

# Chapitre 1

## Contexte

Pompei est une chaîne de traitement presque entièrement automatisée pour reconstruire des orthophotos à partir des images argentiques acquises tout au long du XX<sup>ème</sup> siècle et qui ont été scannées dernièrement. Jusqu'à présent, une première couverture de la France entière a été produite à partir d'images de 1950-1960, sous le nom de BD Ortho historique. Elle est disponible sur le site [Remonter le temps](#). Cependant, cette production a nécessité de nombreuses opérations manuelles, principalement pour saisir les points d'appuis. Pompei permet de produire ces orthophotos avec un nombre d'opérations manuelles particulièrement réduit et pour des résultats tout aussi bons. L'enjeu est de taille car l'IGN possède plus de 3,5 millions d'images argentiques scannées, acquises au cours de plus de 26000 chantiers, que ce soit en France métropolitaine, dans les DOM-TOM ou dans les anciennes colonies.

Pompei permet notamment de répondre à plusieurs défis techniques : recherche de repères de fond de chambre, construction d'orthophotos, recherche de points d'appuis et égalisation radiométrique. Pompei traite indifféremment les images en couleur (RVB ou IRC) ou bien les images à un seul canal (panchromatique ou infrarouge).

Pompei utilise le logiciel de photogrammétrie MicMac, ainsi que des scripts Python, bash et C++. Il est destiné à tourner uniquement sur des machines Linux.

Cette documentation présente d'abord une rapide description de Pompei afin de saisir le fonctionnement global de la chaîne de traitement. Ensuite, elle indique comment utiliser Pompei : les données en entrée nécessaires, les scripts à lancer par l'opérateur et une description des paramètres. Enfin, elle détaille la chaîne de traitement, notamment pour permettre une meilleure compréhension des paramètres à choisir.

# Table des matières

<b>1</b>	<b>Contexte</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Description rapide de Pompei</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Comment utiliser Pompei</b>	<b>12</b>
3.1	Installation . . . . .	12
3.1.1	Installation avec Docker . . . . .	12
3.1.2	Installation sans Docker . . . . .	12
3.2	Données en entrée . . . . .	12
3.3	Les commandes pour traiter un chantier . . . . .	13
3.3.1	Récupérer les images d'un chantier . . . . .	13
3.3.2	Contrôler le recouvrement des images dans un chantier . . . . .	14
3.3.3	Chaîne de traitement Pompei . . . . .	14
3.3.4	Scripts annexes . . . . .	14
3.4	Les paramètres . . . . .	15
3.5	Données en sortie . . . . .	15
3.5.1	Cas général . . . . .	15
3.5.2	Cas du calcul d'ortho sur MNT . . . . .	15
3.5.3	Cas du calcul d'ortho sur MNS . . . . .	15
3.6	Les points à contrôler au cours du traitement . . . . .	16
<b>4</b>	<b>Description détaillée de Pompei</b>	<b>18</b>
4.1	visualize_flight_plan.sh . . . . .	18
4.1.1	Visualiser les emprises au sol des clichés . . . . .	18
4.1.2	Vérifier que les images choisies appartiennent à la même acquisition . . . . .	18
4.1.3	Vérifier que des images ne sont pas isolées . . . . .	19
4.1.4	Vérifier que le recouvrement est suffisant en tout point . . . . .	19
4.1.5	Création de fichiers textes . . . . .	19
4.2	Pompei.sh . . . . .	19
4.2.1	convert_jp2.sh . . . . .	19
4.2.2	initialize_files.py . . . . .	19
4.2.3	correct_geometrically_images . . . . .	20
4.2.4	find_tie_points.sh . . . . .	22
4.2.5	filter_tie_points.sh . . . . .	22
4.2.6	first_absolute_orientation.sh . . . . .	22
4.2.7	second_absolute_orientation.sh . . . . .	24
4.2.8	download_ortho_MNS.sh . . . . .	24

4.2.9	find_GCP_downsampled_10.sh . . . . .	25
4.2.10	find_GCP.sh . . . . .	26
4.2.11	aero.sh . . . . .	26
4.2.12	create_ortho_mns.sh . . . . .	27
4.2.13	create_ortho.sh . . . . .	29
<b>5</b>	<b>Pompei rapide</b>	<b>39</b>
5.1	Jusqu'à download_ortho_MNS.sh . . . . .	39
5.2	pompei_rapide/appuisSousEch10.sh . . . . .	39
5.3	pompei_rapide/appuis.sh . . . . .	40
5.4	pompei_rapide/aero.sh . . . . .	40
5.5	create_ortho.sh . . . . .	40
<b>6</b>	<b>Pour aller plus loin</b>	<b>41</b>
6.1	Ajouter un chantier dans un Geoserver . . . . .	41
6.2	Interroger la base de données MisPhot . . . . .	41
6.3	Coloriser les images panchromatiques . . . . .	42
6.4	Classification . . . . .	42
6.5	Générer un nuage de points . . . . .	42

# Chapitre 2

## Description rapide de Pompei

Ce chapitre est une rapide description de Pompei. Chaque partie sera détaillée dans le chapitre 4.

Les images initiales sont des photos argentiques qui ont été scannées pour obtenir des images numériques (figure 2.1).

Toutefois, le support argentique a pu subir quelques déformations. Il s'est en effet écoulé plusieurs dizaines d'années entre l'acquisition des photos et leur numérisation. Il faut donc corriger les images numériques de ces déformations. Ainsi, on pourra vraiment supposer que toutes les images ont été acquises par une seule et même caméra avec des paramètres internes constants. Cela se fait grâce aux repères de fond de chambre (figure 2.2).

Ensuite, on cherche des points homologues, c'est-à-dire des points qui sont sur des images différentes et qui représentent la même chose (un angle d'un bâtiment par exemple) dans la réalité (figure 2.3).

À partir de ces points homologues, on détermine l'orientation relative des images, c'est-à-dire qu'on cherche comment sont disposés les clichés les uns par rapport aux autres dans un référentiel arbitraire (figure 2.4).

Grâce aux métadonnées où l'on y trouve une position approximative des sommets de prise de vue, on bascule le bloc d'images d'une orientation relative à une orientation absolue. On crée alors une première orthophoto dont le géoréférencement est approximatif à une centaine de mètres près (figure 2.5).

On récupère ensuite une orthophoto de référence (généralement la BD Ortho actuelle) et le MNS correspondant. Cette orthophoto de référence doit être parfaitement géoréférencée car c'est avec elle que l'on va chercher des points d'appuis. Les points d'appuis sont l'équivalent des points homologues, mais qui servent non pas à recaler les images entre elles, mais à les géoréférencer. Ce sont des points qui représentent les mêmes détails entre l'orthophoto ancienne

et l'orthophoto de référence (figure 2.6).

Avec ces points d'appuis, on affine l'orientation absolue dans une étape appelée aérotriangulation et on recalcule une orthophoto. Cette fois, le géoréférencement est précis de l'ordre du mètre si tous les calculs se sont bien déroulés.

Enfin, on applique un dernier traitement pour égaliser la radiométrie des images (figure 2.7).

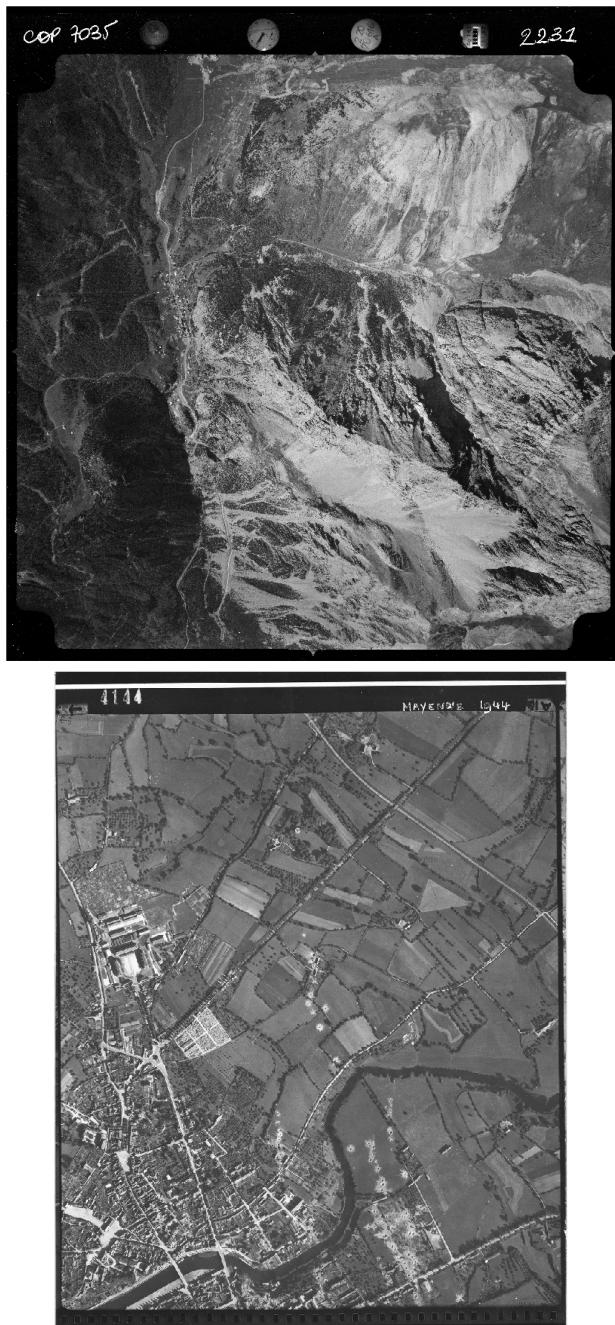


FIGURE 2.1 – Images argentiques numérisées

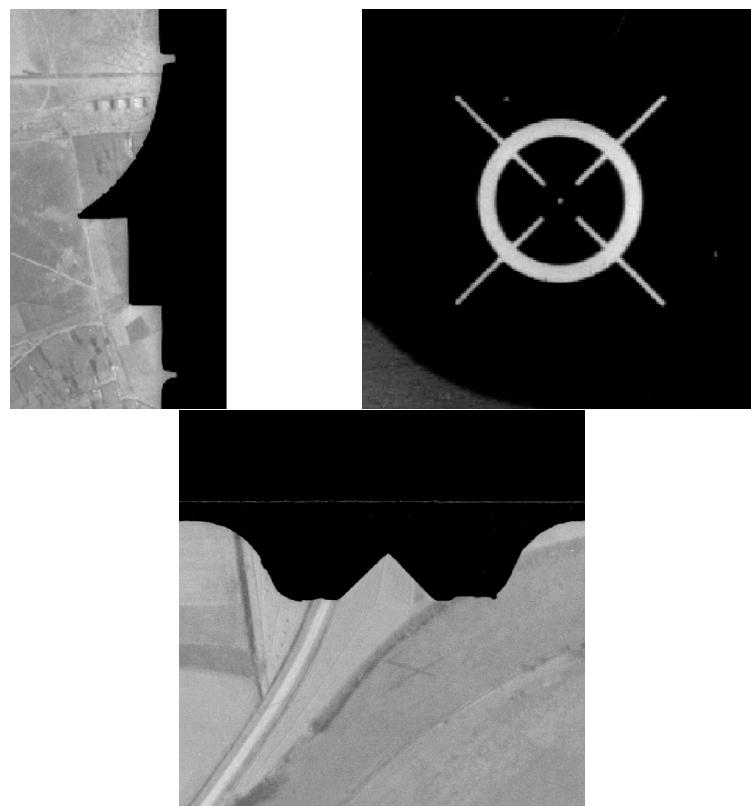


FIGURE 2.2 – Trois types de repères de fond de chambre

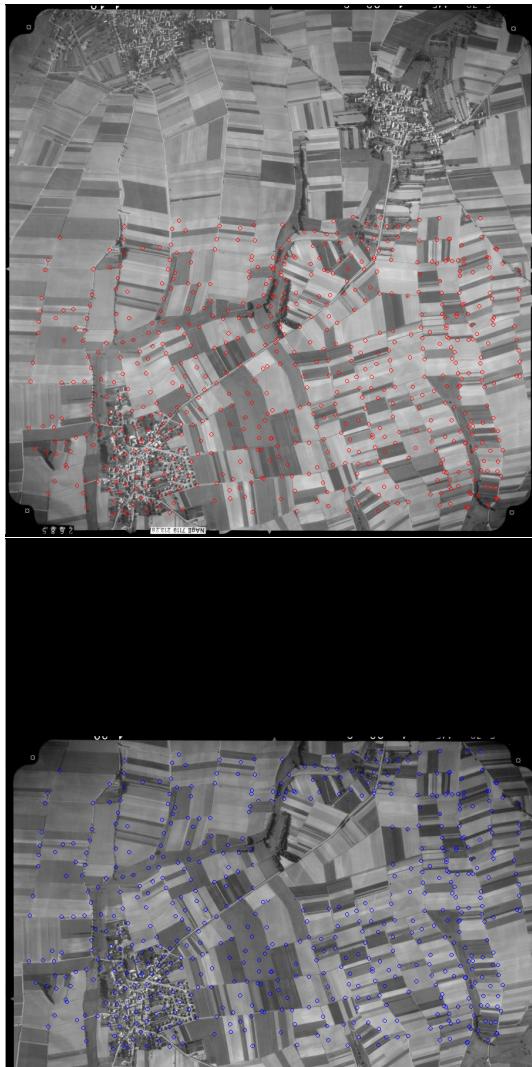


FIGURE 2.3 – Points homologues entre deux images

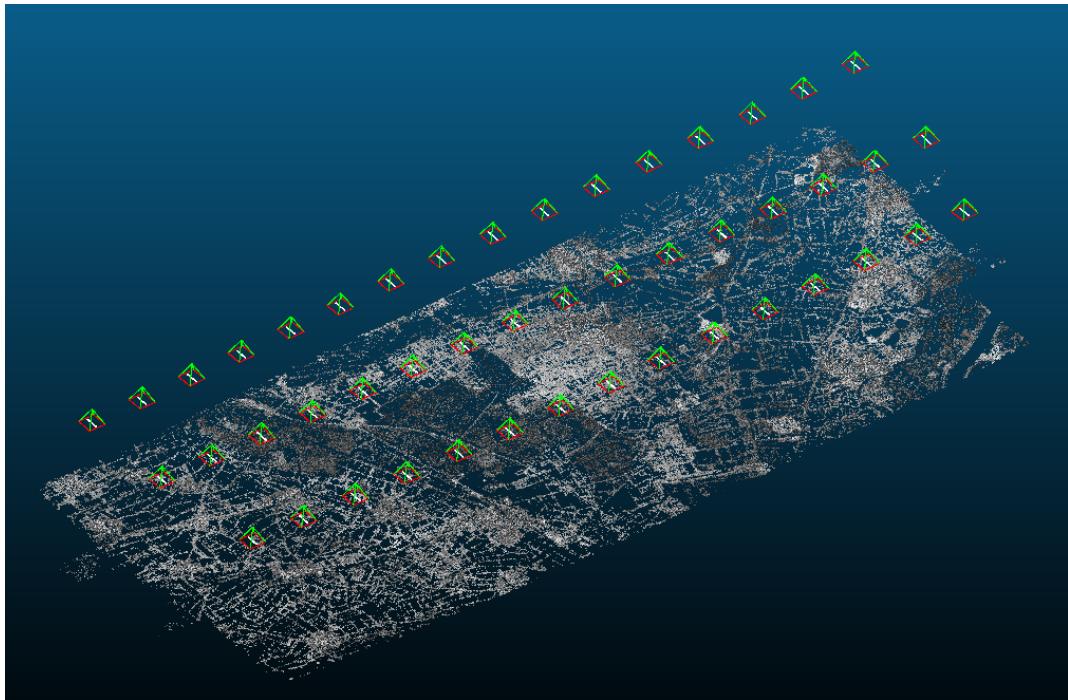


FIGURE 2.4 – Orientation relative visualisée avec CloudCompare



FIGURE 2.5 – Première orthophoto géoréférencée à quelques centaines de mètres près

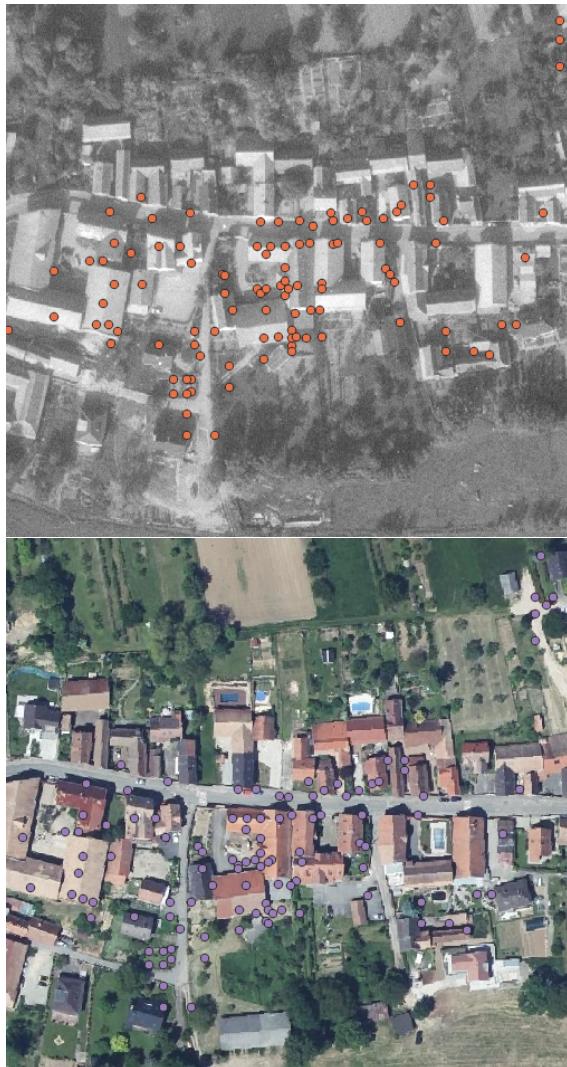


FIGURE 2.6 – Points d'appuis



FIGURE 2.7 – Résultat après égalisation radiométrique



FIGURE 2.8 – BD Ortho et résultat d'un chantier à la Réunion

## Chapitre 3

# Comment utiliser Pompei

### 3.1 Installation

Cloner le projet :

```
git clone https://github.com/IGNF/Pompei.git
```

#### 3.1.1 Installation avec Docker

Les commandes à exécuter pour installer avec Docker se trouvent dans le fichier `readme.md`.

Docker compile MicMac, installe l'environnement conda et fait le nécessaire pour que les interfaces de MicMac puissent s'afficher.

Avant de lancer un script, il ne faut pas oublier d'activer l'environnement conda Pompei. Un montage est fait entre le conteneur Docker et la machine hôte afin de pouvoir récupérer facilement les chantiers. Il faut donc correctement renseigner le répertoire de la machine hôte où se trouvera le montage

#### 3.1.2 Installation sans Docker

Il est possible d'installer sans Docker. Dans ce cas, il faut :

- installer Micmac : suivre la documentation sur [le dépôt Github MicMac](#)
- installer l'environnement conda

### 3.2 Données en entrée

Les données en entrée nécessaires pour Pompei sont :

- les clichés argentiques scannés au format jp2
- le fichier de métadonnées du chantier sous format xml. Il est notamment important d'y trouver la focale, les sommets de prises de vue et les emprises au sol (avec une précision de l'ordre de la centaine de mètres).

Il existe deux serveurs à l'IGN où sont stockées les images avec leurs métadonnées :

- `smb://dgs1209n015/` : On y trouve toutes les images numérisées antérieures à 2002 pour toutes les projections. Dans la très grande majorité des cas, le fichier de métadonnées se trouve dans le même dossier que les images

- smb ://misphot-srv.ign.fr/misphot/ : On y trouve tous les fichiers de métadonnées. Si le fichier de métadonnées est absent dans smb ://dgs1209n015/, alors il est très probable de l'y trouver ici.

### 3.3 Les commandes pour traiter un chantier

#### 3.3.1 Récupérer les images d'un chantier

Pour les personnes extérieures à l'IGN, il y a trois scripts pour télécharger automatiquement les images depuis [Remonter le temps](#).

La première commande récupère les chantiers disponibles :

```
python scripts/get_data.py --outdir outdir
```

Un fichier outdir/emprises.geojson est créé. Il contient :

- les emprises au sol
- la date de la mission (ne tenir compte que de l'année et pas du jour ni du mois)
- la résolution en mètres. Il s'agit d'une approximation calculée à partir de la hauteur de vol et de la focale définie dans les métadonnées de l'IGN
- la couleur. C : en RVB, P : panchromatique, IRC : infrarouge fausse couleur, IR : infrarouge
- le support. Nu : numérique, Ag : argentique
- prise de vue oblique. Pompei ne fonctionne pas avec les acquisitions en prise de vue oblique car il n'y a pas assez de recouvrement entre les images et les algorithmes de recherche de points d'appuis ne sont pas faits pour comparer images obliques et orthophoto acquises à la verticale.
- la taille de la focale en mm. Il s'agit d'une approximation issue des métadonnées, mais qui sert de valeur initiale lorsque Pompei déterminera la vraie valeur de la focale.

La deuxième commande récupère le plan de vol du chantier.

```
python scripts/get_flight_plan.py --
    footprints_file fichier_emprises --id
    id_chantier --outdir outdir
```

Avec :

- fichier\_emprises : chemin vers le fichier des chantiers disponibles, celui qui a été téléchargé avec le get\_data.py
- id\_chantier : l'identifiant du chantier souhaité : champ id du fichier emprises, sans le "dataset."
- outdir : répertoire où mettre les données pour le chantier

Ce script crée un fichier images.geojson. Vous pouvez l'ouvrir dans Qgis. Ce fichier contient les emprises au sol de tous les clichés du chantier. Sélectionnez les clichés qui vous intéressent et sauvegardez-les dans un nouveau fichier shapefile.

La troisième commande récupère les images sélectionnées et le TA d'un chantier :

```
python scripts/get_images.py --selection
    selection --id id_chantier --outdir outdir --
    epsg epsg
```

Avec :

- selection : chemin vers le fichier contenant les images choisies par l'utilisateur
- id\_chantier : l'identifiant du chantier souhaité : champ id du fichier emprises, sans le "dataset."
- epsg : epsg du chantier : il n'y a pas moyen de récupérer automatiquement l'EPSG du chantier, donc il faut le rentrer à la main ici
- outdir : répertoire où mettre les données pour le chantier

### **3.3.2 Contrôler le recouvrement des images dans un chantier**

La commande `visualize_flight_plan.sh` doit être lancé quelque soit le chantier. Elle permet notamment de visualiser le plan de vol afin de vérifier qu'il n'existe pas d'images isolées, ainsi que de déterminer certaines métadonnées importantes pour la suite (EPSG du chantier, emprise au sol globale du chantier).

Si le paramètre "all" est égal à 1, alors on visualise toutes les images présentes dans le fichier xml. S'il est égal à zéro, on ne visualise que les images présentes dans le répertoire de travail.

Pour ceux qui ont accès au store-ref de l'IGN, il faut ensuite monter `//store.ign.fr/store-ref/produits` dans `/media/store-ref` afin de pouvoir télécharger automatiquement la BD Ortho.

### **3.3.3 Chaîne de traitement Pompei**

On peut ensuite lancer le script principal `pompei.sh`. C'est ce script qui permet de lancer toute la chaîne de traitement.

### **3.3.4 Scripts annexes**

Enfin, il existe plusieurs scripts qui permettent de reprendre certaines parties du chantier lorsque l'on constate que l'on n'a pas choisi les bons paramètres pour certaines étapes. Ils créent un nouveau répertoire de travail, y recopient les données utiles depuis l'ancien répertoire de travail, et relancent Pompei. L'ancien répertoire de travail n'est pas modifié. Ce sont les scripts suivants :

- `pompei_after_convert_jp2.sh` : reprend à la recherche des repères des fonds de chambre
- `pompei_after_homolFilterMasq.sh` : reprend au calcul de l'orientation relative
- `pompei_after_Tawny.sh` : reprend au téléchargement de l'ortho de référence
- `pompei_after_download_BD_Ortho.sh` : reprend à la recherche de points d'appuis
- `pompei_before_aero.sh` : reprend au filtrage des points d'appuis par la BD Topo

## 3.4 Les paramètres

Voici une brève description des paramètres utilisés dans les différents scripts. Afin de bien comprendre comment les choisir, il est préférable de lire le chapitre 4.

- repertoire\_chantier : chemin vers le répertoire contenant le chantier : path (ou nouveau répertoire de travail pour les scripts de reprise)
- TA : chemin vers le fichier xml contenant les métadonnées : path
- nb\_fiducial\_marks (section 4.2.3) : nombre de repères de fonds de chambre à trouver sur chaque image pour corriger les éventuelles déformations des supports argentiques : int
- targets (section 4.2.3) : utiliser le détecteur d'objets YOLO pour chercher les repères de fond de chambre en forme de cibles : [0, 1]
- Kugelhupf\_apply\_threshold (section 4.2.3) : rechercher les repères de fond de chambre sur des images seuillées : [0, 1]
- remove\_artefacts (section 4.2.3) : ajouter un filtre spécifique pour ne pas tenir compte des artefacts lors de la recherche des points de liaisons : [0, 1]
- ortho (section 4.2.8) : type de données à utiliser comme orthophoto de référence : [storeref, wms, histo, dalles]
- algo (section 4.2.10) : algorithme à utiliser pour chercher les points d'appuis : [a, srtm]
- filter\_GCP (section 4.2.11) : filtrer les points d'appuis par la nature du terrain : [0, 1]
- create\_ortho\_mns (section 4.2.12) : produire une ortho vraie : [0, 1]
- create\_ortho\_mnt (section 4.2.13) : produire une ortho sur MNT : [0, 1]
- ancien\_repertoire : ancien répertoire de travail pour les scripts de reprise
- CPU : le nombre de CPU à utiliser pour les calculs : int

## 3.5 Données en sortie

A l'issue du traitement, de nombreuses données sont disponibles.

### 3.5.1 Cas général

Le fichier pompei.log récapitule toutes les valeurs importantes permettant un contrôle du chantier. Différents rapports se trouvent dans le dossier reports. Les fichiers geojson PtsAppuiCalcul.geojson et PtsAppuiMesure.geojson permettent de visualiser les points d'appuis qui ont servi au géoréférencement.

### 3.5.2 Cas du calcul d'ortho sur MNT

Dans le répertoire ortho\_mnt, il y a :

- l'ortho finale sous forme de tuiles accompagnées d'un fichier ortho.vrt
- une mosaïque qui indique l'image utilisée en tout point de l'ortho
- chaque photo aérienne projetée sur le MNT

### 3.5.3 Cas du calcul d'ortho sur MNS

Dans le répertoire ortho\_mnt, il y a :

- l'ortho finale sous forme de tuiles accompagnées d'un fichier ortho.vrt
- une mosaïque qui indique l'image utilisée en tout point de l'ortho
- chaque photo aérienne projetée sur le MNS
- un répertoire carte\_correlation

Le répertoire carte\_correlation contient :

- correlation.tif : la carte de corrélation du MNS en fusionnant tous les étages de la pyramide (en conservant pour chaque pixel la valeur calculée par le niveau de la pyramide le plus résolu)
- MNS\_Final.tif : le MNS produit en fusionnant tous les étages de la pyramide
- indicateur.tif : carte indiquant pour correlation.tif et MNS\_Final.tif le niveau de la pyramide utilisé
- carte\_interpolation.tif : carte indiquant les endroits où le MNS a été obtenu par interpolation des pixels adjacents

### 3.6 Les points à contrôler au cours du traitement

Tout au long du traitement d'un chantier, l'opérateur peut contrôler que les opérations se passent bien :

- Après la recherche de points de liaisons, le fichier rapports/resultat\_analyse\_Tapioca.txt indique pour chaque image le nombre de points de liaisons avec les autres images du chantier. Cela permet notamment de vérifier que le nombre de points interbandes est suffisant. Un nombre trop faible peut impliquer le retrait de l'image lors du Tapas ou bien, moins décelable, une mauvaise reconstruction matérialisée par un cisaillement dans la première ortho. Le fichier rapports/nb\_homologues.shp contient les mêmes informations mais sous format shapefile.
- Après l'orientation relative, un fichier AperiCloud\_Rel.ply permet de voir avec CloudCompare si les sommets de prises de vue sont bien orientés les uns par rapport aux autres. Si des images ne sont pas bien calées, il faut arrêter Pompei, les supprimer et relancer pompei\_after\_homolFilterMasq.sh.
- Après la bascule de l'orientation relative à l'orientation absolue, une première orthophoto est rapidement créée dans TA-Abs/TA\_LeChantier.tif en faisant l'approximation que l'altitude est constante sur tout le chantier. Du fait de cette approximation, l'orthophoto n'est pas très belle et les jointures entre photos ne sont pas bonnes. Toutefois, on peut voir s'il y a des problèmes de géométrie ou bien si des photos ne sont pas du tout à leur place. A nouveau, si des images posent problème, il faut les supprimer et relancer pompei\_after\_homolFilterMasq.sh.
- Une fois Tawny fini, une première orthophoto est générée avec un géoréférencement approximatif à une centaine de mètres près. Cette orthophoto se trouve dans Ortho-MEC-Malt-Abs-Ratafia/Orthophotomosaic.Tile\_\*\_\*.tif
- Une fois l'orthophoto de référence et le MNS téléchargés, un fichier vrt est créé pour mieux les voir (metadata/ortho/ORTHO.vrt et metadata/mns/MNS.vrt)
- On peut visualiser les points d'appuis trouvés sur les images sous-échantillonées

dans TraitementAPPssech10/ pts\_bdortho.geojson et TraitementAPPssech10/pts\_orthomicmac\_abs.geojson

- On peut visualiser les points d'appuis dans TraitementAPP/ pts\_bdortho.geojson et TraitementAPP/ pts\_orthomicmac\_abs.geojson.
- Lors de l'aéro, on peut vérifier l'écart-type sur les résidus des points d'appuis, le nombre de points d'appuis supprimés et l'erreur moyenne sur les résidus des points d'appuis
- Les fichiers PtsAppuiCalcul.geojson et VecteursResidusAppui.geojson montrent la position des points d'appuis après la compensation. Ils permettent aussi de s'assurer que les points sont bien répartis sur l'ensemble du chantier.

# Chapitre 4

## Description détaillée de Pompei

### 4.1 visualize\_flight\_plan.sh

Cet algorithme est le premier à exécuter. Il permet de :

- visualiser les emprises au sol des clichés
- vérifier que les images choisies appartiennent à la même acquisition
- vérifier que des images ne sont pas isolées
- vérifier que le recouvrement est suffisant en tout point
- créer trois fichiers textes : bbox.txt, EPSG.txt et nb\_colors.txt

#### 4.1.1 Visualiser les emprises au sol des clichés

Le fichier xml du chantier est lu et les emprises de chaque cliché sont converties en un fichier shapefile (flight\_plan/flight\_plan.shp). Les positions des emprises sont approximatives mais cela permet d'avoir une bonne idée sur la possibilité que des clichés soient isolés du reste du chantier. C'est également avec ce fichier shapefile que l'opérateur voit si le chantier est constitué d'un seul axe, ce qui est important à préciser dans les paramètres de pompei.sh (force\_vertical).

Le fichier shapefile dispose d'un champ nb\_vl qui indique le numéro du vol auquel appartient le cliché. Il faut vérifier que tous les clichés appartiennent au même plan de vol. S'ils n'appartiennent pas au même vol, cela signifie que les clichés ont été acquis par des caméras qui n'avaient pas les mêmes paramètres internes. Or Pompei n'est pas fait pour traiter les cas avec plusieurs caméras. Il enverra alors une erreur "Attention, il y a n caméras dans le chantier" dans le script principal.

#### 4.1.2 Vérifier que les images choisies appartiennent à la même acquisition

Un chantier peut être acquis en plusieurs vols, avec possiblement des caméras différentes (Figure 4.1). Dans le fichier flight\_plan.shp, il y a un attribut "nb\_vl" qui indique l'identifiant du vol. Pompei gère à présent les chantiers où il y a plusieurs caméras.

#### **4.1.3 Vérifier que des images ne sont pas isolées**

Pour vérifier que des images ne sont pas isolées, on applique un buffer dont la taille est égale à 10 % du côté le plus petit des emprises. On fusionne toutes les emprises qui se superposent et on compte le nombre d'objets résultants (Analyse\_Plan\_Vol/buffer\_merged.shp). S'il y en a au moins deux, alors une alerte est émise. Il est préférable alors de supprimer du chantier les images isolées.

#### **4.1.4 Vérifier que le recouvrement est suffisant en tout point**

On vérifie également que le recouvrement est correct en tout point du chantier. En effet, on ne peut construire des orthophotos que dans les endroits vus par au moins deux images. Dans les chantiers les plus anciens (avant 1950), les acquisitions aériennes ne respectent pas toujours des recouvrements suffisants intra-bandes et interbandes. Le fichier Analyse\_Plan\_Vol/recouvrement\_merged.shp présente les endroits du chantier vus par au moins deux images. Si pour certains chantiers il y a trop de trous dans certaines zones, il est préférable de supprimer les images problématiques.

#### **4.1.5 Crédation de fichiers textes**

Trois fichiers sont créés :

- bbox.txt : contient la boîte englobante du chantier
- EPSG.txt : contient l'EPSG du système de projection du chantier
- nb\_colors.txt : contient le nombre de canaux des images (1 ou 3)

Après avoir supprimé des images, il est préférable de relancer cette commande. Le fichier bbox.txt sera mis à jour et cela permettra notamment de télécharger moins de dalles de MNS et d'orthophotos.

### **4.2 Pompei.sh**

#### **4.2.1 convert\_jp2.sh**

On convertit les clichés numérisés du format jp2 au format tif. Les fichiers jp2 ne seront plus utilisés par la suite.

#### **4.2.2 initialize\_files.py**

Ce script lit le fichier xml et construit les fichiers indispensables pour la suite du traitement :

- SommetsNav.csv : fichier contenant la position et l'orientation approximative des sommets de prise de vue pour chacun des clichés
- Un dossier Ori-CalibNum contenant un fichier avec les paramètres de la caméra dans un fichier xml
- id\_reperes.txt : fichier contenant les id des points fiduciaux

Ce script construit également deux fichiers sh qui dépendent du chantier : correct\_geometrically\_images.sh et find\_tie\_points.sh :

- correct\_geometrically\_images.sh nécessite un nom d'image. Il dépend également de la présence de repères de fond de chambre et donc de l'étape de trouver les repères et de rééchantillonner les images
- Tapioca nécessite de connaître la taille des images

#### 4.2.3 correct\_geometrically\_images

Dans cette étape, on cherche à corriger les éventuelles déformations du support argentique à l'aide des repères de fond de chambre. Trois paramètres permettent à l'opérateur de traiter cette étape :

- nb\_fiducial\_marks
- Kugelhupf\_apply\_threshold
- cible

##### Absence de repères de fond de chambre

Dans les chantiers les plus anciens, les repères de fond de chambre sont parfois absents. Dans ce cas, il faut fixer nb\_fiducial\_marks à 0. Pompei n'essaiera pas de corriger les déformations des images. Si les repères de fond de chambre sont de qualité trop médiocre, alors on peut préférer ne pas corriger les déformations en espérant que ce ne soit pas trop problématique pour la suite. La valeur des deux autres paramètres importe alors peu.

Sans chercher de repères de fond de chambre, le risque est que la calibration interne ne soit pas la même pour toutes les images. Par exemple, si selon les images il y a eu un petit décalage lors de la numérisation, le PPa ne sera pas au même endroit, ce qui posera problème par la suite. De même, si le support argentique était gondolé pendant la numérisation, ce sont les paramètres de distorsion qui seront différents selon les images.

##### Repères de fond de chambre en forme de cible

Si les repères sont assez nets, alors il faut donner à nb\_fiducial\_marks le nombre de repères de fond de chambre à retrouver sur chaque cliché (au moins 3).

Si les repères de fond de chambre sont des cibles (figure 4.5), alors la détection peut se faire avec le détecteur d'objets YOLO dont un modèle entraîné spécialement pour ce type de tâche se trouve dans Pompei. Il faut alors mettre le paramètre cible à 1, peu importe la valeur de Kugelhupf\_apply\_threshold. Si, sur une image, le nombre de repères de fond de chambre trouvés ne correspond pas à la valeur indiquée par nb\_fiducial\_marks, alors l'opérateur est invité à saisir la position des repères via l'interface MicMac SaisieAppuisInit.

##### Autres repères de fond de chambre

Si les repères de fond de chambre ne sont pas des cibles, alors il s'agit de forme géométriques à cheval sur le contour et la photo. La recherche des repères de fond de chambre se fait à l'aide des outils MicMac.

- L'opérateur indique la position des repères sur une seule image (SaisieAppuisInit).
- L'opérateur saisit les zones où sont susceptibles de se trouver les repères sur toutes les images (SaisieMasq).

- Par corrélation, MicMac va retrouver la position des repères sur les autres images (FFTKugelhupf)
- MicMac rééchantillonne les images (ReSampFid)

Dans le cas où les résidus de la corrélation sont trop élevés pour certaines images, alors l'opérateur est invité à saisir la position des repères via l'interface MicMac SaisieAppuisInit pour ces images problématiques.

Le problème de la recherche par corrélation avec ce type de repères, c'est qu'ils sont à cheval sur l'image et les contours et que cette partie image du repère n'est pas constante d'un cliché à l'autre. La corrélation peut alors donner des résidus très élevés, voire des résultats faux. C'est pourquoi il y a possibilité d'appliquer la corrélation sur des clichés seuillés : 0 lorsque la radiométrie est inférieure à 20, 255 sinon. Pour réduire le bruit, une ouverture est appliquée sur ces images seuillées. Pour effectuer la recherche de repères sur les images seuillées, alors il faut fixer Kugelhupf\_apply\_threshold à 1. Toutefois, cela ne marche pas si le contour n'est pas suffisamment sombre sur les images d'origine ou sur les repères où le motif est très fin (à cause de l'ouverture).

### Rééchantillonnage des images

On dispose de la position des repères de fond de chambre sur toutes les images. On peut donc calculer la position moyenne des repères puis rééchantillonner les images (commande ReSampFid de MicMac) de manière à ce que les repères de toutes les images se superposent parfaitement. Les images ainsi obtenues sont ./OIS\_Reech\*.tif. Les paramètres de la caméra (PPA, taille de l'image et PPS) sont modifiés pour correspondre aux nouvelles images. Le fichier de la nouvelle calibration se trouve dans Ori-CalibNum. Ces paramètres ne sont encore que très approximatifs. Ils seront affinés lors des calculs d'orientations relatives et de l'aéro.

### Saisie des masques

L'opérateur doit ensuite saisir un masque avec SaisieMasq pour ignorer les zones noires qui subsistent sur les images et qui correspondent au contour sur les images argentiques. En effet, il est possible que des points de liaisons soient trouvés à cheval sur les contours et les images, ce qui fausserait les calculs d'orientation relative. Ce masque permet de filtrer les points de liaisons et aussi indiquer à MicMac pour le reste des traitements les zones à ignorer.

Dans le cas où des écritures sont présentes au milieu des images (figure 4.8), l'utilisateur doit saisir un deuxième masque pour ignorer les zones d'écritures et les zones noires du contour. Ce masque sert à filtrer les points de liaison, mais pas à supprimer ces zones lors des constructions des orthophotos. Sans cela, la reconstruction de l'orientation relative peut être problématique. Cela implique aussi que ces écritures sont visibles dans le résultat final. Pour ce faire, l'opérateur doit fixer la valeur 1 au paramètre remove\_artefacts.

Il est indispensable de faire la différence entre les deux masques. Le premier masque ne peut pas servir à supprimer les artefacts, sinon les résultats sur l'égalisation radiométrique en pâtissent (figure 4.9).

### **SaisieAppuisInit de Micmac**

Pour enregistrer un point : cliquer sur le centre d'un repère de fond de chambre : Maj+clic gauche. Puis Pts et cliquer sur l'identifiant du point en haut à droite.

Sur toutes les images où l'opérateur doit repointer les repères, il est essentiel d'attribuer le même identifiant à tous les points qui sont dans les mêmes zones des images. Ceci est valable sauf dans le cas de la détection automatique des cibles avec YOLO où l'opérateur ne connaît pas l'identifiant des points trouvés par le détecteur d'objets. Dans ce cas, peu importe l'ordre des identifiants, Pompei se charge d'associer les bons identifiants.

### **SaisieMasq de Micmac**

Pour sélectionner une zone, chaque clic ajoute un point au polygone. Pour fermer le polygone, Maj+clic gauche.

Pour enregistrer les zones, clic droit puis Exit.

Le masque doit couvrir les zones où peuvent potentiellement se trouver des repères de fond de chambre.

Pour retirer une partie au milieu du masque, faire un clic droit et sélectionner "coul", puis délimiter la zone à retirer du masque.

#### **4.2.4 find\_tie\_points.sh**

Dans ce script, on convertit le fichier SommetsNav.csv qui contient la position approximative des sommets de prise de vue en format MicMac. On génère également un fichier xml qui indique à MicMac sur quelles paires d'images il faut effectuer la recherche de points de liaisons. Ensuite, on recherche les points de liaisons avec Tapioca. On peut visualiser les points de liaisons sur un couple d'images avec la commande suivante (après s'être mis à la racine du chantier) :

```
mm3d SEL ./ [OIS-Reech-image1.tif] [OIS-Reech-
image2.tif] KH=N
```

#### **4.2.5 filter\_tie\_points.sh**

On filtre les points de liaisons, trouvés par Tapioca, par le masque défini par l'opérateur.

#### **4.2.6 first\_absolute\_orientation.sh**

##### **Calcul de l'orientation relative**

Avec Martini et Tapas, on calcule l'orientation relative des images. Il est possible que certaines images ne s'intègrent pas bien dans le chantier, généralement parce qu'elles sont isolées des autres images ou parfois juste parce que Tapas n'y parvient pas.

Tapas effectue 3 "steps" composées chacune d'un nombre variable "d'Iter". Dans chaque itération, Micmac fournit pour chaque image le résidu en pixels (ER2) et le pourcentage de points de liaisons qui sont considérés comme valides

par le calcul (Nn).

Une fois que Tapas est terminé, un script analyse le rapport de Tapas. S'il trouve des images qui posent problèmes, alors elles sont retirées du chantier et Tapas est relancé sur les images restantes. Une image est considérée comme problématique si ER2 est égal à -nan ou si Nn est inférieur à 50.

Toutefois, lorsque l'erreur est Ill distorsion, on ne peut pas aller plus loin. Le chantier est trop problématique pour pouvoir produire une orthophoto. Il faut alors vérifier que le recouvrement entre les images est suffisant, que la correction géométrique s'est bien passée et supprimer les images qui sont plus susceptibles que d'autres de poser problème. Pour supprimer une image, il suffit de retirer l'image OIS-Reech de la racine du répertoire de travail.

On peut considérer qu'un calcul d'orientation relative est très satisfaisant si les résidus sont inférieurs à 1,5 pixel et que la proportion des points de liaisons conservés est au-dessus de 90%.

### AperiCloud

AperiCloud crée un fichier ply qui contient les points homologues et les sommets de prises de vue. Il faut le regarder avec CloudCompare (ou un autre logiciel équivalent) car parfois, à l'issue de Tapas, malgré l'analyse du rapport, certaines images ne sont pas bien recalées avec les autres (elles sont positionnées au mauvais endroit, ou bien elles se trouvent 300 mètres au-dessus des autres). Dans ce cas, il faut relancer Tapas après avoir supprimé du chantier l'image problématique.

### CenterBascule

Dans Pompei, on dispose de la position approchée (à une centaine de mètres près) des sommets de prise de vue dans un fichier csv. Ce fichier csv a été converti précédemment par la commande MicMac OriConvert en un dossier orientation (Ori-Nav) qui est le format accepté par les autres commandes MicMac. On va chercher à obtenir une première estimation de l'orientation absolue en utilisant cette position approchée des sommets de prise de vue. La commande MicMac CenterBascule minimise la norme L1 entre position des sommets dans l'orientation absolue et position des sommets du fichier csv. Les orientations résultantes sont dans le dossier Ori-Abs. Cette orientation absolue est donc très approximative car elle est faite à partir de positions données à 100 mètres près.

Dans le cas où le chantier est constitué d'un seul axe, il est possible qu'il y ait une erreur non négligeable sur le roulis, ce qui est problématique pour la suite. Pompei détecte automatiquement ce cas de figure : il impose alors un roulis nul, ce qui constitue une bonne approximation de la réalité, approximation qui sera affinée lors de l'aéro quand on aura les points d'appuis.

## Tarama

Enfin, avec Tarama, une orthomosaïque est construite rapidement en faisant l'approximation que l'altitude est la même en tout point du terrain. Les résultats de Tarama sont dans TA-Abs. Cette orthomosaïque a uniquement pour but d'offrir un contrôle de cette première reconstruction, tout comme AperiCloud. Il ne faut pas s'attendre à une orthomosaïque parfaite avec de belles jonctions entre images, mais si une image pose problème, on le remarque immédiatement.

### 4.2.7 second\_absolute\_orientation.sh

On dispose d'une orientation absolue grossière. Il faut donc obtenir à présent une orientation absolue précise.

Pour réduire le temps de calcul, on réduit le nombre de points homologues. Ratafia conserve les points homologues les plus importants : on garde une distribution homogène et on conserve les points homologues avec un haut degré de multiplicité (présents sur plusieurs images) et de bonne qualité. Le fichier Homol est modifié pour ne garder que ces points importants.

On relance le calcul de l'orientation dans le repère absolu avec Campari avec les nouveaux points homologues. Le calcul se fait en deux étapes : dans la première étape, on fixe les paramètres de la caméra, on ne modifie que les positions et les orientations des sommets de prise de vue ; dans la deuxième étape, on permet à l'algorithme d'ajuster les paramètres de calibration.

Avec Malt, on construit des cartes de profondeur à différents niveaux de zoom et un MNS (dossier MEC-Malt-Abs). Tawny, à partir des résultats de Malt, produit une orthophoto dans Ortho-MEC-Malt-Abs. On constate que sur ces orthophotos on distingue les limites entre les différentes images car la radiométrie n'est pas la même.

### 4.2.8 download\_ortho\_MNS.sh

On commence par remettre à jour le fichier metadata/bbox.txt car il est possible que l'emprise soit plus réduite dans le cas où des images n'ont pas passé l'étape du Tapas.

On récupère ensuite l'orthophoto de référence et le MNS actuel. C'est sur l'ortho de référence que l'on cherchera les points d'appuis. Le MNS servira à récupérer l'altitude de ces points d'appuis ainsi qu'à fournir une solution initiale à Malt lors du calcul du MNS ancien (très utile en zone de montagne).

Il y a quatre valeurs possibles pour le paramètre ortho :

- storeref : les dalles sont directement récupérées sur le store-ref de l'IGN.  
Pour cela, il faut avoir au préalable monté sur l'ordinateur [//store.ign.fr/store-ref/produits](http://store.ign.fr/store-ref/produits) dans /media/store-ref.
- wms : les dalles sont récupérées via le flux WMS des Géoservices de l'IGN.  
Par rapport à storeref, c'est plus long à télécharger et les données sont de moins bonne qualité, mais c'est accessible aux personnes extérieures

à l'IGN. Les données sont rééchantillonnées à la résolution de l'ortho produite par le premier Malt/Tawny.

- histo : pour les chantiers plus anciens qui concernent des zones qui ont considérablement changé, il peut être difficile, même pour un humain, de trouver des points d'appuis (La Défense vers 1950 par exemple). On peut récupérer des chantiers précédemment calculés par Pompei disponibles sur un Geoserver. Le téléchargement se fait alors uniquement par flux WMS. Pour chaque dalle, on regarde s'il existe un chantier dans le Geoserver qui recouvre l'emprise de cette dalle. Si de tels chantiers existent, alors on récupère le chantier le plus ancien. Si un tel chantier n'existe pas, alors on récupère la BD Ortho. Les dalles sont téléchargées à la résolution du chantier actuel, quitte à ce que le Geoserver fasse un rééchantillonnage. Dans scripts/download\_ortho\_MNS\_geoserver.py ; il faut compléter la variable adresse\_geoserver avec l'adresse de votre geoserver (exemple : http://127.0.0.1:8850/geoserver/)
- dalles : La BD Ortho n'est pas toujours disponible, par exemple pour les chantiers dans les anciennes colonies françaises. Dans ce cas, il faut mettre les dalles d'images Pléiades dans metadata/ortho\_temp. Ces dalles doivent être en jp2 ou en tif. Pompei se charge de télécharger le SRTM qui servira de MNS et de découper les images Pléiades en petites dalles. Ce mode fonctionne en théorie avec tout type d'orthophotos géoréférencées sous forme de dalles, mais n'a été testé que pour des images Pléiades.

Une fois les dalles téléchargées, on applique un gdal\_translate sur ces dalles pour être sûr qu'elles respectent toutes les contraintes du format tif. Sans cela, il arrive que ces dalles ne soient pas pris en compte par les scripts de recherche de points d'appuis. Enfin, on construit un vrt sur les dalles de l'ortho et du MNS afin de pouvoir mieux les visualiser pour contrôler les résultats de l'algorithme.

Certains chantiers ont lieu au niveau de la frontière. Le MNS n'est donc pas disponible. Cela faussera donc la solution initiale pour la reconstruction du MNS ancien. En zone de montagne, cela peut s'avérer problématique. En conséquence, on complète le MNS par le MNT issu du SRTM. Il est beaucoup moins résolu, mais comme il ne s'agit que d'une solution initiale, c'est largement suffisant. Le MNS qui servira de solution initiale est metadata/mns/MNS\_sscech4.tif.

#### 4.2.9 find\_GCP\_downsampled\_10.sh

L'idée est de faire une recherche de points de liaisons entre l'orthomosaïque obtenue et l'orthophoto de référence. L'algorithme utilisé pour la recherche de points de liaisons donne de bons résultats seulement sur les images de petite taille. Afin que l'appariement fonctionne, on découpe en dalles de 1000 pixels la BD Ortho et l'orthomosaïque (des carrés autour de 500 mètres de côté). Or l'orientation absolue est pour le moment précise à quelques centaines de mètres. Donc rien ne garantit que les dalles de la BD Ortho correspondent aux dalles de l'orthomosaïque. Pour cela, on fait un premier appariement sur des dalles de 5 km de côté. A l'issue de ce premier appariement, on dispose d'une translation à appliquer aux dalles non rééchantillonnées afin d'être certains qu'elles correspondent.

Dans ce script, les orthomosaïques créées par Tawni dans deuxième\_mise\_en\_place

sont donc sous-échantillonnées d'un facteur 10 et découpées en dalles. On fait pareil avec la BD Ortho de façon à ce que les dalles de la BD Ortho et de l'orthomosaïque se superposent parfaitement. On cherche les points homologues sur chaque paire de dalles avec la méthode Aubry 2014 et on rassemble tous les points homologues dans un référentiel commun. Les points homologues sont enregistrés dans TraitementAPPssech10/resultpi.

Pour éviter que le calcul de la translation ne soit interminable, on ne conserve que 1000 points aléatoirement.

#### 4.2.10 find\_GCP.sh

On récupère les points d'appuis trouvés dans l'étape précédente et on calcule la translation à appliquer sur la BD Ortho afin que les dalles correspondent avec celles de l'orthomosaïque. On découpe la BD Ortho et l'orthomosaïque en dalles et on recherche avec l'aide d'Aubry 2014 les points de liaison.

On récupère ensuite l'altitude des points à l'aide du MNS dans le repère ortho ancienne (repère dans lequel se trouvent les orientations des photos et qui n'est encore qu'approximatif) et dans le repère ortho de référence (repère dans lequel il faut recalier les images). Les points d'appuis sont sauvegardés dans GCP-S2D.xml (pour le repère ortho ancienne) et dans GCP.xml (pour le repère ortho de référence).

D'autres algorithmes ont été testés : SuperGlue, Disk et LoFTR. Disk et LoFTR ne donnent pas d'aussi bons résultats que SuperGlue et Aubry. SuperGlue est beaucoup plus rapide qu'Aubry mais est moins robuste dans le cas d'images de mauvaises qualités. SuperGlue trouve des points d'appuis principalement dans les zones urbaines. Il faut donc éviter de l'utiliser dans des chantiers où la répartition des zones bâties laisse à désirer. Aubry est beaucoup plus polyvalent comme algorithme.

Le choix de l'algorithme se fait avec le paramètre algo : a pour Aubry, s pour SuperGlue. Pour le moment, le problème d'utilisation de la license très restrictive de SuperGlue n'a pas été réglé, donc ce morceau de code n'est pas rendu public.

Un test a aussi été réalisé en utilisant la recherche de points d'appuis en comparant le MNS historique avec un MNS de référence. En l'occurrence, le MNS de référence utilisé ici est le SRTM. Ce mode est vraiment à n'utiliser que dans les cas extrêmes car le MNS du SRTM fait 30 mètres de résolution...

#### 4.2.11 aero.sh

Dans cette étape, le chantier est recalé finement grâce aux points d'appuis trouvés précédemment.

##### Ajouter des points d'appuis manuellement

Pour certains chantiers difficiles, on souhaiterait éventuellement ajouter à la main des points d'appuis. Pour cela, il faut ajouter dans le chantier deux fichiers

shapefile contenant le même nombre de points. Le premier, ajout\_appuis\_BDortho.shp, doit contenir les points d'appuis dans le repère de l'orthophoto de référence. Le deuxième, ajout\_appuis\_histo.shp, doit contenir les points d'appuis dans le repère de l'orthophoto ancienne (orthophoto que l'on trouve dans Ortho-MEC-Malt-Abs-Ratafia).

Il n'y a aucun paramètre à modifier. Pompei regarde seulement si les deux fichiers shapefile sont présents, auquel cas il ajoute automatiquement les points d'appuis.

### Filtrer les points d'appuis

L'utilisateur peut filtrer les points d'appuis en fonction du terrain où ils se trouvent. Dans ce cas, on télécharge les couches bâti, vegetation et surface\_hydro de la BD Topo. Les points qui sont à moins de 20 mètres d'une zone de bâti sont conservés, ceux qui se trouvent dans de la végétation ou de l'eau sont supprimés, les autres sont considérés "dans les champs".

Si le rapport de nombre de points dans le bâti par le nombre de points dans les champs est supérieur à 0,2, alors les points dans les champs sont dépondérés en planimétrie et ne servent qu'en altimétrie. Sinon, les points dans les champs sont utilisés également en planimétrie. Ce cas de figure arrive généralement dans les zones montagneuses où il y a peu d'habitations. Les points "dans les champs" sont généralement des rochers et fonctionnent bien.

### Calcul d'aérotriangulation

Pompei, avec l'aide de la commande Campari de MicMac, affine les positions et orientations des images. A l'issue de chaque Campari, MicMac donne les résidus sur les points d'appuis. Pompei calcule alors l'écart-type de ces résidus et supprime les points d'appuis dont les résidus sont supérieurs à trois fois l'écart-type. Les écart-types et le nombre de points d'appuis supprimés sont indiqués dans les logs. Cela permet d'avoir un certain contrôle sur le chantier.

A la fin de l'aéro, les écarts moyens sur les résidus sont indiqués. S'ils sont supérieurs à 5 mètres, alors il y a très probablement eu un problème. Cependant, ces écarts moyens sont à prendre avec précaution car rien ne garantit que les points d'appuis sont justes, mais cela permet de contrôler un minimum le résultat de l'aéro.

#### 4.2.12 create\_ortho\_mns.sh

Deux types d'orthophotos peuvent être produites par Pompei : l'ortho vraie sur MNS et une ortho sur MNT actuel.

Dans le premier cas, un MNS est créé et les photos aériennes sont projetées sur ce MNS. Cependant, si le MNS n'a pas pu être calculé dans certaines zones, alors il y aura des trous dans le résultat final (zones noires). Le MNS ne peut

être produit que dans les zones vues par deux photos aériennes.

### **Création du MNS et de l'ortho vraie**

Malt permet de calculer le MNS. Le résultat se trouve dans MEC-Malt-Final. On impose comme solution initiale le MNS actuel (complété par du SRTM s'il y a des zones manquantes).

#### **build\_mns\_micmac.py**

Malt calcule le MNS à un niveau très grossier puis à un niveau plus fin. Il y a 8 niveaux de pyramide. Par défaut, Malt produit un MNS issu de la dernière couche de corrélation.

Cependant, si la corrélation n'a pas fonctionné à une étape précédente, elle ne fonctionnera pas aux étapes suivantes. L'idée ici est, en tout point de l'ortho, de récupérer l'altitude calculée lors du dernier niveau avant que la corrélation ne fonctionne pas. Le fichier pompei.log contient la précision altimétrique pour chaque niveau. Trois fichiers sont produits :

- MNS\_pyramide.tif : le MNS résultat
- correlation.tif : le score de corrélation avant que la corrélation en fonctionne plus
- indicateur.tif : le niveau de la pyramide utilisé pour calculé le MNS

L'idéal serait que l'indicateur ne possède que la valeur 8, soit le dernier niveau de la pyramide.

#### **improve\_mns.py**

Dans le fichier MNS\_pyramide.tif, il peut rester des petits artefacts (4.12) surtout dans les zones de montagne. Les surfaces à recalculer doivent respecter les deux conditions suivantes :

- la surface doit être inférieure à 7000 mètres carrés
- aucun voisin du segment ne doit être dans la tranche voisine de la vectorisation (altitude à +- 50 mètres)

Les surfaces à recalculer sont obtenues par interpolation linéaire. Le fichier carte\_interpolation.tif indique les endroits où le MNS a été calculé par interpolation.

#### **create\_orthos\_OIS\_Reech.py**

Une orthophoto sur MNT est produite pour chaque image. Elles se trouvent dans ortho\_mns. Ce sont les images Ort\_\*.tif

#### **equalize\_radiometry\_ortho\_mnt.sh**

Une égalisation radiométrique est appliquée sur ces orthophotos produites pour chaque image. Le résultat se trouve dans radiom\_ortho\_mns/ini/corr.

### **mosaïquage.py**

Ce module calcule automatiquement les lignes de mosaïquages.

La première étape est de calculer le diagramme de Voronoï à partir des sommets de prise de vue.

Ensuite, pour chaque segment, on calcule le plus court chemin sur une carte de pénalité entre les deux extrémités du segment. Cette carte de pénalité est composée de :

- la différence de radiométrie
- la distance à la ligne de Voronoï

### **create\_big\_Ortho.py**

L'emprise au sol est divisée en dalles de 1000 pixels. Pour chaque dalle, on récupère une ortho par image. Si pour une image la dalle est en-dehors de l'emprise, on renvoie None. Trois cas de figures se présentent pour une dalle. On utilise les lignes de mosaïquage précédemment calculées pour déterminer les images à utiliser.

Un fichier vrt est ensuite créé.

### **compute\_MNS\_diff.py**

On calcule la différence de MNS entre le MNS produit par l'algorithme et le MNS de référence.

#### **4.2.13 create\_ortho.sh**

Une autre possibilité est d'utiliser le MNT actuel pour produire une orthophoto. Cependant, ce MNT récent peut être différent du MNT historique. L'ortho sera produite pour toutes les zones vues par au moins une image, ce qui fait une surface un peu plus grande que l'ortho vraie. Cette méthode est adaptée aux chantiers où le recouvrement entre les clichés n'est pas suffisant, ou bien dans les cas où l'on souhaite éviter les zones sans données à cause du dévers (notamment en montagne). Il n'y a pas d'algorithme qui cherche la ligne de mosaïquage optimale pour un meilleur rendu visuel.

La résolution de l'orthophoto est la même que celle déterminée par Micmac pour la création du premier MNS au géoréférencement approché.

### **download\_mnt.py**

On récupère le MNT actuel, soit directement sur le store-ref, soit via la géoplateforme. Le MNT est enregistré dans metadata/mnt.

Les autres scripts sont identiques à create\_ortho\_mns.sh.



FIGURE 4.1 – 20 acquisitions ont nécessaires pour le département du 05

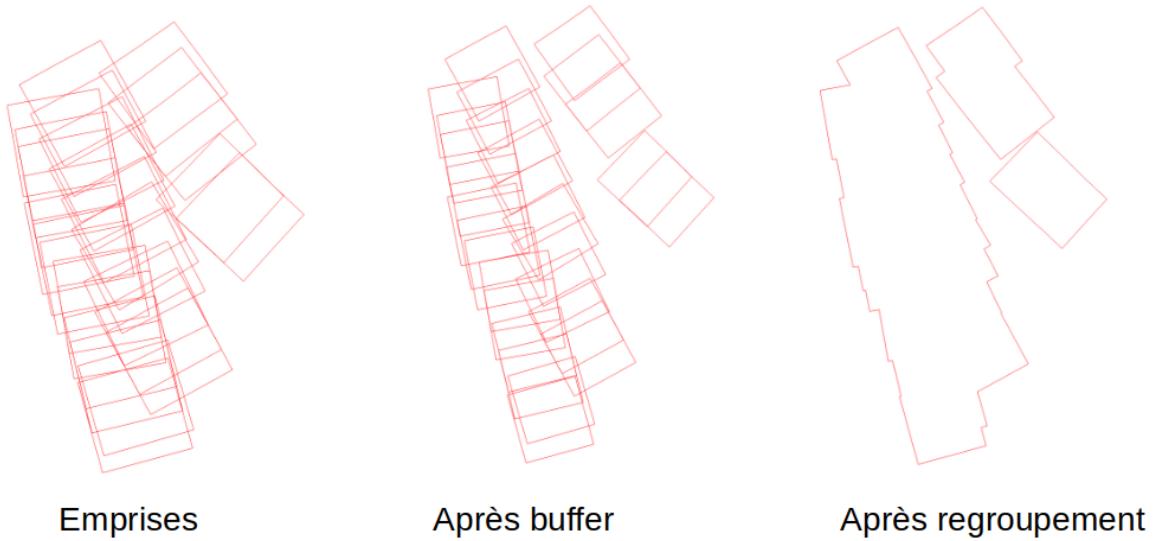


FIGURE 4.2 – Emprise au sol des images d'un chantier. On voit que les cinq images à l'est du chantier n'auront aucune chance d'être rattachées au reste. Il est préférable de les supprimer.

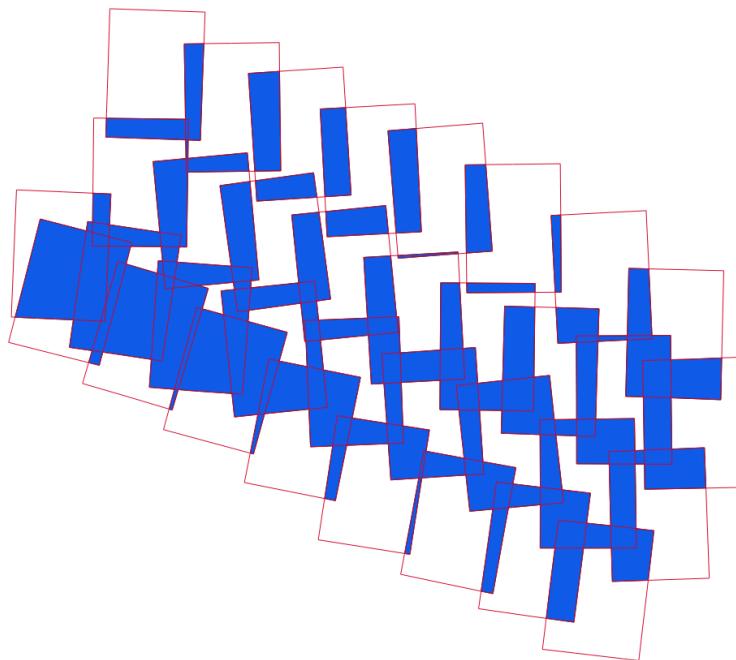


FIGURE 4.3 – Emprise au sol des images d'un chantier (en rouge) et zones vues depuis au moins deux photos (en bleu). Ici, seule la partie à l'ouest pourrait fonctionner avec Pompei. Ailleurs, il y a beaucoup trop de trous.



FIGURE 4.4 – Sur ce chantier du Havre en 1919, aucun repère de fond de chambre n'est présent

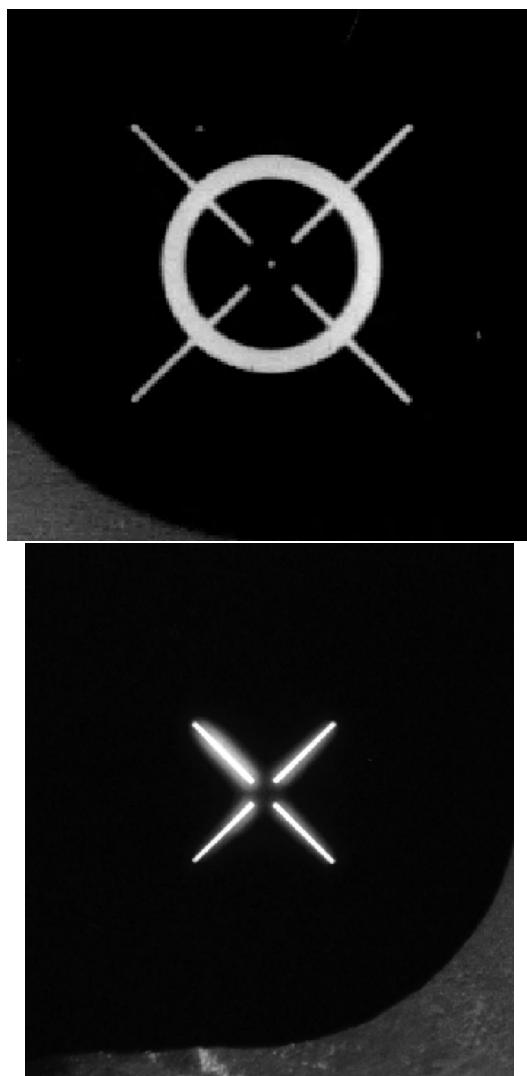


FIGURE 4.5 – Les deux types de cibles pour lesquelles le détecteur d'objets est entraîné

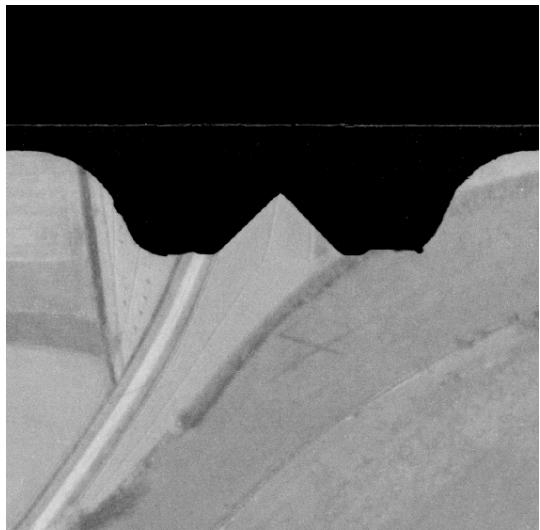


FIGURE 4.6 – Repère adapté à la méthode par seuillage



FIGURE 4.7 – Repère inadapté à la méthode par seuillage



FIGURE 4.8 – Exemple d'artefacts sur une image



FIGURE 4.9 – Exemple de l'orthophoto finale si l'on ne fait pas deux masques distincts



FIGURE 4.10 – Ici, les images à gauche ne sont pas bien orientées. Il faut les retirer du dossier et relancer la construction relative (`pompeii.after_homolFilterMasq.sh`). En zoomant sur les points verts et rouges (les sommets de prises de vue), on peut obtenir le nom des images problématiques



FIGURE 4.11 – Exemple d'orthophoto de référence à partir des chantiers déjà calculés. Ici, aucun chantier n'a déjà été calculé en bordure de la zone, donc on utilise la BD Ortho



FIGURE 4.12 – Les zones en gris foncé ont un écart de 500 mètres d’altitude avec les zones gris clairs. Ces zones gris clairs font ici une trentaine de mètres de côté

# Chapitre 5

## Pompei rapide

La chaîne principale Pompei ne fonctionne que s'il existe un recouvrement suffisant entre chaque image. Cependant, ce n'est pas toujours le cas, notamment dans les chantiers les plus anciens. Cette version de Pompei essaye de traiter tout de même ce type de chantier. Cette chaîne de traitement permet de géoréférencer les images et de produire une orthophoto sur MNT. Elle ne produit pas de MNS ni d'ortho vraie.

Dans les grandes lignes, le déroulement est le suivant :

- Recherche des repères de fond de chambre
- Recherche de points de liaisons pour les images qui se recouvrent
- Recherche de points d'appuis pour chaque image
- Aérotriangulation
- Construction de l'ortho sur MNT

Le script à lancer est pompei\_rapide.sh. Il faut au préalable lancer visualize\_flight\_plan.sh

### 5.1 Jusqu'à download\_ortho\_MNS.sh

Le début de l'algorithme pour la recherche des repères de fond de chambre, la recherche de points de liaisons et le téléchargement de l'ortho de référence est exactement le même que pour la chaîne Pompei.

### 5.2 pompei\_rapide/appuisSousEch10.sh

Comme pour la chaîne principale de Pompei, il faudra appliquer Aubry ou SuperGlue sur des paires de dalles image historique, ortho de référence. Mais contrairement à la chaîne principale, on ne dispose pas de première orthophoto approchée. Pour géoréférencer approximativement les images aériennes, on va faire deux suppositions très approximatives :

- chaque image peut être considérée comme une orthophoto
- on utilise les emprises au sol présentes dans les métadonnées pour déterminer son géoréférencement approximatif

Ces pseudos-orthos se trouvent dans appuisSousEch10/\*\_rectifiee.tif. Il s'agit de grosses approximations. Le risque est donc que les paires de dalles ne représentent pas la même chose. Comme pour la chaîne principale de Pompei, on va faire une

recherche de points d'appuis sur les images sous-échantillonnées d'un facteur 10.

Pour chaque image, deux fichiers sont créés contenant les points trouvés par Aubry : pts\_bdortho\_\*.geojson pts\_orthomicmac\_\*.geojson

### 5.3 pompei\_rapide/appuis.sh

La suite fonctionne comme pour la chaîne principale de Pompei : on calcule un décalage entre les dalles à partir des points d'appuis trouvés par la recherche sur les images sous-échantillonnées d'un facteur 10. Pour chaque paire de dalles, on chercher des points d'appuis, avec Aubry ou bien avec SuperGlue. Le résultat se trouve dans appuis. La seule différence, c'est que les points d'appuis sont regroupés par image au lieu d'être regroupés en un seul bloc.

### 5.4 pompei\_rapide/aero.sh

#### Calcul pour chaque image

On commence le calcul d'aérotriangulation en déterminant pour chaque image la calibration externe puis la calibration interne de la caméra à partir uniquement des points d'appuis trouvés dans l'étape précédente. Si pour des images le calcul n'aboutit pas (pas assez de points d'appuis, calcul qui ne converge pas à cause probablement d'une déformation de l'image), alors elles sont retirées du chantier. Elles sont considérées comme causes désespérées.

#### Approximation des paramètres de la caméra

Pour chaque image qui a passé la première étape de calibration, on dispose de paramètres internes de la caméra. On calcule la moyenne de ces paramètres internes et on obtient les valeurs initiales de la caméra pour la suite des calculs.

#### Calcul d'aérotriangulation

On fait plusieurs calculs d'aérotriangulation, à chaque fois en supprimant les points d'appuis les plus erronés et en réduisant les écart-types sur les points de liaisons, sur le même modèle que la chaîne principale. Comme il s'agit généralement de chantiers compliqués, on s'arrête dès que les calculs ne convergent plus. Le dernier répertoire d'orientation calculé est utilisé pour produire l'ortho sur MNT finale.

### 5.5 create\_ortho.sh

Cette étape est identique à la chaîne de traitement principale de Pompei.

# Chapitre 6

## Pour aller plus loin

### 6.1 Ajouter un chantier dans un Geoserver

Mettre les résultats d'un chantier dans un Geoserver permet de diffuser le résultat du chantier via un flux WMS, mais aussi de pouvoir utiliser ces chantiers si l'on veut utiliser des orthophotos anciennes comme orthophoto de référence à la place de la BD Ortho. Pour cela, il faut utiliser le script Python upload\_to\_geoserver.py. Les paramètres de ce script sont l'adresse et l'identifiant pour accéder au Geoserver, ainsi que le répertoire où se trouvent les images à déposer sur le Geoserver. Dans ce répertoire doit se trouver un sous-répertoire par chantier. A l'intérieur de ces sous-répertoires doivent se trouver un répertoire par produit (ortho, MNS, différence de MNS). Le script va parcourir tous les produits. Si le produit est déjà sur le Geoserver, alors il ne fera rien. Sinon, il va créer une couche nommée [nom du chantier].[nom du produit] et y déposer les images.

### 6.2 Interroger la base de données MisPhot

MisPhot est la base de données qui stocke toutes les métadonnées relatives aux chantiers numérisés. Le script Python postgresql.py permet d'interroger la base de données avec quelques exemples de requêtes. L'accès à Misphot n'est possible qu'aux personnes internes de l'IGN.

Voici quelques éléments :

- La focale est toujours connue dans tous les chantiers
- Il y a 14 projections différentes : Lambert93 et les UTM pour les DOM-TOM
- Dans 276 chantiers, au moins un cliché ne possède pas de position pour le sommet de prise de vue
- Dans 291 chantiers, au moins un cliché ne possède pas d'emprise au sol. Dans ces 291 chantiers se trouvent les 276 chantiers ci-dessus.
- Il y a 1256 chantiers avec seulement une ou deux images et 26467 avec au moins trois images
- Il y a 2043 chantiers constitués d'images obliques
- Il y a 24294 chantiers qui sont faisables, c'est-à-dire sans images obliques, avec au moins trois images et où toutes les images ont une position du

sommet de prise de vue et une emprise au sol.

- Sur ces 24294 chantiers, il y a en moyenne 244 images
- Si l'on ne tient compte sur ces 24294 chantiers que ceux antérieurs à 2003, il reste 23430 chantiers avec en moyenne 138 images par chantiers.

Parmi les 291 chantiers qui ne possèdent pas de sommets de prise de vue ou d'emprise au sol, je n'en ai pas trouvé pour lesquels les images scannées sont disponibles. De plus, pour d'autres chantiers qui sont parmi les 23430 faisables antérieurs à 2003, on ne trouve pas non plus les images scannées.

Concernant les couleurs des chantiers :

- 23239 chantiers panchromatiques
- 2438 chantiers en RVB
- 696 chantiers infrarouge
- 474 chantiers IRC
- 110 chantiers existent en panchromatique et en IRC
- 355 chantiers existent en panchromatique et en infrarouge
- 283 chantiers existent en panchromatique et en couleur
- 51 chantiers existent en couleur et en IRC
- 48 chantiers existent en couleur et en infrarouge
- 8 chantiers existent en infrarouge et en IRC

### 6.3 Coloriser les images panchromatiques

Il existe quelques algorithmes qui permettent de coloriser les images panchromatiques, notamment Hyper-U-Net. Le code n'est pas intégré dans Pompei. Un exemple est présenté figure 6.1.

### 6.4 Classification

Pour les chantiers qui existent à la fois en couleur et en infrarouge (ou fausse couleur), on peut appliquer les modèles d'IA utilisés pour l'OCSGE. Il ne manque que le MNE que l'on peut obtenir facilement en soustrayant du MNS calculé par Pompei le MNT actuel (RGE alti). Les résultats sont déjà intéressants. On peut aussi, pour les chantiers qui existent en panchromatique et en infrarouge, coloriser les images panchromatiques et appliquer de même le modèle OCSGE. Le résultat est un peu moins bon, mais pourrait être exploitable. Les codes ne sont pas intégrés dans Pompei. Un exemple est présenté figure 6.2.

### 6.5 Générer un nuage de points

Micmac permet de générer un nuage de points de la zone à partir des orientations trouvées :

```
mm3d Nuage2Ply MEC-Malt-Final/NuageImProf_STD-
MALT_Etape_8.xml Attr=Ortho-MEC-Malt-Final-
Corr/Orthophotomosaic.tif Normale=true
```



FIGURE 6.1 – Image panchromatique colorisée par Hyper-U-Net



FIGURE 6.2 – Application du modèle OCSGE sur un chantier existant en RVB et en IRC