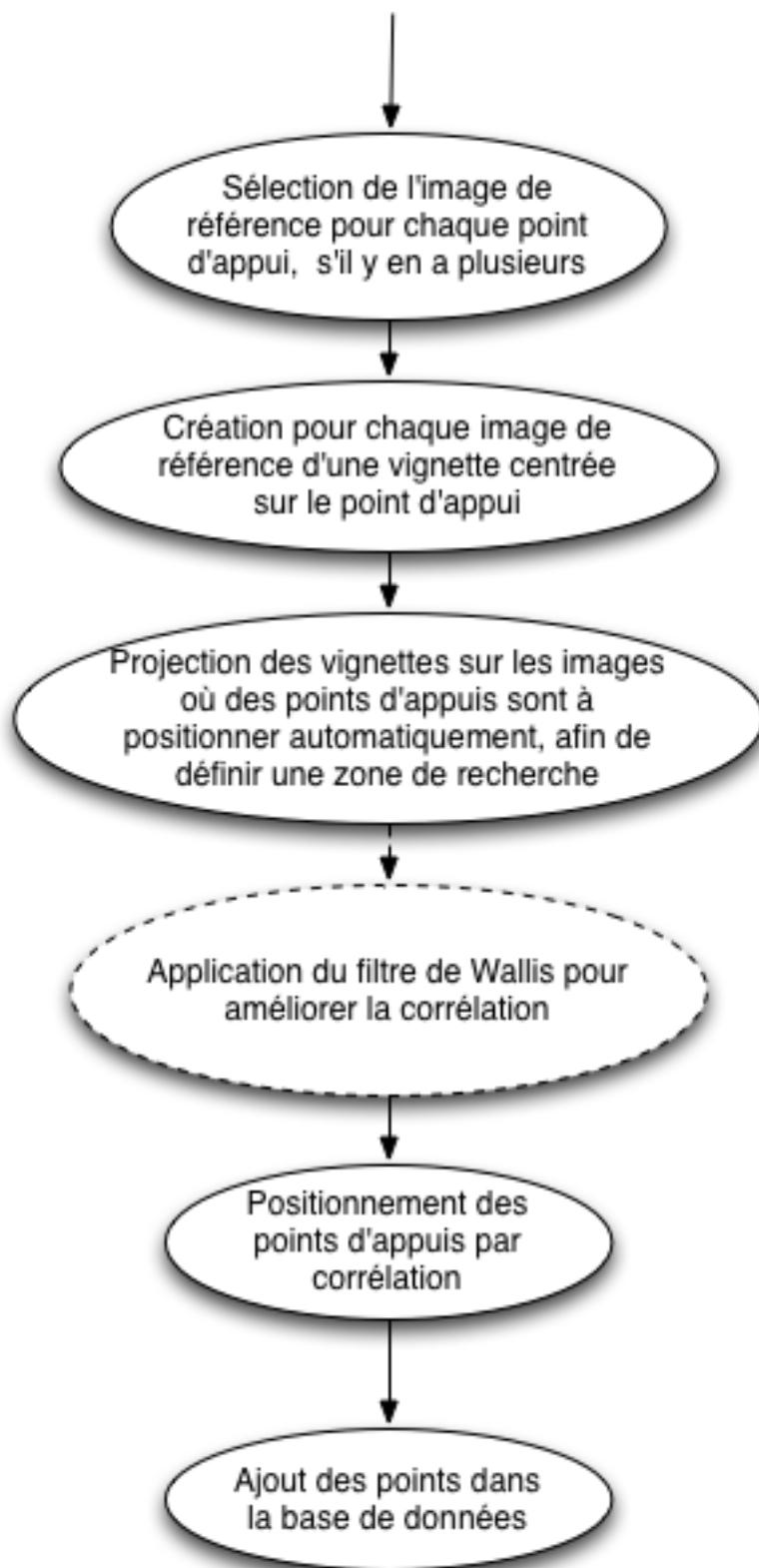


Figure 7 - Processus de positionnement automatique des points d'appui

Les différentes étapes de ce processus sont expliquées ci-dessous.

2. Géoréférencement approximatif

Nous disposons déjà d'une orientation relative. On cherche la transformation du système modèle vers le système terrain. Celle ci est donnée par une similitude à 7 paramètres.

Équation 1- Similitude à 7 paramètres

$$M^M \rightarrow M^T = ERM^M + T$$

Où:

- M^M représente les coordonnées du point dans le système modèle
- M^T représente les coordonnées du point dans le système terrain
- E est le facteur d'échelle
- R est la rotation du système modèle vers le système terrain
- T est la translation du système modèle vers le système terrain

Afin de résoudre cette équation il est nécessaire de connaître les coordonnées terrain de trois points d'appui au minimum, ainsi que leur position sur les images sur lesquelles ils sont visibles.

APERO permet d'effectuer cette orientation absolue si trois points d'appuis sont indiqués sur au moins deux images.

3. Première localisation

Une fois un premier géoréférencement calculé, l'utilisateur peut ajouter de nouveaux points d'appui. Pour permettre le positionnement automatique, il doit indiquer les coordonnées terrain du nouveau point et le saisir sur au moins une image.

Dans un premier temps, chaque nouveau point d'appui est reprojeté sur toutes les images et nous testons s'il est visible sur l'image, c'est à dire s'il se trouve dans l'emprise de l'image et s'il n'y a pas d'occlusions.

3.1. Projection des points d'appuis

Les coordonnées terrains des points d'appuis à ajouter, ainsi qu'une orientation absolue approximative et la calibration des caméras sont déjà connus. Il suffit alors d'appliquer l'équation de colinéarité afin d'effectuer le passage entre les coordonnées terrains et les coordonnées images.

Équation 2 - Forme générale de l'équation de colinéarité

$$m = f(M, R, S, \text{corrections})$$

Où

- m représente les coordonnées image du point,
- M ses coordonnées terrestres associées,
- R la matrice de rotation du système terrain au système image,
- S la position du centre optique de la caméra dans le système terrain.

La distorsion optique est une des principales corrections à apporter au modèle de la perspective conique. C'est une aberration géométrique due à un défaut optique de l'objectif ou bien au type de caméra utilisé. Elle possède une composante radiale polynomiale, ce qui implique que plus on s'éloigne du point principal de symétrie, plus l'erreur est importante.

Cette distorsion doit être corrigée car elle peut engendrer des erreurs jusqu'à une centaine de pixels pour des caméras grand public. La distorsion de lentilles de type Fish-Eye nécessite par ailleurs l'application d'un modèle qui lui est propre.

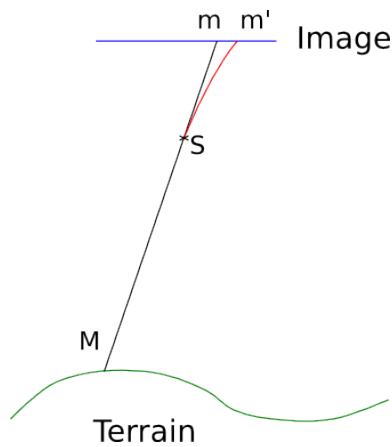


Figure 8 - Projection d'un point terrain sur une image avec et sans distorsion

Sur la figure ci-dessus, M correspond au point terrain, m à sa projection sur l'image sans distorsion et m' à sa projection sur l'image avec distorsion.

La librairie eLiSe permet de modéliser les caméras à partir des fichiers d'orientation et de la calibration et d'effectuer le passage terrain → image. A la fin de cette étape, on obtient les projections des points d'appui des les images. La qualité de la projection dépendra de la qualité du géoréférencement du chantier. Maintenant, on va tester la visibilité du point dans les images.

3.2. Test de visibilité et gestion des occlusions

Le positionnement du point sera par la suite amélioré par corrélation. L'intérêt de ce premier positionnement réside en la possibilité de déterminer si le point d'appui est visible sur l'image.

Trois cas se présentent alors:

- soit la projection du point sur l'image se trouve à l'extérieur de son emprise. Le point n'est donc pas visible sur cette image
- soit le point se trouve dans l'emprise de l'image mais n'est pas visible à cause d'une occlusion
- soit le point se trouve dans l'emprise de l'image et est visible

L'enjeu est donc de déterminer s'il y a occlusion, afin de réduire la durée de la phase de corrélation et éviter les faux appariements.

Nous disposons pour cela du nuage de points 3D approximativement géoréférencé généré par APERO à la fin de l'orientation absolue approximative. Les coordonnées terrain du point d'appui et de la caméra sont connues. L'idée est donc de tester si la droite reliant les deux points traverse le nuage de points 3D ce qui signifierait qu'il y a occlusion.

On a donc à définir un rayon de recherche de points 3D autour de cette droite et éventuellement une distance maximum de recherche par rapport au point terrain². La recherche ne commence pas directement au niveau de la surface de l'objet afin de ne pas avoir de fausses détections.

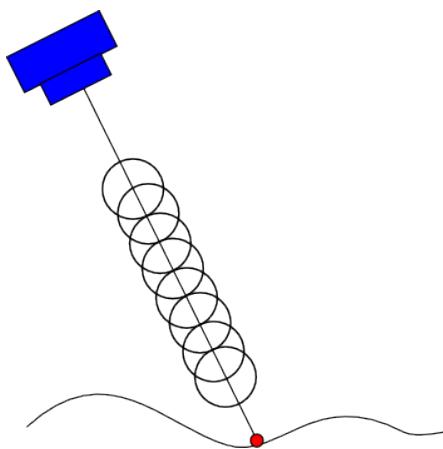


Figure 9 - Recherche d'occlusion entre le point d'appui et la caméra

² Utile photogrammétrie aérienne, afin de ne pas effectuer le test sur toute la distance entre le sol et la caméra

Ce test est assez efficace en photogrammétrie terrestre lorsqu'on a un chantier avec des caméras opposées.

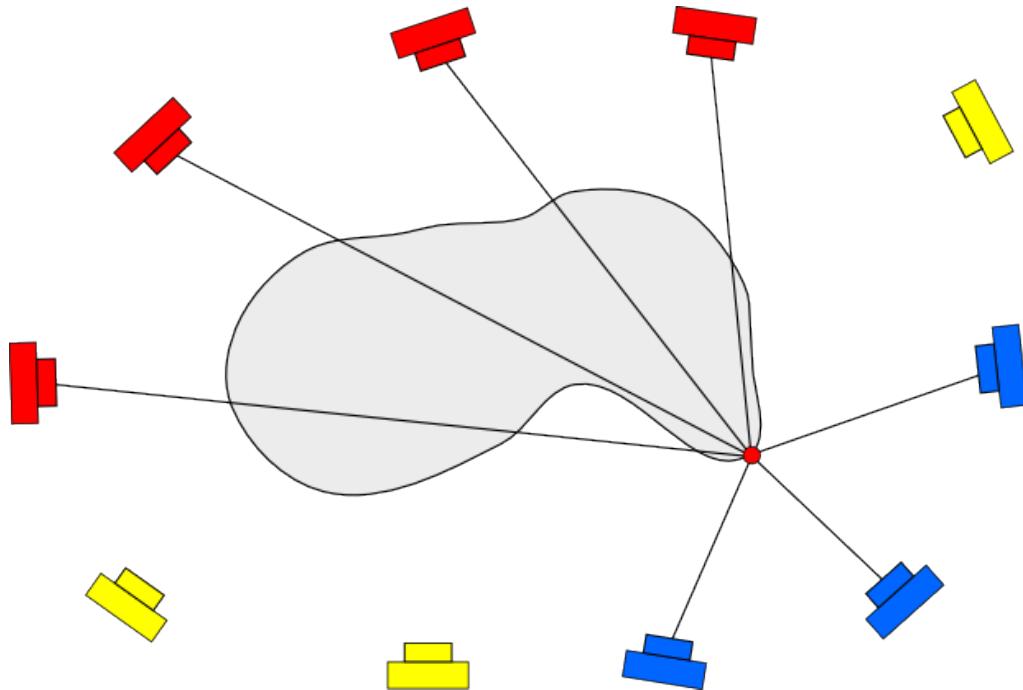


Figure 10 - Application du test de visibilité en photogrammétrie terrestre

Dans le schéma ci-dessus, l'objet photographié apparaît en gris, et le point d'appui à tester est représenté par le point rouge. Les caméras bleus indiquent que le point est visible sur les images, les caméras jaunes indiquent qu'il n'y a pas d'occlusion mais que le point d'appui est hors de l'emprise de la photographie et les caméras rouges indiquent que le point est dans l'emprise de la photographie mais qu'il n'est pas visible à cause d'occlusions.

Cependant, il est limité pour plusieurs raisons:

- le chantier n'est qu'approximativement géoréférencé, ce qui peut causer des déformations du modèle et donc de mauvaises détections ou l'absence de détection d'occlusions.
- la densité du nuage de points. Si le nuage n'est pas suffisamment dense, la droite peut passer à travers le nuage sans le détecter.

4. Corrélation et amélioration du résultat de la première localisation

4.1. Application du filtre de Wallis

Afin d'améliorer les résultats de la recherche par corrélation, il est possible d'appliquer le filtre de Wallis. Ce filtre permet de forcer la valeur moyenne et le contraste d'une image selon des valeurs données. Alors qu'une augmentation globale du contraste peut provoquer des phénomènes de saturation, le filtre de Wallis adapte le contraste localement. La formule générale du filtre de Wallis est:

Équation 3 - Filtre de Wallis

$$g^w(x,y) = g(x,y)r_1 + r_0$$

$$\text{où } r_1 = \frac{cs_f}{cs_g + \frac{s_f}{c}}$$

$$\text{et } r_2 = bm_f + (1 - b - r_1)m_g$$

L'image est divisée en régions rectangulaires sur lesquelles le filtre est appliqué. Dans cette équation on a donc $g^w(x,y)$ et $g(x,y)$ qui représentent les images filtrée et originale. Les paramètres r_1 et r_0 sont des paramètres multiplicatif et additif, c est le paramètre d'expansion du contraste, b est le paramètre de forçage de la brillance, m_g et s_g sont les valeur moyenne et écart type locaux de l'image initiale et m_f et s_f sont la valeur moyenne et écart type voulues pour l'image filtrée.

Les valeurs généralement utilisées sont $m_f = 127$, $s_f = 50$, $c = 0.65$ et $b = 0.75$. Elles sont laissées en paramètres et peuvent être changées dans le programme. L'image est divisée en région de 51 pixels sur lesquelles le filtre est appliqué.

Ce filtre est appliqué une seule fois sur toutes les images, avant de débuter la recherche par corrélation.

Dans l'exemple ci-dessous l'image gauche est l'image originale et l'image droite l'image filtrée. Les paramètres utilisés sont ceux mentionnés ci-dessus.



Figure 11- Application du filtre de Wallis

4.2. Sélection et chargement des vignettes de référence

A ce stade du positionnement, nous disposons pour chaque point d'appui de sa position approximative sur toutes les images depuis lesquelles il est visible. L'amélioration du positionnement sera effectuée par corrélation.

Lorsque le point d'appui à positionner a été saisi sur plusieurs images, la première étape consiste en la sélection d'une image de référence pour la corrélation.

Le programme permet:

- soit de sélectionner une seule image de référence par point d'appui
- soit de sélectionner une image de référence différente pour chaque mesure image à améliorer

Cette deuxième option permet d'améliorer de façon significative les résultats de la corrélation lorsqu'on utilise un fish-eye et que les déformations peuvent être importantes.

4.3. Sélection de la zone de recherche et de l'image de référence

Afin d'améliorer le positionnement des points d'appui, il faut définir une zone de recherche pour chaque image et chaque point d'appui. L'emprise de cette zone est calculée en

projetant la vignette de référence centrée sur le point d'appui dans l'image où se trouve le point d'appui à positionner précisément.

La bibliothèque *eLiSe* permet de mesurer les coordonnées terrain d'un point présent sur une image en connaissant les paramètres de la caméra et la profondeur. La vignette étant suffisamment petite, nous faisons l'approximation que cette profondeur est égale à la profondeur calculée entre la caméra et le point d'appui à positionner. Cette profondeur est aussi calculée grâce à la librairie *eLiSe*. Enfin, ce point est projeté sur la seconde image.

Ainsi, pour projeter la vignette de référence, nous projetons les quatre coins et récupérons son emprise sur la seconde image.

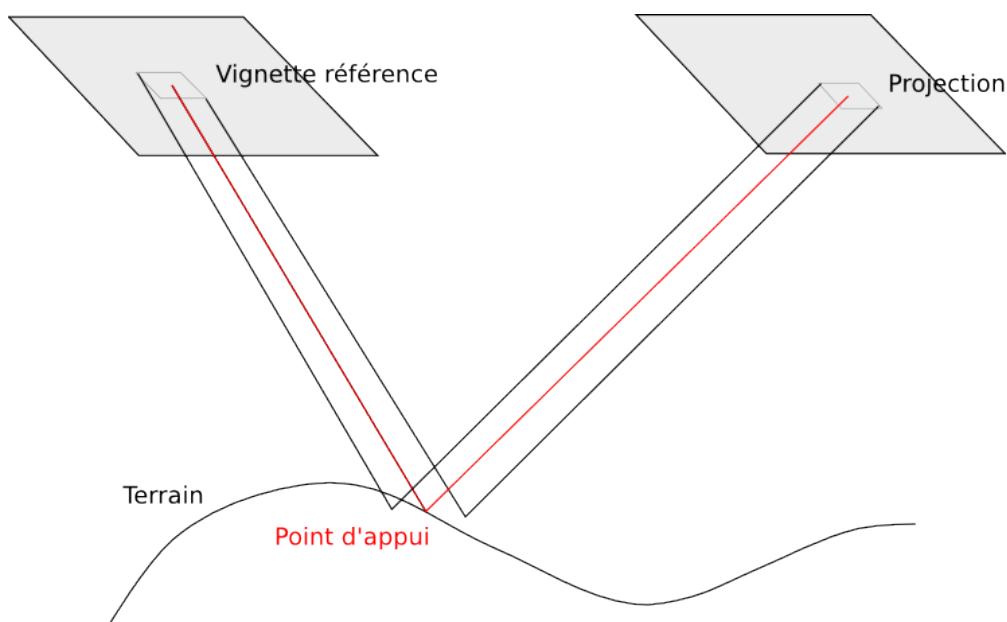


Figure 12 - Projection de la vignette de référence dans la deuxième image, sans variation de profondeur

Afin de tenir compte des erreurs liées au géoréférencement approximatif, l'emprise de la vignette projetée est augmentée de 10 pixels³, et il est possible de projeter la vignette en faisant varier la profondeur. L'emprise sur la seconde image est alors calculée en prenant le rectangle englobant toutes ces différentes projections.

³Ainsi une vignette de 15x15 pixels est projeté en tant que vignette de 25x25 pixels

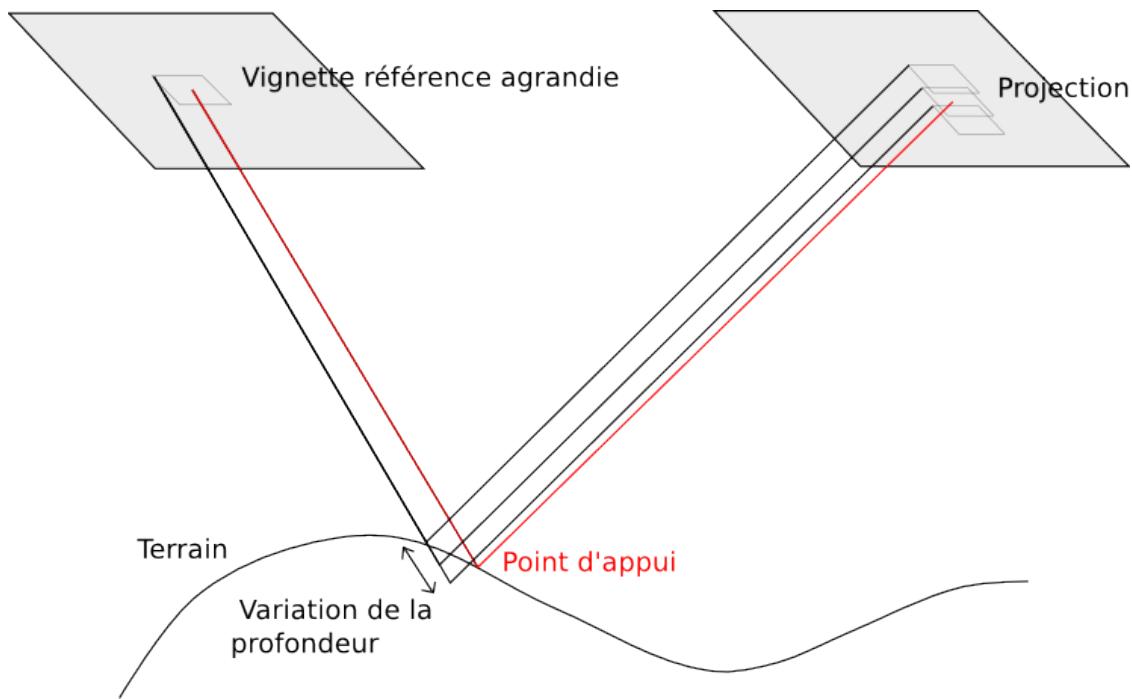


Figure 13 - Projection de la vignette de référence dans la deuxième image, avec variation de profondeur

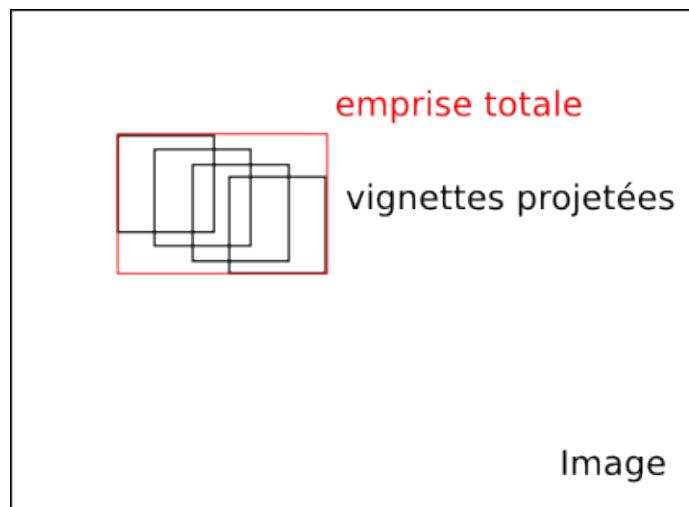


Figure 14 - Emprise de la projection sur la seconde image

4.4. Corrélation

Nous disposons à présent pour chaque point dont le positionnement est à améliorer d'une vignette de référence, centrée sur la position exacte du point d'appui sur l'image 1 et d'une zone de recherche sur l'image 2, contenant la position du point d'appui.

Le *Coefficient de Corrélation Normalisé* (CCN) est alors utilisé pour mesurer la meilleure position de la vignette dans la zone de recherche. La vignette est déplacée à l'intérieur de la zone de recherche pixel par pixel et en chaque position le CCN est calculé.

Ce coefficient est donné par:

$$CCN = \frac{\sum_{r=1}^R \sum_{c=1}^C (g_1(r,c) - \bar{g}_1)(g_0(r,c) - \bar{g}_0)}{\sqrt{(\sum_{r=1}^R \sum_{c=1}^C (g_0(r,c) - \bar{g}_0)^2)(\sum_{r=1}^R \sum_{c=1}^C (g_1(r,c) - \bar{g}_1)^2)}}$$

Où, $\bar{g}_0 = \frac{1}{R \times C} \sum_{r=1}^R \sum_{c=1}^C g_0(r,c)$ et $\bar{g}_1 = \frac{1}{R \times C} \sum_{r=1}^R \sum_{c=1}^C g_1(r,c)$

Où $g_0(r,c)$ et $g_1(r,c)$ représentent les valeurs des pixels en niveau de gris dans la vignette et la zone de recherche respectivement, R le nombre de lignes de la vignette et C le nombre de colonnes de la vignette.

Ce coefficient présente l'avantage de ne pas être sensible aux différences d'éclairage entre l'image de référence et l'image corrélée

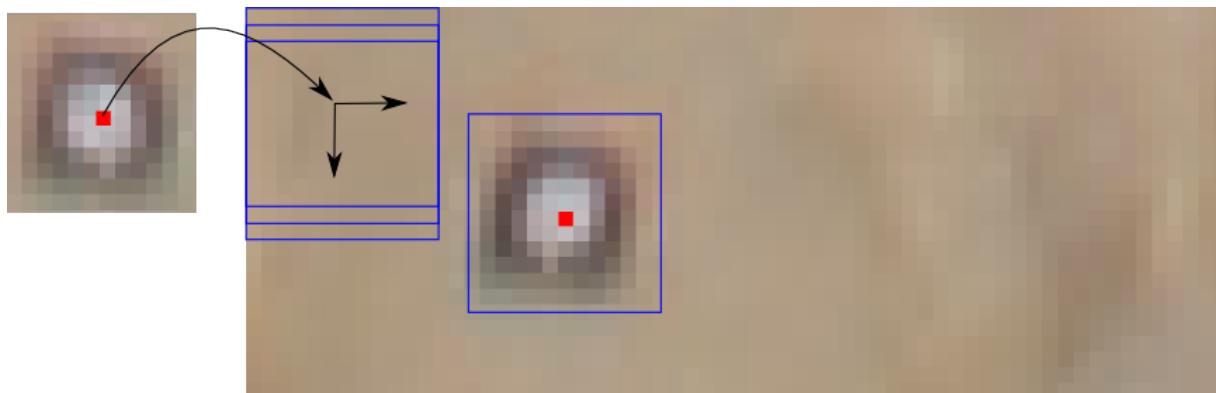


Figure 15 - Recherche de la meilleure position par corrélation

La position du point d'appui sur l'image 2 est alors définie comme étant la position où le coefficient est maximum.

Il est possible qu'il y ait une rotation entre la vignette test et la zone de recherche, par exemple en photogrammétrie aérienne il y a une rotation de 180° entre deux bandes consécutives. Pour celà, il est possible d'effectuer une rotation de la vignette test en chaque position. La vignette est alors rééchantillonnée en utilisant une interpolation bilinéaire.

Cependant, ce coefficient ne prend pas en compte les déformations, ainsi que les différences de facteur d'échelle. Pour limiter les erreurs, la corrélation n'est utilisée que

lorsque le rapport de profondeur entre l'image 1 et l'image 2 est compris entre 0,8 et 1,2.(Li Zhang, 2004). L'utilisateur peut aussi définir l'angle maximum entre les deux photographies au dessus duquel il considère qu'il y a trop de déformation et pour lequel la corrélation n'a pas lieu. Cet angle est défini par les deux droites reliant les caméras des deux images au point d'appui terrain.

Si le coefficient de corrélation maximum est très mauvais, c'est à dire inférieur à 0,5, le point est supprimé. Il s'agit le plus probablement d'un point qui n'est pas visible sur cette image et qui n'a pas été filtré lors de la phase de test de la visibilité.

Si le coefficient de corrélation maximum est très bon, c'est à dire supérieur à 0,75, le point d'appui est conservé et est placé à la position où le coefficient est le maximum.

S'il est compris entre ces deux valeurs, la vignette de référence est redimensionnée autour de la taille de la vignette initiale et la corrélation est réeffectuée.

Une fois les points positionnés, l'utilisateur peut alors les valider, les supprimer ou les modifier dans l'interface de visualisation, présentée dans le Chapitre 3 - section 5.

Il est alors possible d'effectuer une deuxième orientation absolue, cette fois ci avec tous les points d'appui.

PRESENTATION DU PRODUIT REALISE

1. Interface générale

L'interface générale apparaît lorsque le programme est lancé. Elle contient tous les menus permettant d'ouvrir des projets, de les traiter ou bien de visualiser les données.

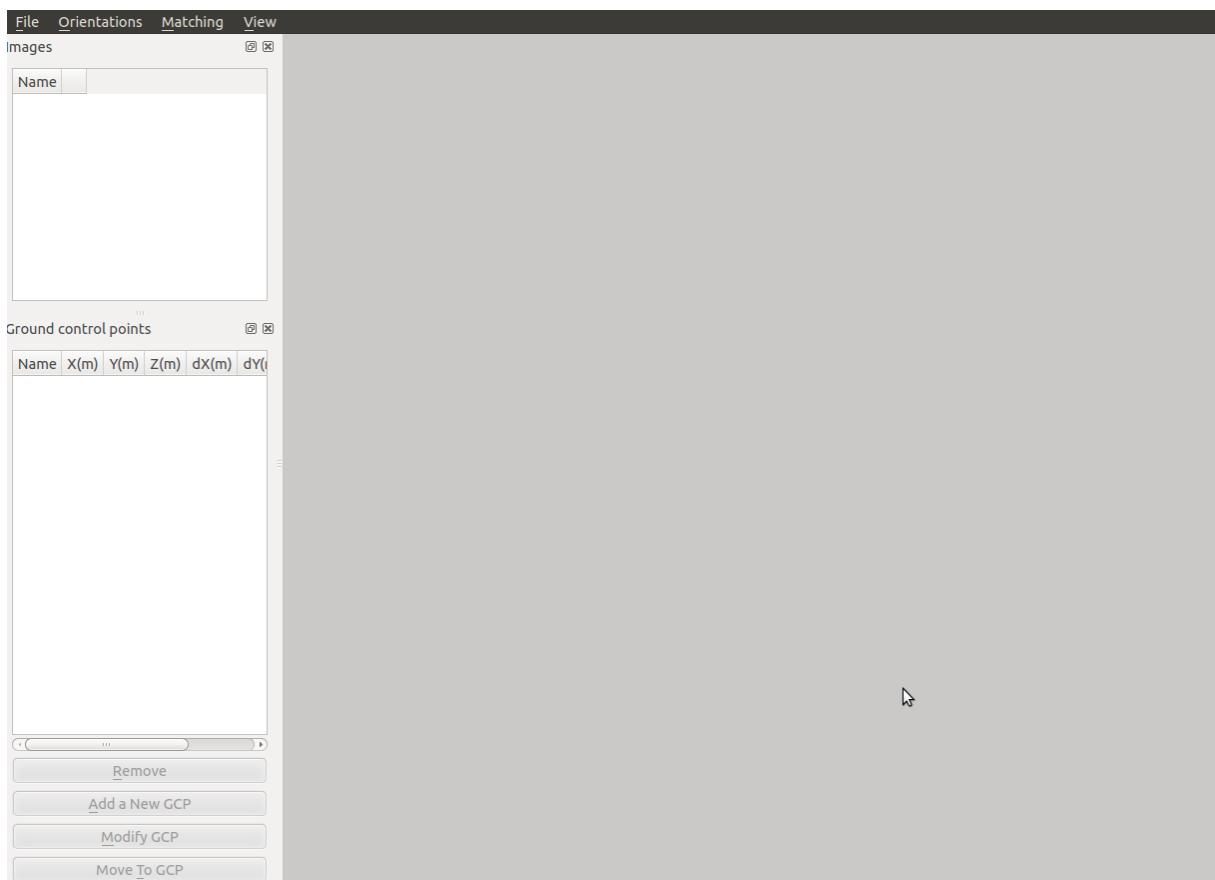


Figure 16 - Interface principale

Quatre menus différents sont disponibles.

Le menu *File* permet dans un premier temps d'ouvrir un nouveau répertoire de projet ou *WorkSpace*. Ce *WorkSpace* indiquera le répertoire principal dans lequel se trouvent les différentes données du chantier photogrammétrique. Il pourra ainsi contenir les photographies à utiliser, des fichiers de paramétrage pour générer les orientations relatives et absolues, des points de liaisons et des orientations qui peuvent avoir été préalablement calculées.

Ce menu donne aussi la possibilité d'ouvrir un projet existant, ce qui est en fait un fichier de paramétrage pour le calcul des orientations absolues, à partir duquel le positionnement des

points d'appuis sera effectué. La structure de ce fichier a été présentée au Chapitre 2 - section 2.2.2. Une fois ce projet ouvert il sera possible de le sauvegarder depuis ce menu.

L'onglet *Options* permet de définir le répertoire dans lequel se trouve l'exécutable *APERO*, ainsi que de paramétriser l'interface de visualisation.

Enfin, l'onglet *Wizard* permet d'effectuer facilement les différentes étapes du géoréférencement d'un chantier photogrammétrique, depuis la génération des points de liaisons jusqu'à la création d'un fichier de paramètres pour le lancement du géoréférencement du projet. A l'issue de cet assistant, ce fichier de paramètres pourra être importé dans le programme. Les différentes actions exécutées dans cet assistant peuvent aussi être lancées individuellement depuis le menu *Orientations*, présenté ci dessous.

Le menu *Orientations* donne la possibilité d'effectuer les différentes étapes de traitement du projet photogrammétrique. Celui-ci commence par la génération des points de liaison, puis l'orientation relative. Ensuite l'onglet *Set Parameters for Absolute Orientation* permet de générer un fichier de paramètres *APERO* pour l'orientation absolue. Ce fichier pourra ensuite être importé dans le projet afin de pouvoir ajouter les mesures des points d'appui. L'onglet *Run Automatic Localization* permet d'exécuter le processus de localisation automatique des points d'appuis une fois ceux ci ajoutés dans l'interface de visualisation. Enfin, il est possible de lancer l'orientation absolue finale et de visualiser quelques statistiques sur cette orientation.

Le troisième menu permet de lancer la génération d'un nuage dense de point 3D par corrélation une fois l'orientation absolue effectuée.

Le dernier menu *View* permet l'organisation des fenêtres de visualisation des points d'appui (cf. chapitre 3 - section 5), ainsi que la visualisation d'un modèle 3D du projet au format *ply*.

Une fois un projet créé ou importé, cette interface affichera la liste des photos utilisées ainsi que des points d'appui.

Si seules les photos sont disponibles, la première étape du géoréférencement du chantier consiste en la génération automatique des points de liaison.

2. Génération des points de liaison

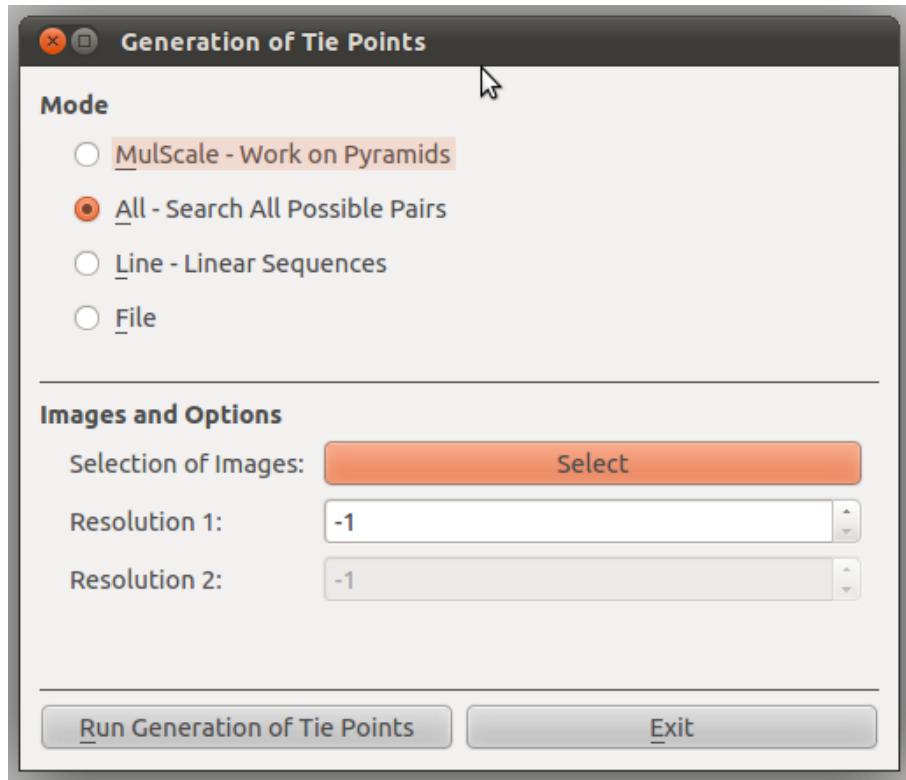


Figure 17 - Interface de génération des points de liaison

Cette interface est disponible dans le menu *Orientations* une fois qu'un répertoire de travail est ouvert. Elle permet de lancer l'outil *TAPIOCA* de la suite *Pastis/Apero/Micmac* avec les principales options disponibles. Il est donc possible de choisir entre les modes de calcul *MulScale*, *All*, *Line* et *File* qui sont décrits dans *DocMicMac*.

Il est de plus demandé d'indiquer les photographies à utiliser ainsi que la résolution à utiliser pour l'extraction des points homologues.

Une fois ces points de liaisons extraits, il est possible de lancer un calcul d'orientation relative du chantier, ainsi que de la calibration.

3. Calcul des orientations relatives et de la calibration

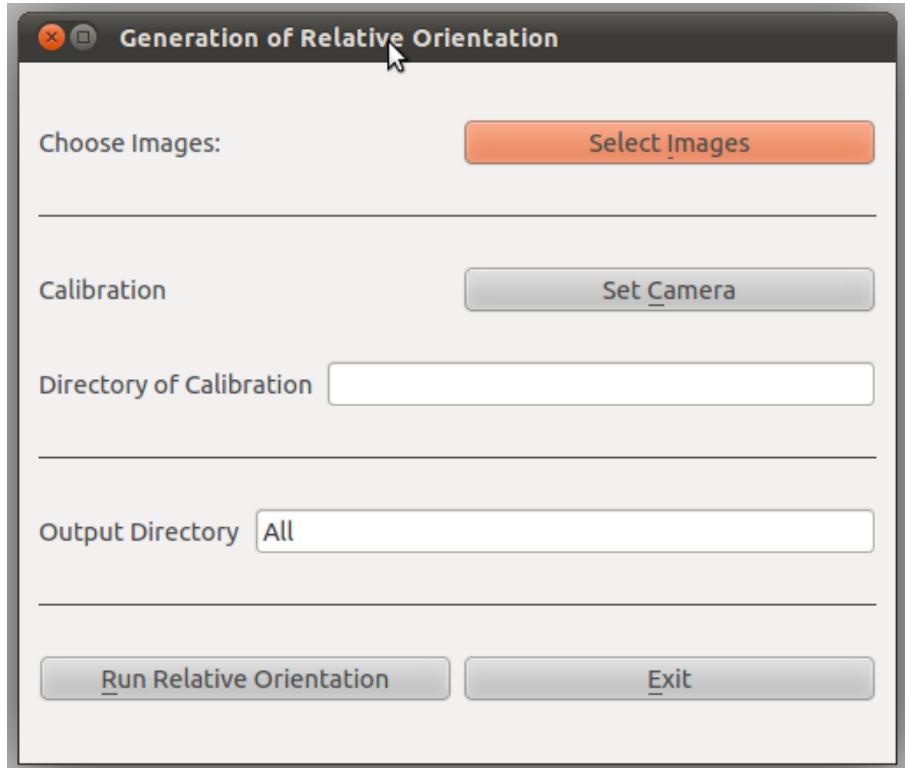


Figure 18 - Interface de calcul des orientations relative et de la calibration

Afin de calculer les orientations relatives, l'utilisateur doit tout d'abord indiquer les photos à prendre en compte dans le calcul. Ensuite, le bouton *Set Camera* ouvre l'interface de calibration.

Cette interface permet soit d'importer une calibration existante sous le format APERO, dans ce cas le type de caméra est automatiquement détecté, soit de créer une nouvelle calibration. Il est possible de choisir entre 4 types de calibrations différentes : les calibrations *RadialBasic* et *RadialExtended* proposent une modélisation radiale de la distorsion, le modèle *Fraser* (ou modèle de Brown) est un modèle de calibration plus complet utilisé dans de nombreux logiciels de traitement photogrammétrique. Il offre en plus de la modélisation radiale de la distorsion une composante tangentielle et deux paramètres de décentrement. Enfin, le modèle de calibration *Fish-Eye* permet de modéliser les distorsions d'une caméra fish-eye.

Les différents paramètres peuvent être laissés figés durant le calcul, dans ce cas ils ne seront pas modifiés, ou bien laissés libres, dans ce cas, ils seront ajustés durant la phase

d'autocalibration. Le modèle de calibration *Figee* fixe tous les paramètres de la calibration. Il peut être sélectionné après avoir importé une calibration.

La plupart des coefficients peuvent être laissés nuls et seront calculés par autocalibration de la caméra. Seules les dimensions de l'image et la longueur de la focale utilisée doivent être obligatoirement indiqués. Les positions du centre de distorsion et du point principal d'autocollimation seront définies au centre de l'image si les valeurs sont laissées à 0. Enfin, pour le Fish-Eye, le rayon utile est défini comme étant 70% de la moitié de la diagonale de l'image si la valeur est laissée nulle, afin de faciliter la convergence des calculs. Elle sera par la suite augmentée à 95% lors des étapes de compensation.

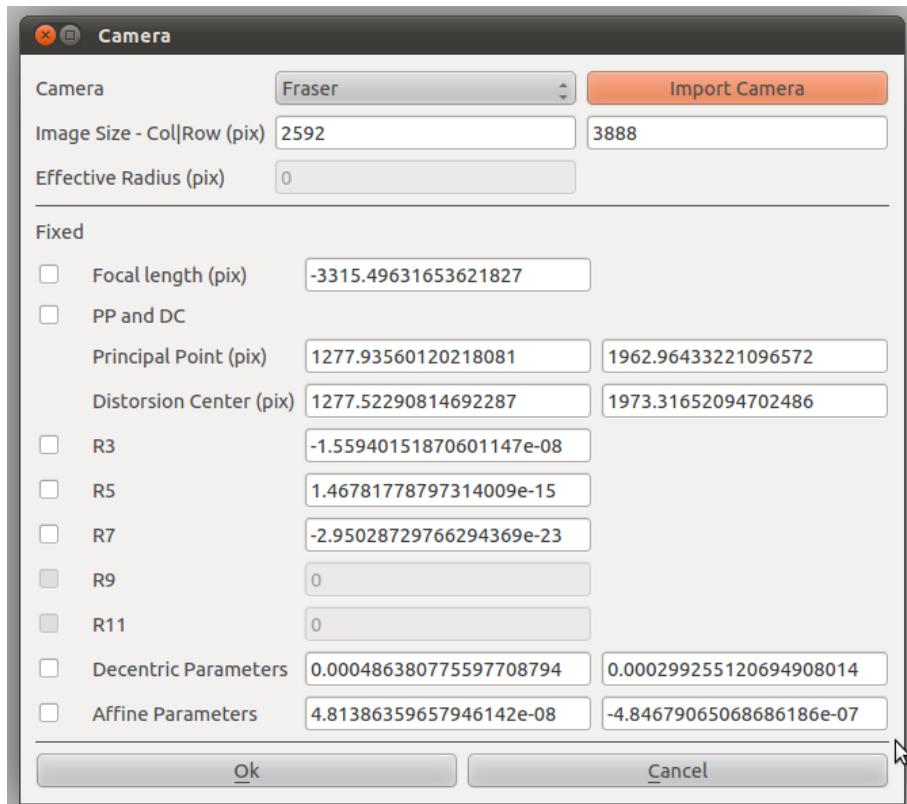


Figure 19 - Interface Caméra

Une fois la calibration de la caméra générée et validée, et le répertoire dans lequel seront sauvegardées les orientations indiqué, il est possible de lancer le calcul de l'orientation relative.

La prochaine étape consiste à définir des paramètres pour l'orientation absolue.

4. Génération du fichier de paramètres pour l'orientation absolue

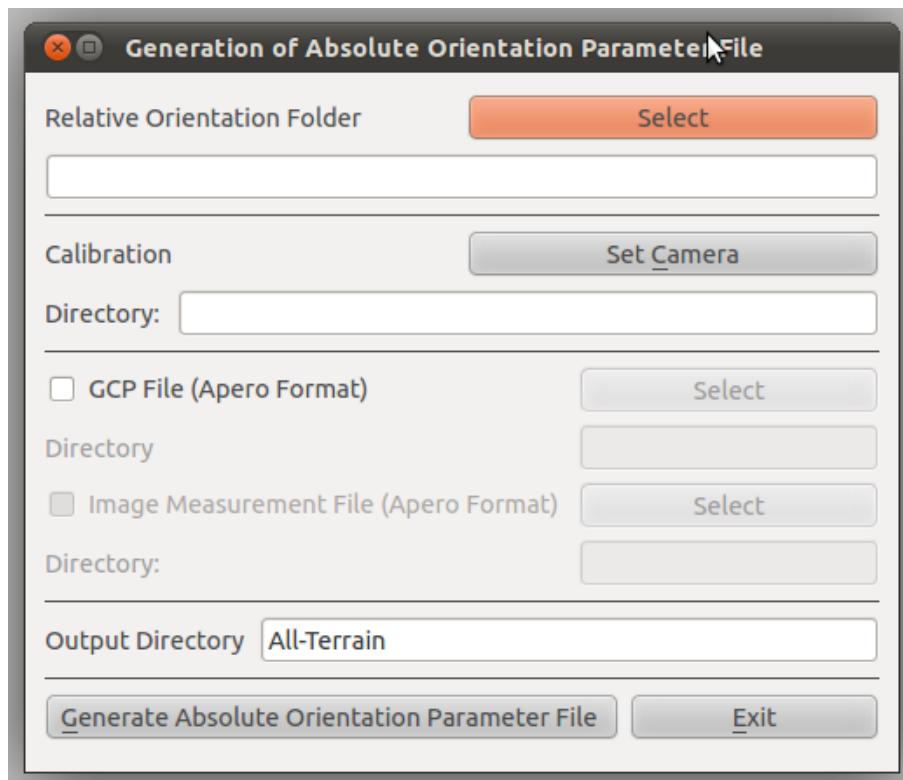


Figure 20 - Interface de génération du fichier de paramètres pour l'orientation absolue

Cette interface permet de générer le fichier de paramètres nécessaire pour calculer l'orientation absolue. C'est aussi ce fichier qui peut être importé dans le programme afin de pouvoir ajouter manuellement des points d'appui.

Il convient tout d'abord d'indiquer le répertoire contenant les orientations relatives préalablement calculées. Ensuite, il faut sélectionner la caméra utilisée. L'interface de calibration s'ouvre alors et charge le fichier de calibration choisi, qui se trouve normalement déjà dans le répertoire des orientations. Il est alors possible de changer les valeurs des coefficients de distorsion et d'indiquer quels paramètres seront figés et libérés, mais pas de changer le type de caméra.

Ensuite, il est possible d'importer les fichiers *Dico-Appuis* et *Mesure-Appuis*, qui contiennent respectivement les coordonnées terrain et image des points d'appui au format APERO. Si aucun fichier de ce type n'est disponible pour le projet, ils seront générés automatiquement.

Le fichier créé peut alors être chargé dans le programme et il devient possible d'ajouter des points d'appui.

5. Interface de visualisation et d'édition des points d'appui

Une partie de cette interface était déjà visible dans l'interface générale mais était grisée. Les images sont maintenant indiquées dans le dock *Images*. Dans la partie inférieure, il est possible d'ajouter, de modifier ou se supprimer des mesures terrain de points d'appui. Ceux ci peuvent aussi être importées depuis le menu *File->Load GCPs from a File*. Une description du format de ce fichier est donnée en annexe.

L'interface d'édition des coordonnées image s'ouvre lorsque l'on clique sur le nom de l'image.

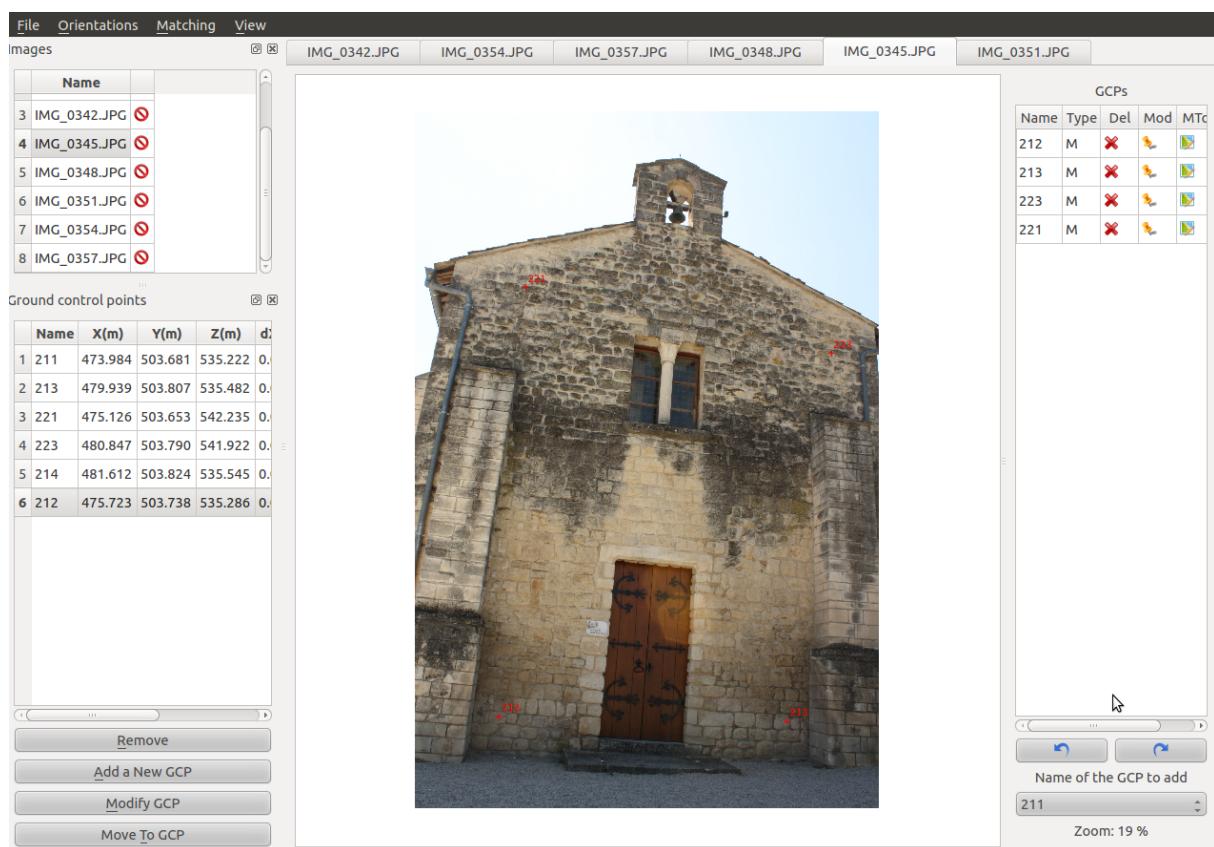


Figure 21 - Interface de visualisation et d'édition des points d'appui

Elle se compose de deux parties. Dans la partie gauche l'image est chargée. Il est possible de zoomer/dézoomer et de se déplacer avec la souris. De plus les points d'appuis sont positionnés sur l'image. Dans la partie droite se trouve un tableau récapitulant les points d'appuis. Le type du point d'appui peut prendre trois valeurs différentes: *M* pour Manuel, lorsque le point provient soit du fichier *Mesure-Appuis* soit a été ajouté manuellement sur l'image par l'utilisateur, *AV* pour Automatique et Vérifié, lorsque le point a été ajouté lors de la phase de positionnement automatique des points d'appui et a été validé par l'utilisateur, et

AnV pour Automatique non Vérifié si le point n'a pas été vérifié par l'utilisateur. Il est possible d'intervertir entre les deux derniers statuts en cliquant dessus.

Seuls les points de type Automatiques Vérifiés et les points Manuels seront sauvegardés et donc seront utilisés lors du géoréférencement final du chantier.

La croix permet de supprimer le point d'appui, il est aussi possible de modifier la position de celui-ci ou de se centrer dessus.

Pour ajouter un nouveau point d'appui, il est nécessaire de connaître ses coordonnées terrain. Une fois celles-ci indiquées, le point devient disponible pour ajout dans la liste déroulante en bas à droite de la fenêtre. Après sélection du point à ajouter dans la liste, il peut être ajouté sur l'image en maintenant la touche "N" et en cliquant sur la position désirée. Lorsque l'on veut modifier la position, il faut cliquer une première fois sur la case de modification et ensuite cliquer sur la nouvelle position en maintenant la touche "N".

Les flèches permettent d'annuler ou de refaire la dernière action effectuée.

Enfin, si plusieurs interfaces de visualisation sont ouvertes, il est possible de les afficher en "mosaïque". Le bouton *Move To* permet alors de centrer les différentes images sur le point d'appui sélectionné.

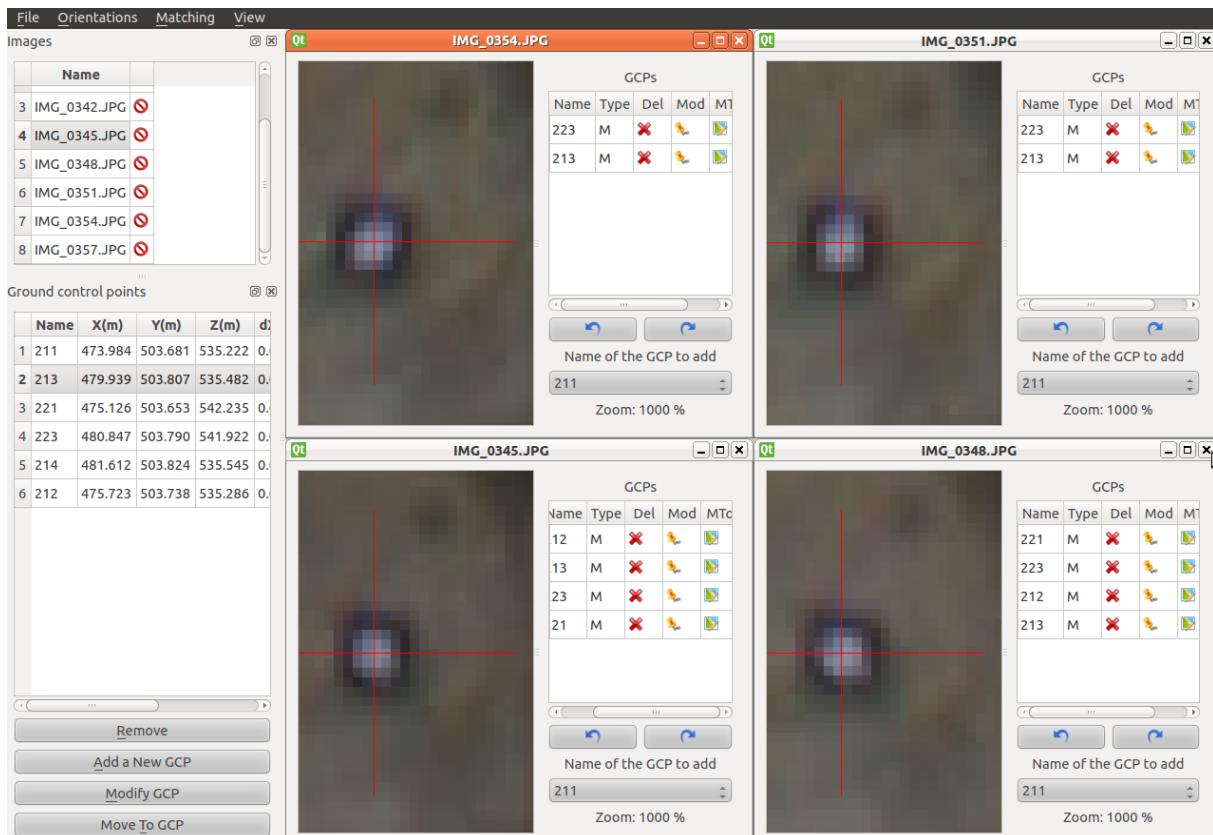


Figure 22 - Interfaces en mosaïque et exemple de *MoveTo*

6. Interface de positionnement automatique

Afin de lancer le processus de positionnement automatique, il est nécessaire d'indiquer la position de trois points d'appui sur deux images au minimum afin de pouvoir géoréférencer le projet approximativement (cf. Chapitre 2 - section 2). De plus, chaque point d'appui doit être positionné sur au moins une image pour pouvoir être positionné automatiquement sur les autres images.

La première étape consiste alors en la génération d'un géoréférencement approximatif ou à son import s'il existe déjà. Un nuage de points 3D sera généré en même temps et pourra être utilisé dans la seconde étape.

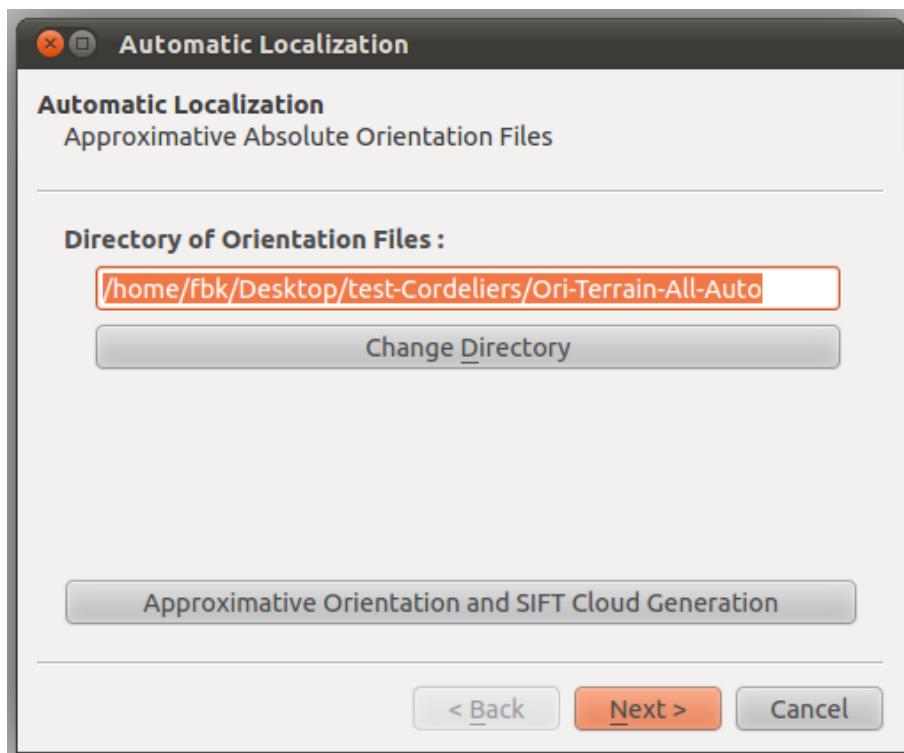


Figure 23 - Sélection des orientations absolues approximatives

Ensuite, l'utilisateur indique s'il veut utiliser le test de visibilité. Pour cela, il doit importer ou générer le nuage de points approximativement géoréférencé. Il peut de plus indiquer deux paramètres : le rayon du buffer, qui définit la zone dans laquelle on cherchera des occlusions (c'est à dire la présence de point) dans un rayon autour de la ligne reliant la position terrain du point d'appui au centre de la caméra (cf. chapitre 2 - section 3.2), et la longueur de recherche maximum depuis le point d'appui. En effet, il n'est pas nécessaire dans le cas d'images aériennes de vérifier s'il y a des occlusions sur toute la longueur de la droite décrite ci-dessus.

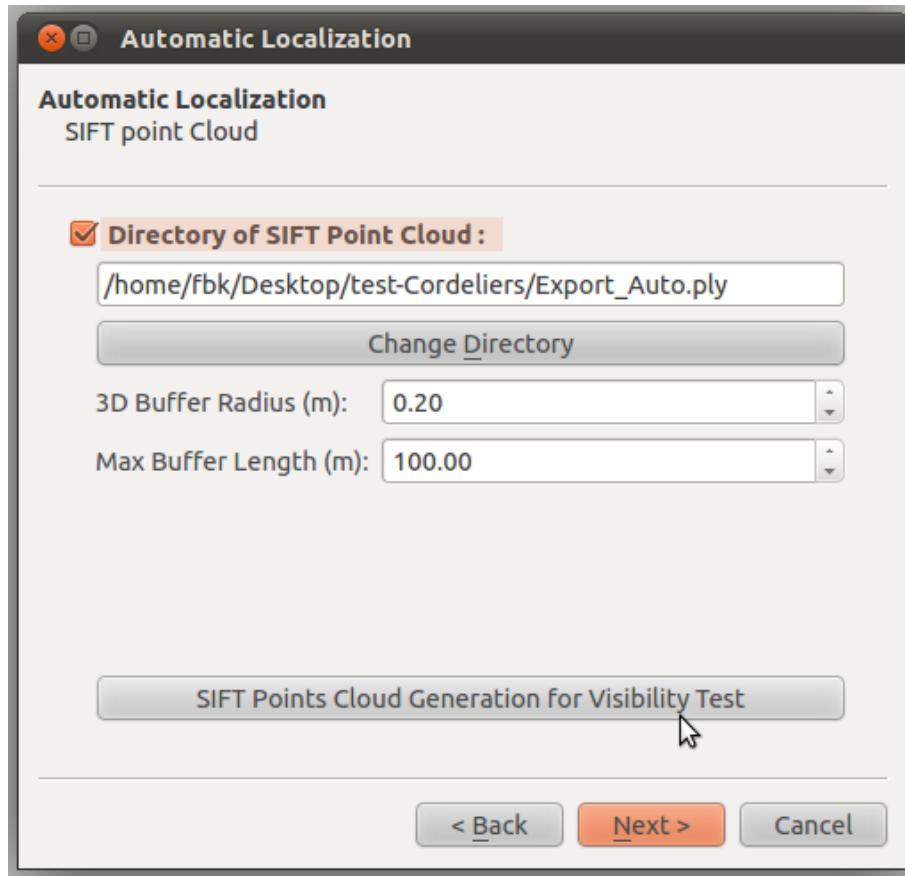


Figure 24 - Paramètres du test de visibilité

Enfin, l'utilisateur peut choisir les paramètres du positionnement automatique. Dans une première partie de la fenêtre, il peut choisir si le filtre de wallis doit être préalablement appliqué aux images pour améliorer la corrélation. De plus, il doit indiquer les paramètres de ce filtre (cf. chapitre 2 - section 4.1). Ensuite, viennent les paramètres propres à la recherche par corrélation. Il indique ainsi la taille initiale de la vignette test, et sa taille minimum s'il y a redimensionnement (cf. chapitre 2 - section 4.4). Ensuite, vient la profondeur de recherche, qui indique dans quel intervalle de profondeur projeter la vignette test pour définir la zone de recherche (cf. chapitre 2 - section 4.3). L'angle de coupure est l'angle maximum entre vignette de référence et zone à tester au-dessus duquel on ne fait pas la corrélation (cf. chapitre 2 - section 4.4). Le pas angulaire définit le pas de rotation effectuée par la vignette de référence en chaque position testée (cf. chapitre 2 - section 4.4). Dans le cas aérien, un pas de 180° suffit la plupart du temps puisque les bandes de la prise de vue sont généralement parallèles.

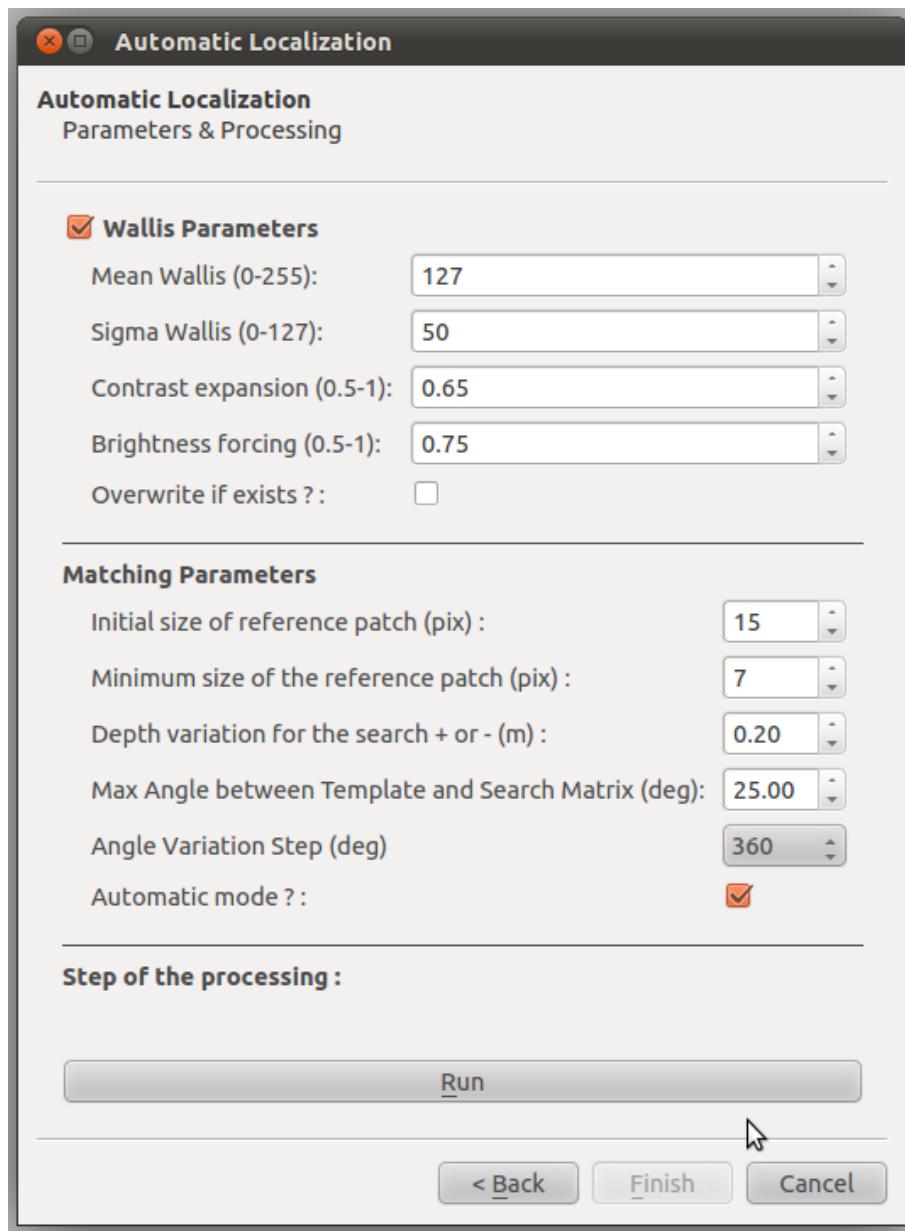


Figure 25 - Sélection des paramètres pour la corrélation

L'utilisateur peut aussi choisir de lancer le positionnement en mode manuel ou automatique. En mode manuel et pour chaque zone à corréler, l'utilisateur devra définir la vignette de référence, s'il y en a plusieurs, ainsi que la taille de la vignette à utiliser. En mode automatique, il n'a besoin que de sélectionner qu'une fois l'image de référence pour chaque point d'appui, s'il y a un choix entre plusieurs vignettes. Dans ce cas, la même vignette servira de référence pour le positionnement du point d'appui dans toutes les images.

7. Génération du nuage dense 3D

7.1. Interface de lancement du calcul

Cette interface permet de lancer le calcul d'un nuage 3D par corrélation. La première étape consiste à indiquer le répertoire de orientation absolue, ensuite il est nécessaire de définir les lots images maitresses/images associées en cliquant sur le bouton *Select Master Images*. Pour plus d'informations sur les paramètres ci-dessous, voir DocMicMac, page 169.

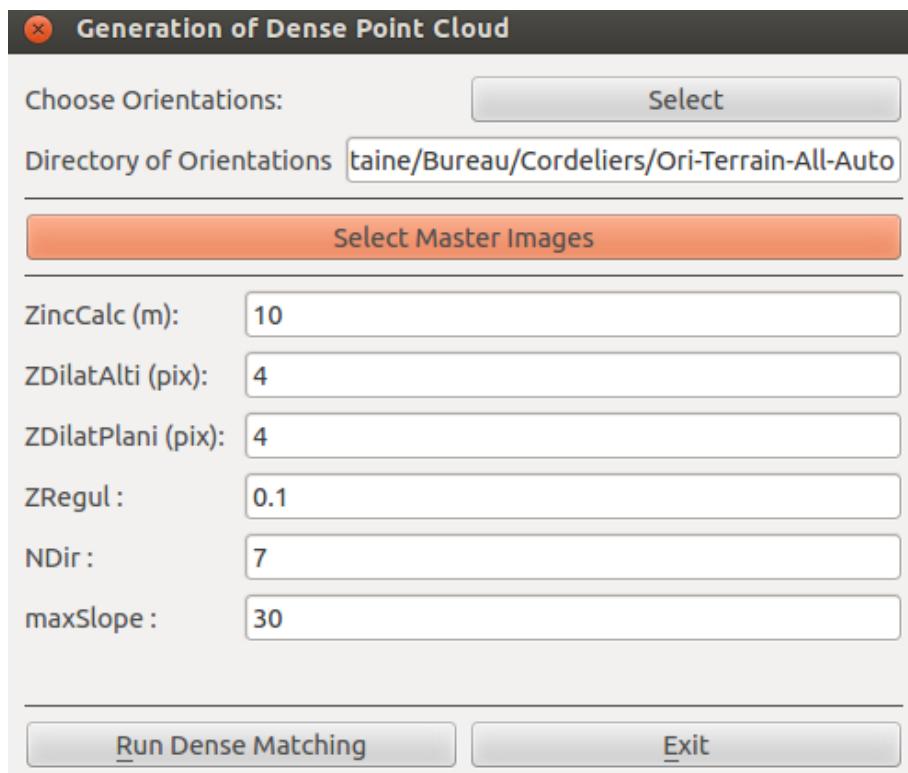


Figure 26 - Dense Stereo Matching

7.2. Choix des images maitresses et des masques

Afin de calculer un modèle 3D du chantier, il convient de définir les images maitresses, c'est à dire les images de référence pour la corrélation dense.

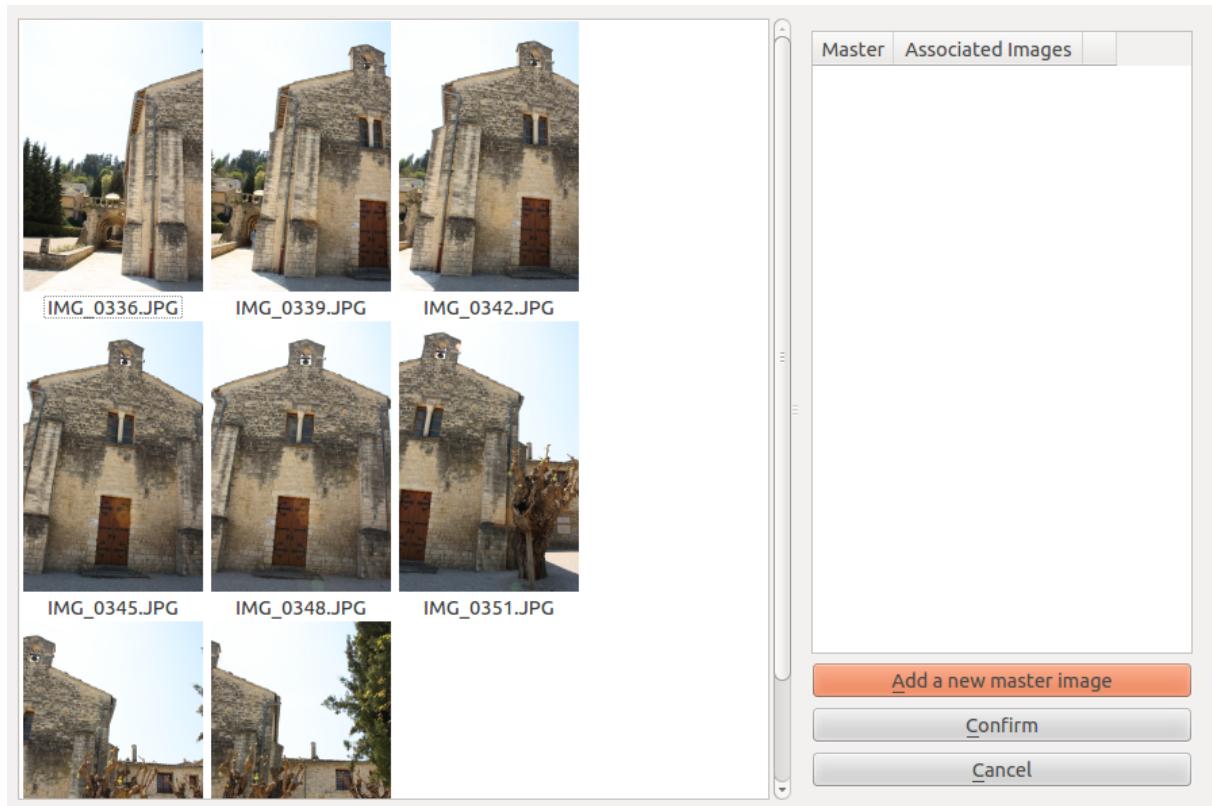


Figure 27 - Choix des images maitresses

L'interface permet de choisir les images maîtresse en cliquant sur *Add a new master image* puis en double-cliquant sur l'image dans la partie gauche. Il faut aussi définir les images associées, pour la corrélation. Il est alors juste nécessaire de double-cliquer sur les images. Elles s'ajoutent alors dans le tableau. Les croix dans la troisième colonne de l'interface permettent de supprimer les images de la liste des associations.

Enfin, il est nécessaire de définir un masque pour chaque image maîtresse, afin de limiter la zone dans laquelle se fera la corrélation. Pour ce faire il faut double-cliquer sur l'image maîtresse dans le tableau. L'outil *SaisieMasq* s'ouvre alors.

8. Visualisation du nuage 3D

Il est possible de visualiser le résultat de la corrélation dense dans une interface spécifique.

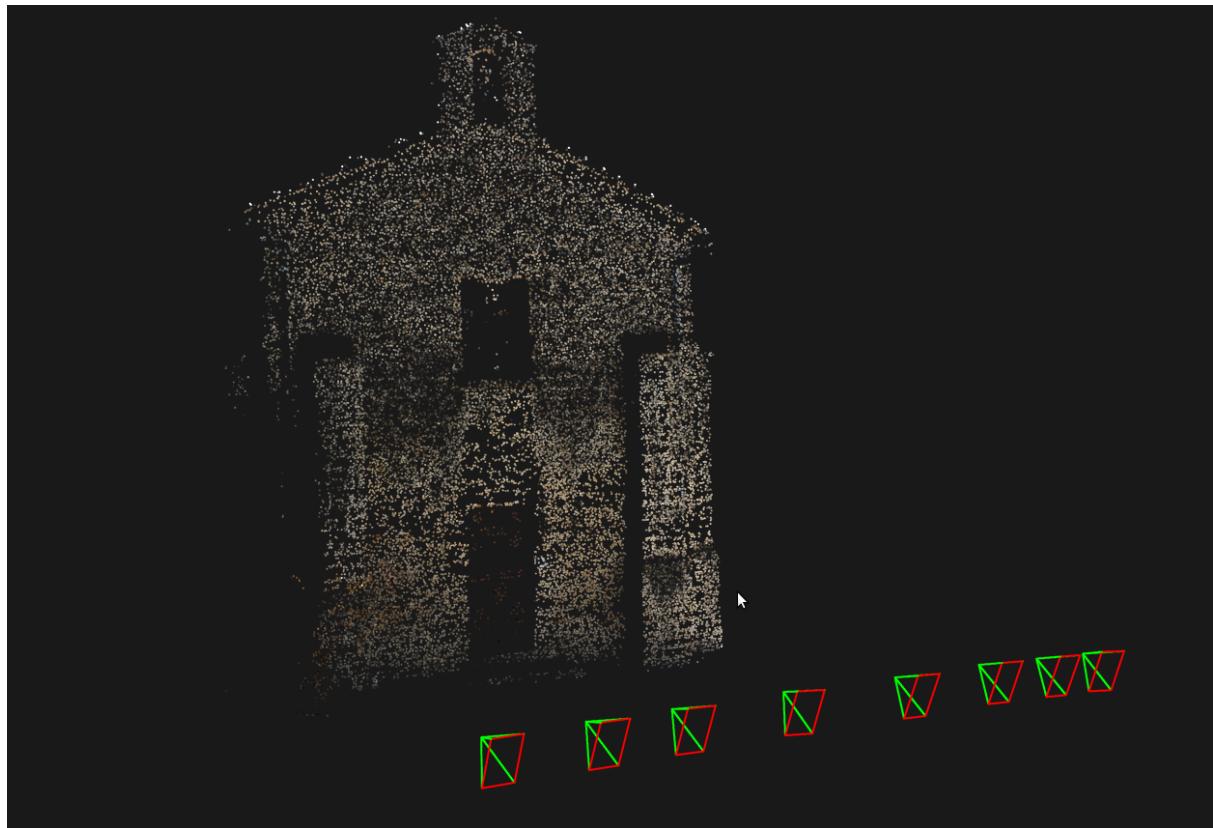


Figure 28 - Visualisation du nuage 3D

9. Statistiques

Enfin, une dernière interface permet d'accéder aux résidus image et terrain des points d'appuis. Cette interface pourra être améliorée par la suite en incluant d'autres informations, notamment sur les résidus images des points de liaisons.

CONCLUSION

L'interface développée permet de géoréférencer un chantier photogrammétrique à partir de l'orientation relative du projet, des mesures terrain des points d'appui ainsi que de quelques mesures manuelles sur les images. Un nuage de points SIFT 3D peut aussi être ajouté afin de limiter les erreurs dues aux occlusions. La première phase permet d'obtenir un chantier grossièrement géoréférencé à partir de mesures manuelles sur les images. Dans la seconde phase, les autres points d'appui peuvent être indiqués que sur une seule image. Ces deux nouvelles données permettent alors de positionner automatiquement les points d'appuis sur toutes les images sur lesquelles ils sont visibles. Enfin, un géoréférencement précis peut être effectué.

De plus il a été développé un interface pour générer les points de liaison de manière automatique, ainsi que calculer les orientations relatives et absolues. Enfin il a été développé une interface pour générer un nuage de points 3D par corrélation dense.

Il reste encore à améliorer la précision du positionnement automatique, en utilisant par exemple un least square matching afin d'obtenir un positionnement subpixellaire. De plus les interfaces développées pour le CATCON peuvent être améliorées afin d'offrir toutes les fonctionnalités de la suite *Pastis/Apero/MicMac*.

BIBLIOGRAPHIE

La bibliographie peut se découper en deux catégories: la première concerne le processus de positionnement automatique et la seconde la programmation à proprement parler.

Travaux universitaires

ZHANG, Li. *Automatic Digital Surface Model : Generation from Linear Array Images*. Thesis, Institute of Geodesy and Photogrammetry, Swiss Federal Institute of Technology - Zurich, October 2005, 200 p.

Je me suis intéressé au filtre de Wallis présenté dans cet ouvrage (pp 67-71) ainsi et sont utilisation afin d'améliorer les résultats d'une corrélation d'images. Il présente de plus différentes stratégies possibles pour la corrélation d'images. (pp 81-84).

REMONDINO, Fabio. *Image-Based Modeling for Object and Human Reconstruction*. Thesis, Swiss Federal Institute of Technology - Zurich, 2006, 160 p.

Je me suis intéressé à la géométrie épipolaire présentée dans cet ouvrage (pp 48-53).

Cours

CHANDELIER, Laure. *Photogrammétrie Analytique*. ENSG, 2011

Ce document explique les différentes étapes d'une aérotriangulation, et des corrections à apporter au modèle de la perspective conique, notamment la distorsion.

HEIPKE, C.. *Dense Stereo Matching*. ENSG, 2012

Ce document offre une vue d'ensemble des techniques de corrélations.

Sites web consultés

Documentation officielle de la librairie Qt. [référence d'août 2012], <http://doc.qt.nokia.com>

Ce site internet contient toutes les informations nécessaires pour l'utilisation des classes fournies par Qt.

Developpez.com. [référence d'août 2012], <http://qt.developpez.com>

De nombreux exemples et tutoriels Qt sont présents sur ce site. De plus, il contient un forum très actif qui m'a aidé dans les phases de débogage de mon programme.

Documentation

Pierrot-Deseilligny, Marc. *Documentation MicMac*. 24 Juin 2012

Documentation de la suite Pastis/Apero/Micmac, qui décrit le fonctionnement et les paramétrages des différents outils de la suite.

ANNEXES

Annexe 1 Format de fichier pour l'import de coordonnées terrain de points d'appui

Le fichier importé doit être au format texte et avoir le format suivant:

Nom CoordX CoordY CoordZ IncertX IncertY IncertZ

Exemple:

```
p01 662926.63 5099588.57 373.2 0.01 0.01 0.01  
p02 663499.68 5099784.73 246.59 0.01 0.01 0.01  
p03 663790.1 5100206.25 253.83 0.01 0.01 0.01  
p04 662966.35 5100789.63 301.91 0.01 0.01 0.01  
p05 663065.19 5099940.65 347.06 0.01 0.01 0.01  
p06 663450.08 5100970.57 253.11 0.01 0.01 0.01  
p07 664073.7 5100572.57 241.95 0.01 0.01 0.01  
p08 664320.08 5100763.98 239.25 0.01 0.01 0.01  
p09 663319.67 5100384.91 283.55 0.01 0.01 0.01  
p10 662896.99 5101233.1 307.36 0.01 0.01 0.01
```

Annexe 2 Annexes numériques

Exemples de fichiers de paramètres

Des exemples de fichiers de paramétrages sont donnés dans le répertoire "exemple_fichiers_parametres"

Code source

Le code source se trouve dans le dossier "code_source".

Installation du programme

Le manuel d'installation est disponible dans le même répertoire que ce rapport

Manuel développeur

Le manuel développeur se compose d'une documentation générée par DOxygen, et est présent dans le dossier "documentation_programmeur". Vous pouvez y accéder en lançant Manuel_Developpeur.html.