



DRONE
TECHNIXX

Le traitement Photogrammétrique des Images Obtenues par Drone pour le relevé des façades de Bâtiment

Joël van Cranenbroeck

CGEOS – Creative Geosensing SPRL



Sommaire

1. Introduction à la photogrammétrie par drone
2. Rappel des notions de traitement de l'information topographique et photogrammétrique
3. Ciblage et détermination par station totale et GNSS RTK des coordonnées des cibles.
4. Réalisation d'un vol photogrammétrique pour le levé de façades de bâtiments.
5. Traitement à l'aide du logiciel PhotoScanPro de AGISOFT et évaluation des différents paramètres sur le résultat.
6. Conclusions
7. Questions/Réponses

BULLETIN TRIMESTRIEL DE LA SOCIÉTÉ BELGE DE

PHOTOGRAMMÉTRIE

(A.S.B.L.)



Publié avec l'aide financière du Ministère de l'Education nationale et de la Culture française et du Ministère de l'Education nationale et de la Culture néerlandaise

Les résumés accompagnant les articles sont rédigés par les auteurs. Les périodiques internationaux de référence et de bibliographie ont toute liberté de reproduire et de diffuser ces résumés à la seule condition d'en respecter le texte.

N° 113-114
MARS - JUIN 1974

Secrétariat :
Boulevard Pachéco 34, (4^e étage), 1000 Bruxelles

Bulletin trimestriel de la Société belge de photogrammétrie

N° 113-114 — MARS-JUIN 1974

SOMMAIRE

In Memoriam : E. MOREAU	3
Exposés et discussions sur le relèvement spatial et les questions connexes. Introduction	5
A. VERDIN. Du relèvement spatial à la compensation en bloc de gerbes perspectives	7
U.L.W. VAN TWEMBEKE. Le plan photographique à buts multiples dans les zones rurales	43
Bibliographie	58

Annexe - TRIBUNE DES JEUNES

G19-20. P.-L.BAETSLÉ. Notions sur l'emploi des ordinateurs. Chapitre V. Un ordinateur de petites dimensions : la machine Wang 700 (suite et fin).

Bijlage - HOEKJE VAN DE JONGEREN

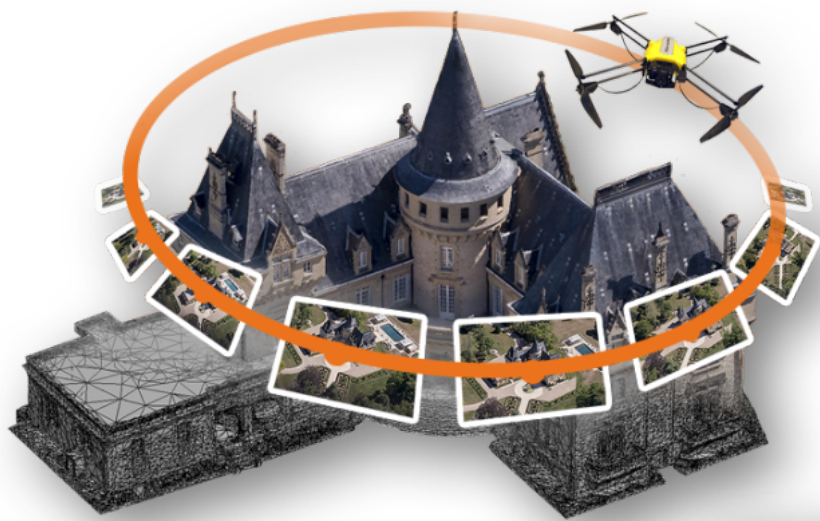
G19N-20N. P.-L.BAETSLÉ. Begrippen over het gebruik van ordinateuren. Hoofdstuk V. De machine Wang 700, een voorbeeld van kleine programmeerbare rekenmachine (vervolg en einde).

Les personnes qui désirent faire insérer un texte dans le Bulletin sont priées d'en envoyer au secrétaire de la Société deux exemplaires dactygraphiés. Les notations employées doivent être conformes à celles adoptées par la Société, publiées dans le n° 43 du Bulletin. Tout article paraît en principe dans le numéro qui suit son acceptation par le Comité de Rédaction. Le règlement de ce Comité figure dans le n° 40 du Bulletin.

La Société ne prend sous sa responsabilité aucune des opinions émises par les auteurs des articles insérés dans son Bulletin.

La photogrammétrie est une “vieille” dame qu’on avait perdu de vue ! La Belgique avait une position d’expert au niveau international !





L'usage du **drone photogrammétrique** n'est pas juste un « copié/collé » destiné à rendre cette technique plus abordable ... Elle ouvre de nouvelles perspectives, de nouvelles compétences et de nouveaux métiers !





ID	vX	vY	vZ
1	-0.102	-0.091	-0.074
7	0.020	-0.042	-0.020
8	-0.025	-0.040	0.026
10	-0.028	-0.017	0.024
12	-0.022	-0.056	-0.011
19	-0.026	0.096	-0.014
2	-0.064	-0.089	-0.039
25	-0.054	-0.004	0.000
13	0.039	0.019	0.002
23	-0.028	0.015	0.056
9	-0.046	-0.024	0.015
3	-0.061	-0.106	-0.020
17	-0.035	0.031	0.017
11	0.004	0.001	0.061
4	-0.044	0.024	-0.044
24	-0.034	0.013	0.036
22	-0.023	0.022	0.066
6	-0.005	-0.042	0.021
21	-0.012	0.034	0.024
20	-0.002	0.128	-0.041
18	-0.066	0.085	-0.015
16	-0.002	-0.017	-0.035
15	0.047	-0.024	0.032
14	0.045	-0.006	0.039
5	0.061	0.021	-0.006
average	-0.018	-0.003	0.004
median	-0.025	-0.004	0.002
min	-0.102	-0.106	-0.074
max	0.061	0.128	0.066
stdev	0.039	0.056	0.036

Transformation 3D sur 8
points GNSS RTK.

ID	vX	vY	vZ
1	-0.055	-0.009	-0.059
7	0.046	0.004	-0.015
8	-0.005	-0.011	0.025
10	-0.012	0.001	0.020
12	-0.062	-0.071	-0.011
19	0.000	0.000	0.000
2	-0.008	0.008	-0.021
25	-0.027	0.012	-0.008
13	0.000	0.000	0.000
23	-0.016	0.008	0.047
9	0.000	0.000	0.000
3	0.000	0.000	0.000
17	-0.035	0.019	0.021
11	-0.017	-0.002	0.061
4	-0.063	0.032	-0.040
24	-0.026	0.017	0.030
22	-0.018	0.007	0.056
6	-0.004	-0.020	0.024
21	0.000	0.000	0.000
20	0.020	0.053	-0.033
18	-0.057	0.049	-0.012
16	0.000	0.000	0.000
15	0.000	0.000	0.000
14	0.017	-0.006	0.029
5	0.000	0.000	0.000
average	-0.013	0.004	0.005
median	-0.005	0.000	0.000
min	-0.063	-0.071	-0.059
max	0.046	0.053	0.061
stdev	0.026	0.023	0.028

Transformation par Anamorphose
avec zéro résidus sur les points de
contrôle.

Choix du thème : **Vue générale**

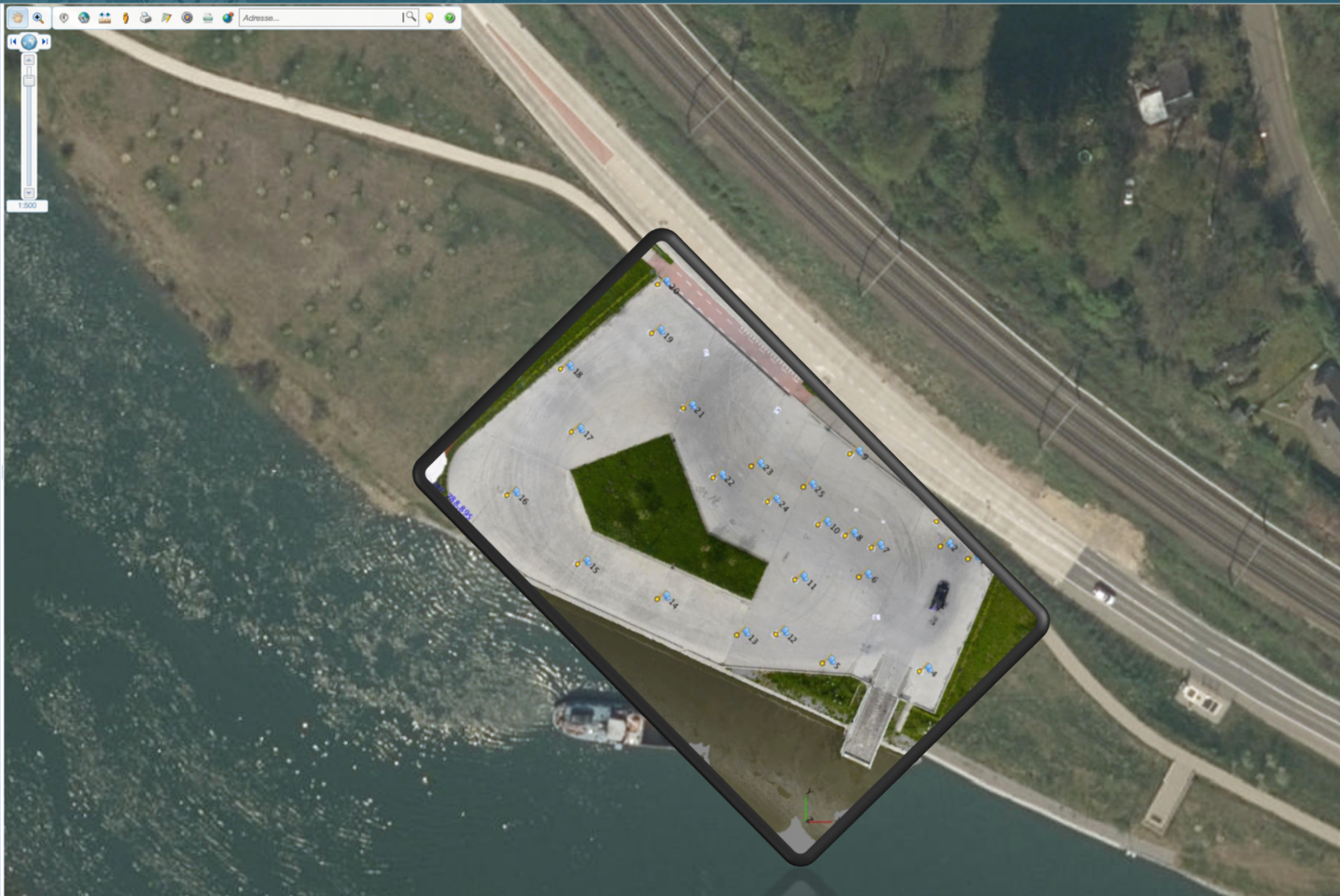
Ma sélection (34) **Catalogue**

[Tout ouvrir](#) / [Tout fermer](#)

- ☐ Toponymie
- ☐ Unités administratives
- ☒ Vues aériennes
 - ☒ Ortho 2015
 - ☒ Ortho 2015 (Infrarouge)
 - ☐ Ortho 2012-2013
 - ☐ Ortho 2012-2013 (Infrarouge)
 - ☐ Ortho 2009-2010
 - ☐ Ortho 2009-2010 (Infrarouge)
 - ☐ Ortho 2006-2007
 - ☐ Ortho 1994-2000 (PPNC)
 - ☒ Mosaïques et tuitages
- ☒ Relief
- ☐ Faune et flore
- ☒ Eau
- ☐ Air
- ☒ Plans topographiques
- ☐ Cartes anciennes
- ☐ Mobilité
- ☐ Patrimoine
- ☐ Plans et règlements
- ☐ Sol et sous-sol
- ☐ Agriculture
- ☒ Industries et services
- ☒ Logement et habitat

Vous êtes un producteur de géodonnées ?

Proposez l'ajout de votre géodonnée au Catalogue via
notre [formulaire de contact](#).



Définir la mission
Plan de vol
(recouvrements,
altitude, vitesse, ...)

TERRAIN

Opérations

GNSS (offsets)

Acquisition des
images (topées par
GNSS)

*Formation des modèles,
Cloud, MNT, Ortho-
photos*

AUTOMATIC

Traitement GNSS

Extraction des
images

Orientation relative
(Ajustement des
faisceaux)

BUREAU

SEMI-AUTOMATIC

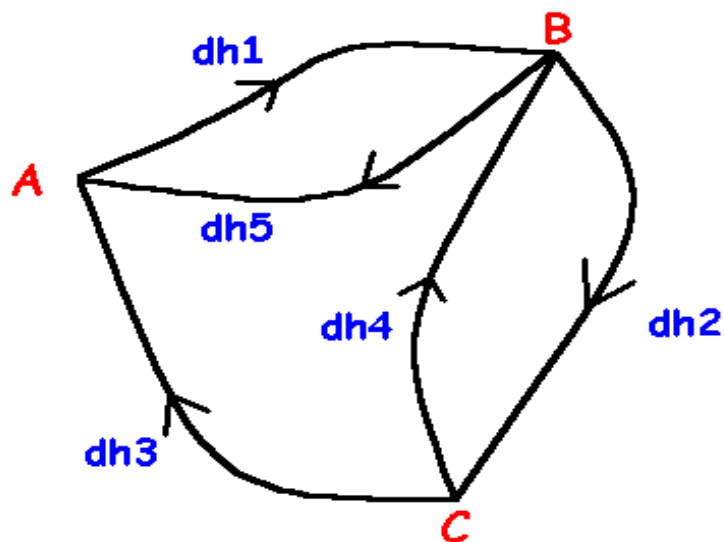
Traitement CAD
avec ou non
assistance

Identification ?

Sommaire

1. Introduction à la photogrammétrie par drone
2. Rappel des notions de traitement de l'information topographique et photogrammétrique
3. Ciblage et détermination par station totale et GNSS RTK des coordonnées des cibles.
4. Réalisation d'un vol photogrammétrique pour le levé de façades de bâtiments.
5. Traitement à l'aide du logiciel PhotoScanPro de AGISOFT et évaluation des différents paramètres sur le résultat.
6. Conclusions
7. Questions/Réponses

La Méthode des Moindres Carrés



Nous voulons déterminer l'altitude orthométrique des points B et C en connaissant l'altitude de A en utilisant latechnique du nivellement géométrique

La cote du point A soit $H_A = 124.180$ m.

Les observations :

$$dh1 = + 6.14$$

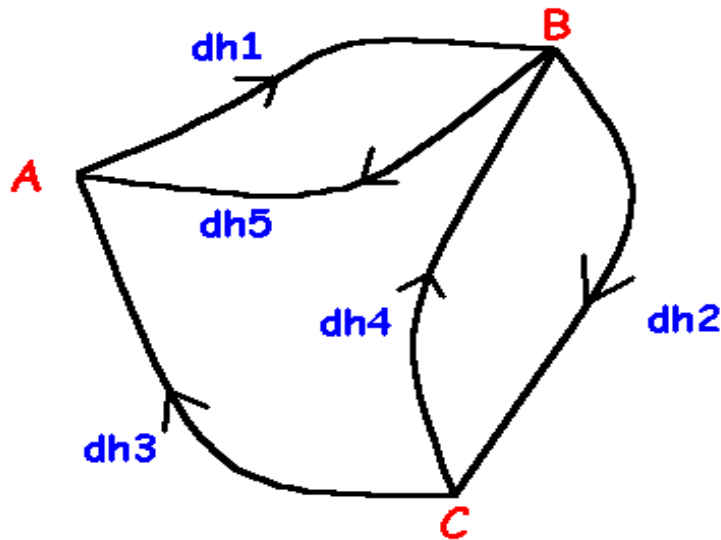
$$dh2 = + 8.34$$

$$dh3 = - 14.48$$

$$dh4 = - 8.35$$

$$dh5 = - 6.16$$

Les équations d'observation décrivent le modèle mathématique (fonctionnel)



Nous pouvons écrire pour chaque observation la relation qui lie l'altitude des points.

$$HA + dh1 = HB$$

$$HB + dh2 = HC$$

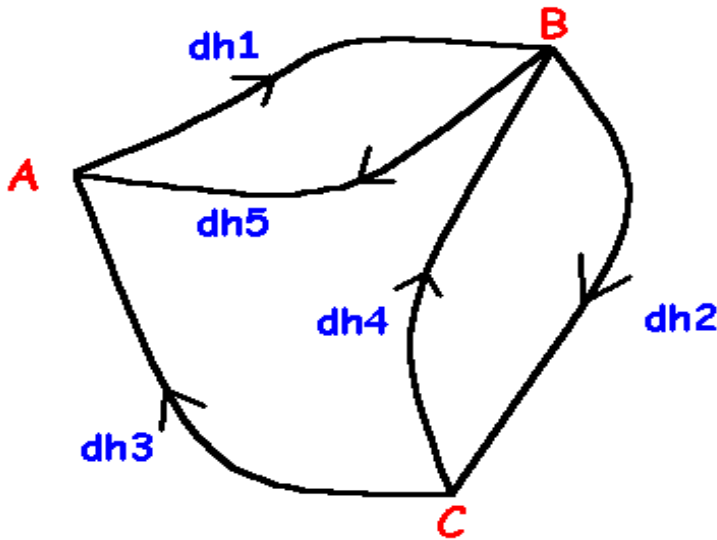
$$HC + dh3 = HA$$

$$HC + dh4 = HB$$

$$HB + dh5 = HA$$

Les équations d'observation ...

Les « inconnues » sont écrites à gauche et nous introduisons les corrections « v_i » :



$$HB = HA + dh1 \quad + v1$$

$$HB - HC = -dh2 \quad + v2$$

$$HC = HA - dh3 \quad + v3$$

$$HC - HB = -dh4 \quad + v4$$

$$HB = HA - dh5 \quad + v5$$

Les équations d'observations ...

Nous pouvons écrire le modèle mathématique en notation matricielle :

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & -1 \\ 0 & 1 \\ -1 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} HB \\ HC \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} HA + dh1 \\ -dh2 \\ HA - dh3 \\ -dh4 \\ HA - dh5 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v1 \\ v2 \\ v3 \\ v4 \\ v5 \end{bmatrix}$$

A
 |
 Matrice de configuration

x
 |
 Les inconnues
 (paramètres)

l
 |
 Observations

v
 |
 Residuals/Corrections

Les équations d'observations ...

En utilisant les données numériques nous obtenons :

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & -1 \\ 0 & 1 \\ -1 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} HB \\ HC \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 130.32 \\ -8.34 \\ 138.66 \\ 8.35 \\ 130.34 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v1 \\ v2 \\ v3 \\ v4 \\ v5 \end{bmatrix}$$

$$A_{5,2} \quad x_{2,1} \quad l_{5,1} \quad v_{5,1}$$

Résolution

- Nous obtenons un système d'équation linéaire « sur-déterminé » ($n > m$) :
 - « m » inconnues/paramètres(l'altitude de B et C), ici nous avons $m = 2$
 - « n » équations d'observation et ici nous avons $n = 5$
- Pour obtenir une solution unique, nous devons imposer une « condition » sur les corrections.
- Rendre minimum la somme des corrections élevées au carré = Le principe des Moindres Carrés ou encore Norme Minimum L2. On pourrait également imposer comme « condition » de rendre minimum la somme des valeurs absolues des corrections qui est la base des ajustements « robustes » ou encore Norme L1

$$\min |v_i|$$
$$\min \sum_i \text{abs}(v_i)$$

L1 norm

$$\min \|v\|$$
$$\min \sum_i v_i^2$$

L2 norm

Solution selon la Méthode des Moindres Carrés

La solution est obtenue en appliquant le principe des Moindres Carrés au modèle fonctionnel qui peut être écrit en notation matricielle :

$$v = Ax - l$$

Les corrections élevées au carré (Moindres Carrés) s'obtiennent par :

$$v^t v = (Ax - l)^t (Ax - l) = \min$$

Moindres Carrés

En développant nous obtenons :

$$v^t v = (Ax - l)^t (Ax - l)$$

$$v^t v = (x^t A^t - l^t)(Ax - l)$$

Moindres Carrés

En arrangeant :

$$v^t v = x^t A^t A x - x^t A^t l - l^t A x + l^t l$$

Et également :

$$(l^t A x)^t = x^t A^t l$$

$$v^t v = x^t A^t A x - 2x^t A^t l + l^t l$$

Dérivation première:

$$\frac{\partial v^t v}{\partial x} = 2A^T A x - 2A^T l$$

Solution

Pour « minimiser » ce résultat il convient d'annuler la dérivée première :

$$\frac{\partial v^T v}{\partial x} = 2A^T Ax - 2A^T l = 0 \qquad A^t Ax - A^t l = 0$$

Et nous obtenons alors la solution suivante :

$$\hat{x} = (A^t A)^{-1} A^t l$$

En supposant que $\left| A^t A \right|$ est défini positif (au sinon on aurait un maximum !)

Réseau de Nivellement

La matrice des équations normales et son inverse : $N = (A^t A)$

$$N = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & -1 & 1 \\ 0 & -1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & -1 \\ 0 & 1 \\ -1 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4 & -2 \\ -2 & 3 \end{bmatrix}$$

$$N^{-1} = \frac{1}{8} \begin{bmatrix} 3 & 2 \\ 2 & 4 \end{bmatrix}$$

Résolution numérique ...

La solution est donnée par : $\hat{x} = (A^t A)^{-1} A^t l$

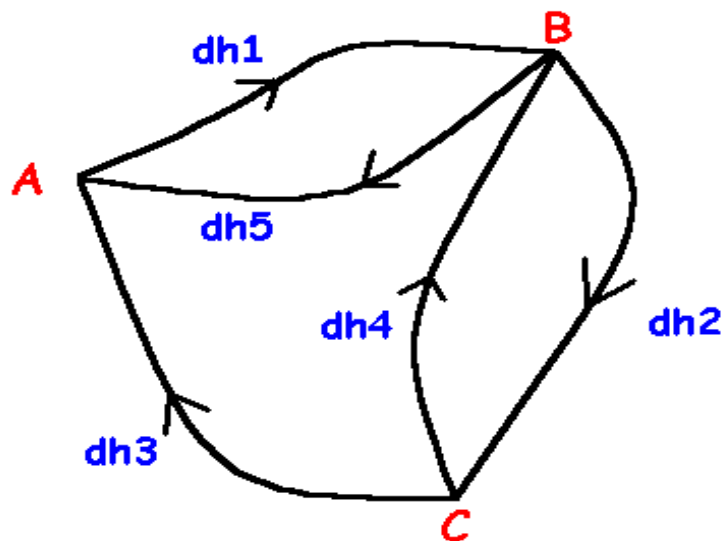
$$\hat{x} = \frac{1}{8} \begin{bmatrix} 3 & 2 \\ 2 & 4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & -1 & 1 \\ 0 & -1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 130.32 \\ -8.34 \\ 138.66 \\ 8.35 \\ 130.34 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 130.326 \\ 138.667 \end{bmatrix} \begin{matrix} \text{HB} \\ \text{HC} \end{matrix}$$

Observations ajustées et corrections ...

Les observations ajustées sont obtenues : $\hat{l} = A\hat{x} - l$

Les corrections sont fournies par : $v = \hat{l} - l$

Le résultat pour l'ajustement du réseau de Nivellement est donc finalement ...



B = 130.326 m.

C = 138.667 m.

A = 124.180 m.

Corrections :

v1 = + 0.006

v2 = + 0.001

v3 = - 0.007

v4 = + 0.009

v5 = + 0.014

Microsoft Excel - MATRIX_JOEL.xls

Type a question for help

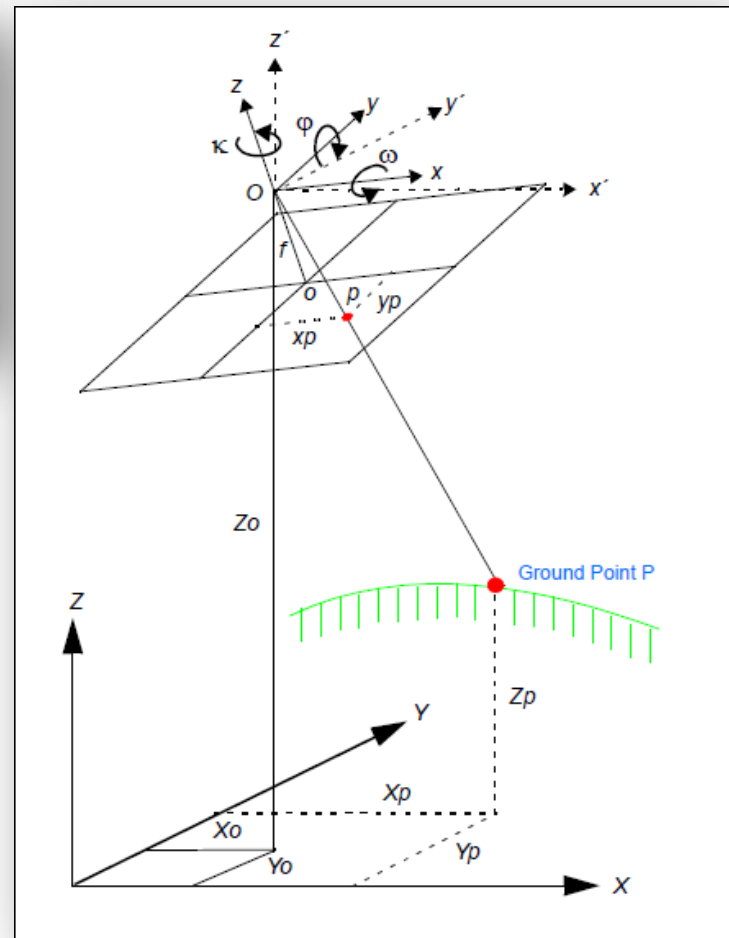
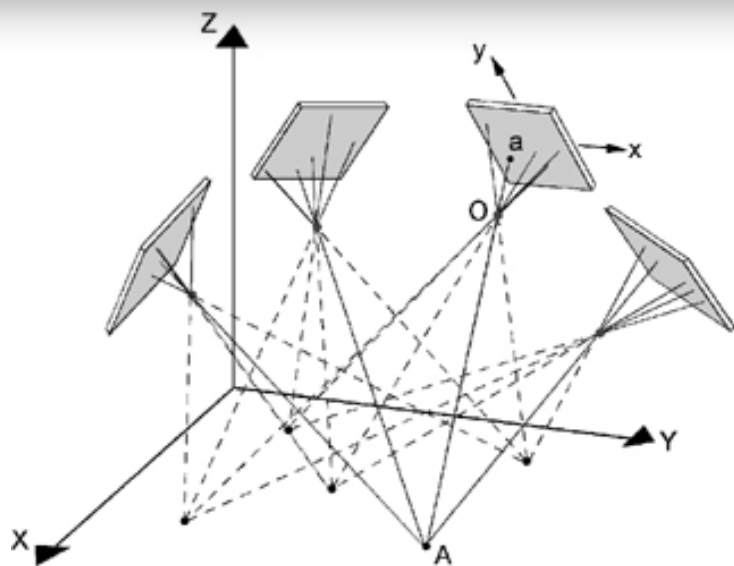
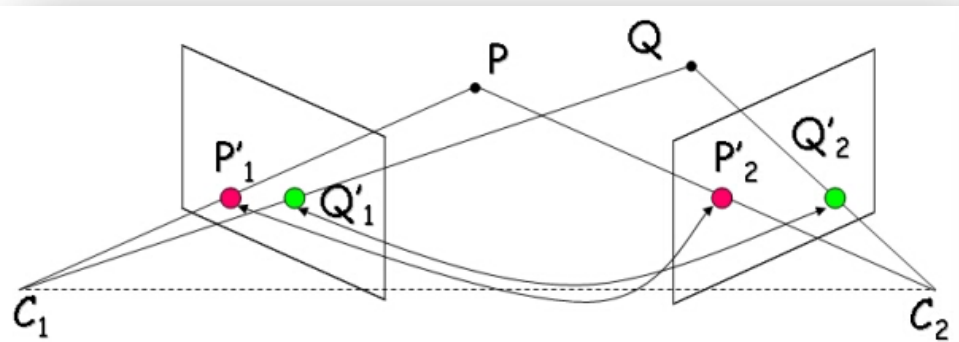
File Edit View Insert Format Tools Data Window Help

100% Arial 10

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
1																				
2																				
3						L	L'	V	V'V					A(A ^T A) ⁻¹				A(A ^T A) ⁻¹ A ^T		
4		1	0			130.32	130.3263	-0.0062	0.000039				0.375	0.25		0.375	0.125	0.250	-0.125	0.375
5		1	-1			-8.34	-8.3413	0.0013	0.000002				0.125	-0.25		0.125	0.375	-0.250	-0.375	0.125
6	A	0	1			138.66	138.6675	-0.0075	0.000056		σ		0.25	0.5		0.250	-0.250	0.500	0.250	0.250
7		-1	1			8.35	8.3413	0.0087	0.000077		0.010992		-0.125	0.25		-0.125	-0.375	0.250	0.375	-0.125
8		1	0			130.34	130.3263	0.0138	0.000189				0.375	0.25		0.375	0.125	0.250	-0.125	0.375
9																				
10					A ^T				A				A ^T A			(A ^T A) ⁻¹				
11		1	1		0	-1	1		1	0			4	-2		0.375	0.250			
12		0	-1		1	1	0		1	-1			-2	3		0.250	0.500			
13									0	1										
14									-1	1										
15									1	0										
16																				
17					A ^T				L				A ^T L			X			σ	
18		1	1		0	-1	1		130.32				243.97			130.326		0.612372	0.006731	
19		0	-1		1	1	0		-8.34				155.35			138.668		0.707107	0.007773	
20									138.66											
21									8.35											
22									130.34											
23																				

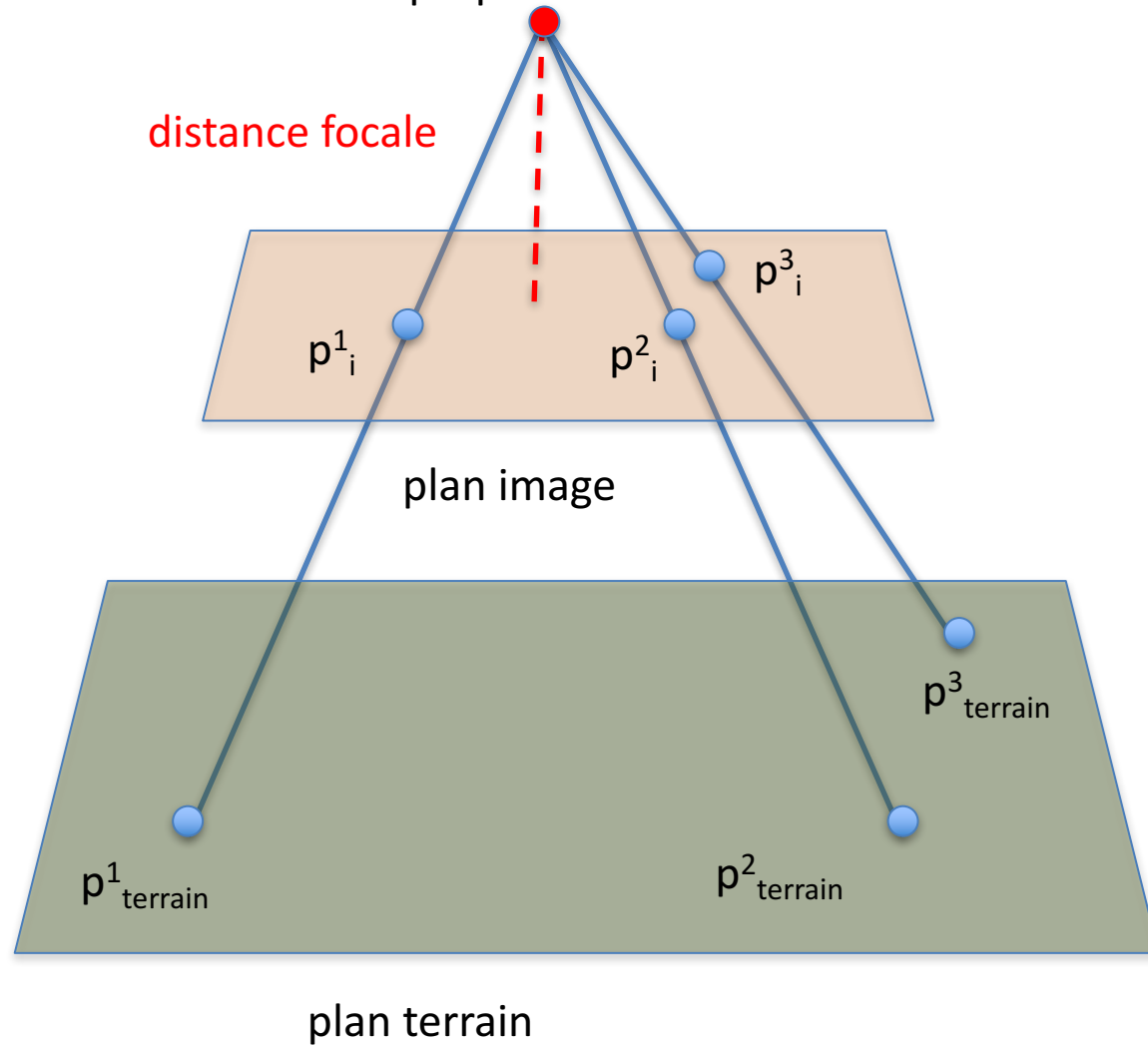
Microsoft EXCELL dispose de toutes les fonctions « matricielles » pour effectuer l'ensemble des calculs relatifs à l'application de la méthode des Moindres Carrés.

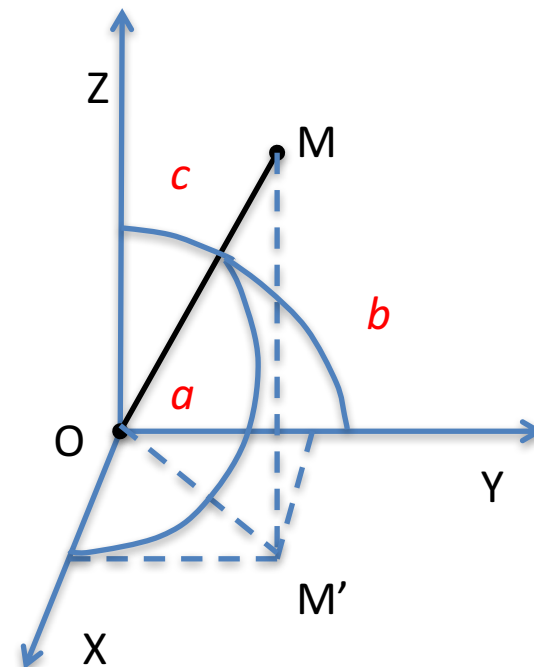
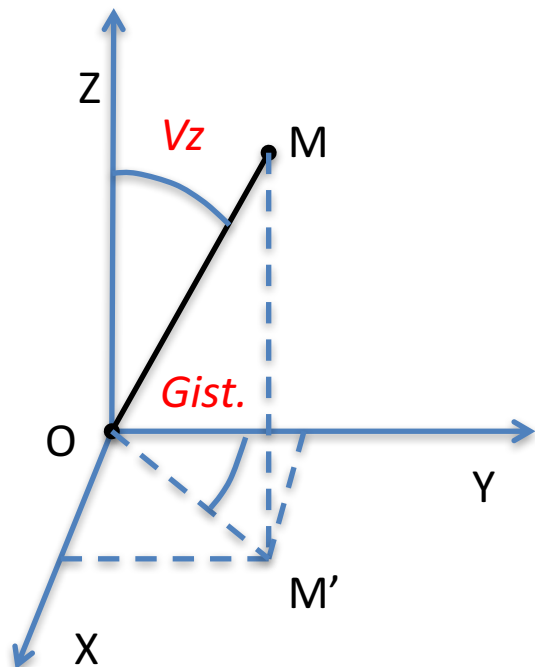
Intersection de « faisceaux »



C = centre optique de la caméra

distance focale



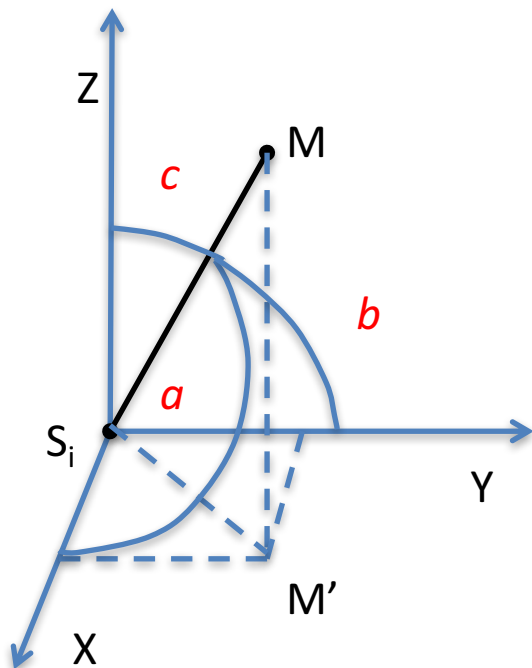


Vz, la direction zénithale de la visée vers M et le Gisement OM' de la projection de M définissent le vecteur OM.

$$\cos a = \sin Gist. \sin Zi$$

$$\cos b = \cos Gist. \sin Zi$$

$$\cos c = \cos Zi$$



$$\cos a = \sin Gist . \sin Zi$$

$$\cos b = \cos Gist . \sin Zi$$

$$\cos c = \cos Zi$$

En posant :

$$A_i = \cos a_i$$

$$B_i = \cos b_i$$

$$C_i = \cos c_i$$

Nous obtenons facilement :

$$\frac{x - x_i}{A_i} = \frac{y - y_i}{B_i} = \frac{z - z_i}{C_i}$$

L'équation de la droite passant par un point $S_i (X_i, Y_i, Z_i)$ et avec les coefficients directeurs a_i, b_i et c_i est fournie par la relation suivante ...

L'intersection des 2 droites SM et TM s'écrivent
comme suit :

$$\frac{x - x_i}{A_s} = \frac{y - y_i}{B_s} = \frac{z - z_i}{C_s} \quad \text{et} \quad \frac{x - x_j}{A_t} = \frac{y - y_j}{B_t} = \frac{z - z_j}{C_t}$$

ce qui revient à écrire un système de 4 équations à
3 inconnues (X_M, Y_M, Z_M)

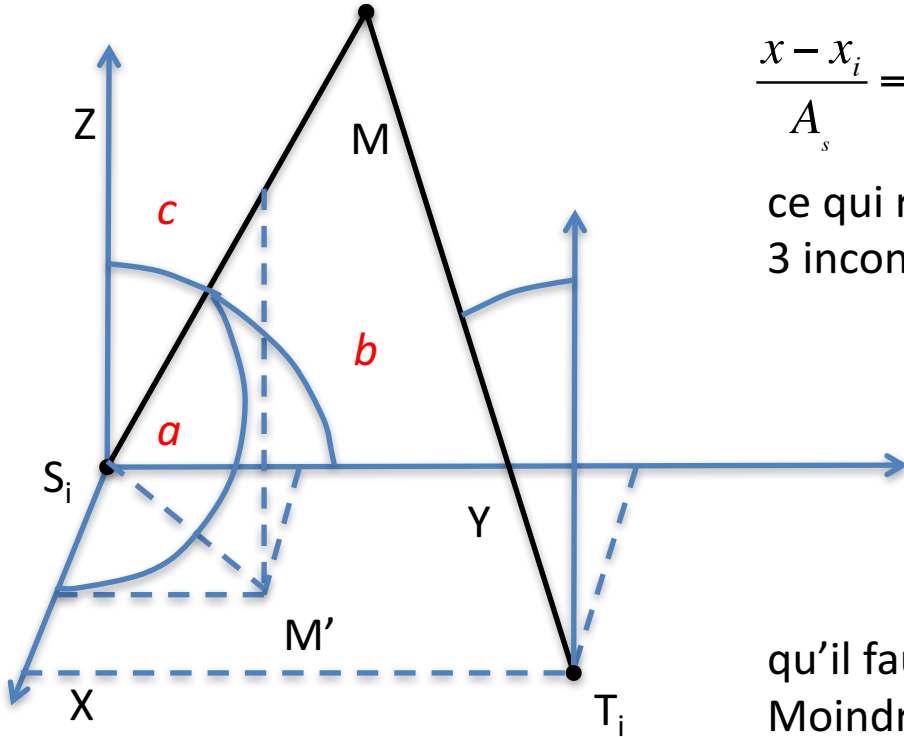
$$\begin{bmatrix} B_s & -A_s & 0 \\ C_s & 0 & -A_s \\ B_t & -A_t & 0 \\ C_t & 0 & -A_t \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X_M \\ Y_M \\ Z_M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B_s X_i - A_s Y_i \\ C_s X_i - A_s Z_i \\ B_t X_j - A_t Y_j \\ C_t X_j - A_t Z_j \end{bmatrix}$$

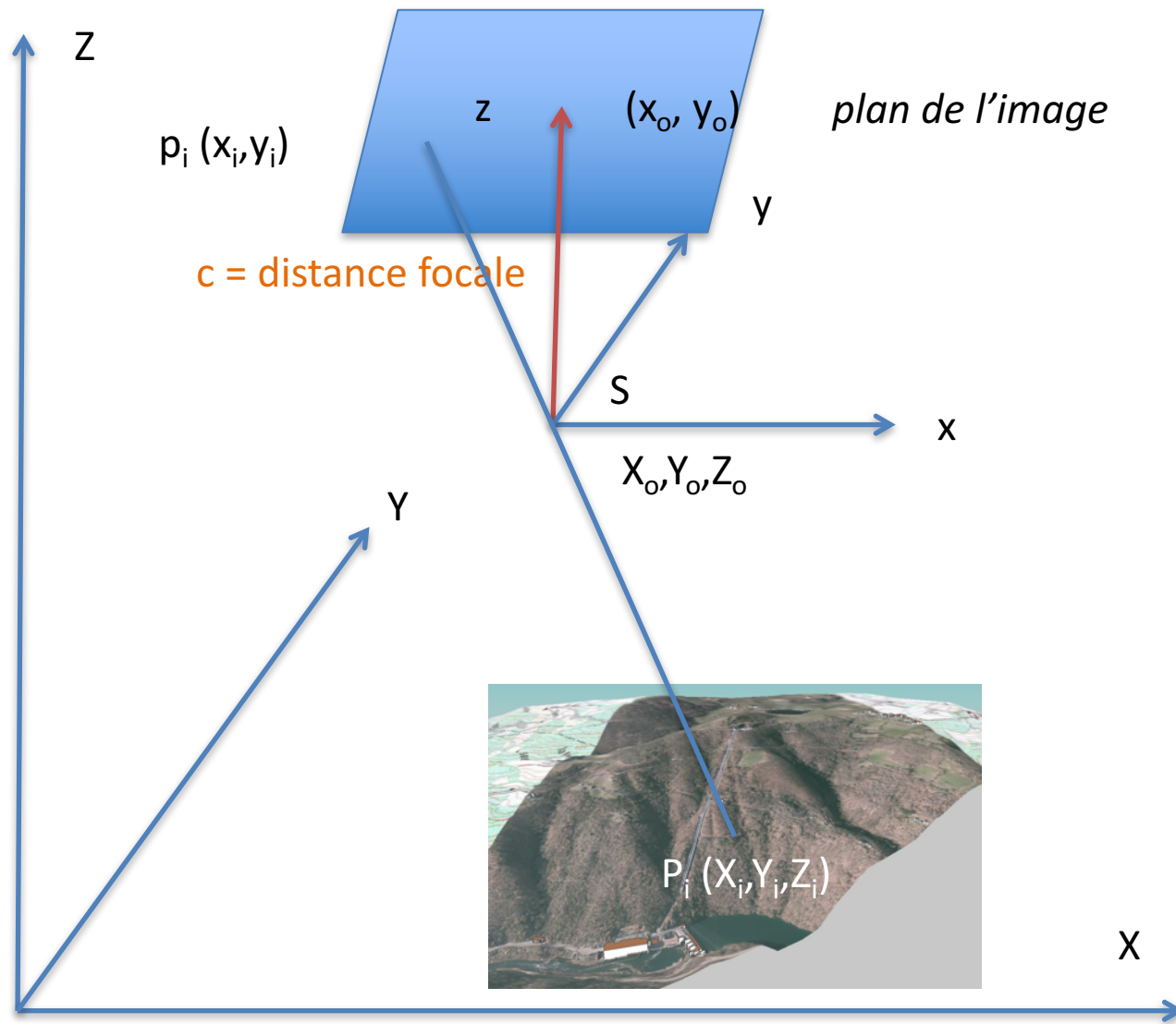
qu'il faudra résoudre en utilisant la méthode des
Moindres Carrés (nb.. observations > nb. inconnues)

$$\hat{x} = (A^t A)^{-1} \cdot (A^t L)$$

$$Q_{\hat{x}\hat{x}} = (A^t A)^{-1}$$

$$Q_{\hat{l}\hat{l}} = A \cdot (A^t A)^{-1} \cdot A^t$$





$$u_i = \frac{x_i - x_o}{c}$$

$$v_i = \frac{y_i - y_o}{c}$$

$$U_i = \frac{X_i - X_o}{Z_i - Z_o}$$

$$V_i = \frac{Y_i - Y_o}{Z_i - Z_o}$$

Si nous donnons au point S un déplacement dont les composants sont dX_o , dY_o , dZ_o les paramètres directeurs U_i , V_i prennent par différentiation des formules précédentes les valeurs suivantes :

$$U_i + dU_i = U_i - \frac{1}{Z_i - Z_o} dX_o + \frac{U_i}{Z_i - Z_o} dZ_o$$

$$V_i + dV_i = V_i - \frac{1}{Z_i - Z_o} dY_o + \frac{V_i}{Z_i - Z_o} dZ_o$$

Donnons à la gerbe perspective observée les rotations correspondantes :

$$\begin{bmatrix} 1 & -\gamma & \beta \\ \gamma & 1 & -\alpha \\ -\beta & \alpha & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} u' \\ v' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u' & -\gamma v' & \beta \\ u' \gamma & v' & -\alpha \\ -\beta u' & \alpha v' & 1 \end{bmatrix}$$

Les paramètres directeurs réduits d'un rayon dans la gerbe terrain et du même rayon dans la gerbe image DOIVENT ETRE EGALES.

Comme il s'agira de rotations différentielles, nous pouvons linéariser les équations :

$$\frac{u' - \gamma v' + \beta}{1 + \alpha v' - \beta u'} \approx u' - \alpha u' v' + (1 + u'^2) \beta - v' \gamma$$
$$\frac{v' - \gamma u' + \alpha}{1 + \alpha v' - \beta u'} \approx v' - (1 + v'^2) \alpha + u' v' \beta + u' \gamma$$

En utilisant l'astuce mathématique suivante et en considérant les angles de faibles amplitudes (donc négligeables lorsqu'élevé au carré par exemple ...

$$\frac{1}{1 - \alpha} = (1 - \alpha)^{-1} \approx 1 + \alpha$$

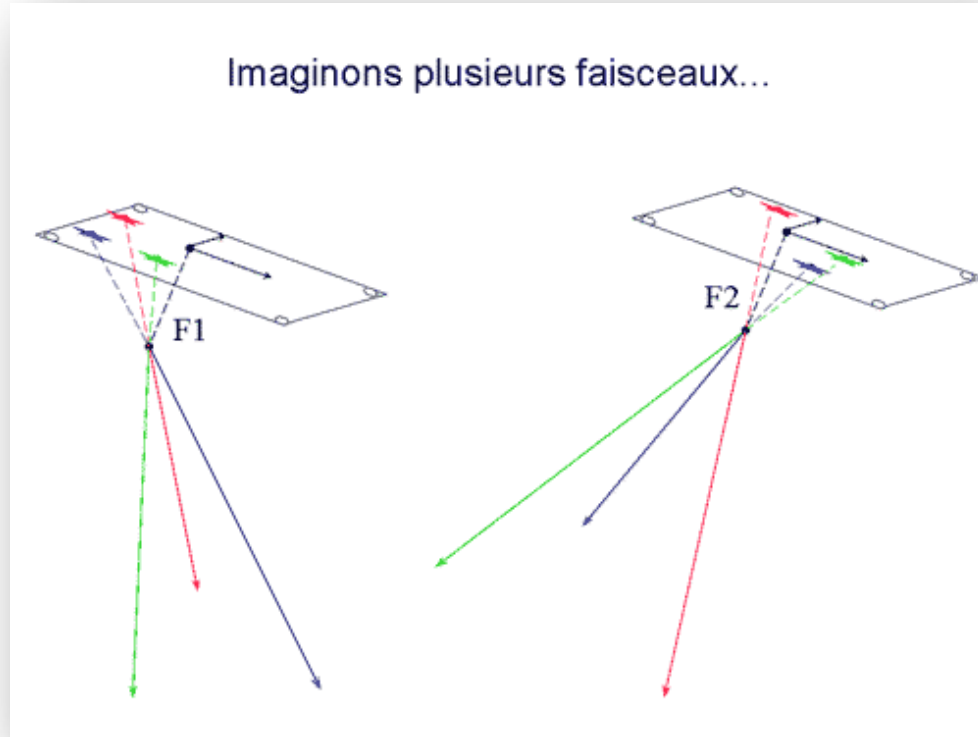
$$U_i - \frac{1}{Z_i - Z_o} dX_o + \frac{U_i}{Z_i - Z_o} dZ_o = u'_i - u'_i v'_i \alpha + (1 + u'^2_i) \beta - v'_i \gamma$$

$$V_i - \frac{1}{Z_i - Z_o} dY_o + \frac{V_i}{Z_i - Z_o} dZ_o = v'_i - (1 + v'^2_i) \alpha + u'_i v'_i \beta + u'_i \gamma$$

Après égalisation des deux relations (image, terrain) nous pouvons écrire les équations sous leurs formes finales. Chaque point « image » « terrain » donnera donc lieu à 2 équations à 6 inconnues. Notez que le facteur d'échelle est omis ...

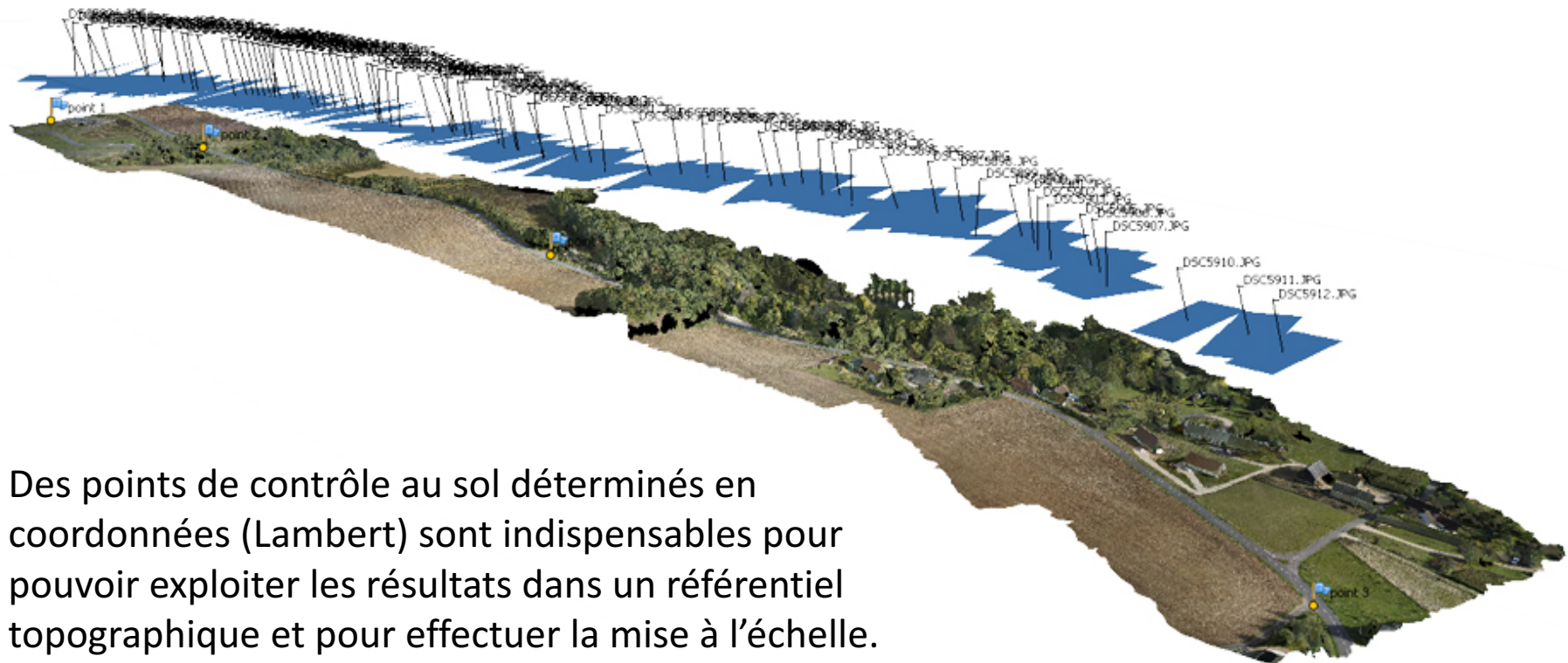
$$\begin{bmatrix} -\frac{1}{Z_p - Z_o} & 0 & \frac{U}{Z_p - Z_o} & -u'v' & (1 + u'^2) & v' \\ 0 & dY_o & dZ_o & -(1 + v'^2) & u'v' & u' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} dX_o \\ dY_o \\ dZ_o \\ d_\alpha \\ d_\beta \\ d_\gamma \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U - u' \\ V - v' \end{bmatrix}$$

Orientation Relative et Absolue

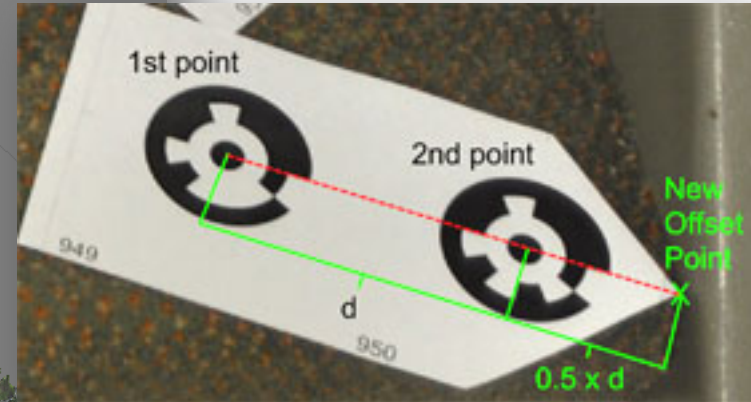
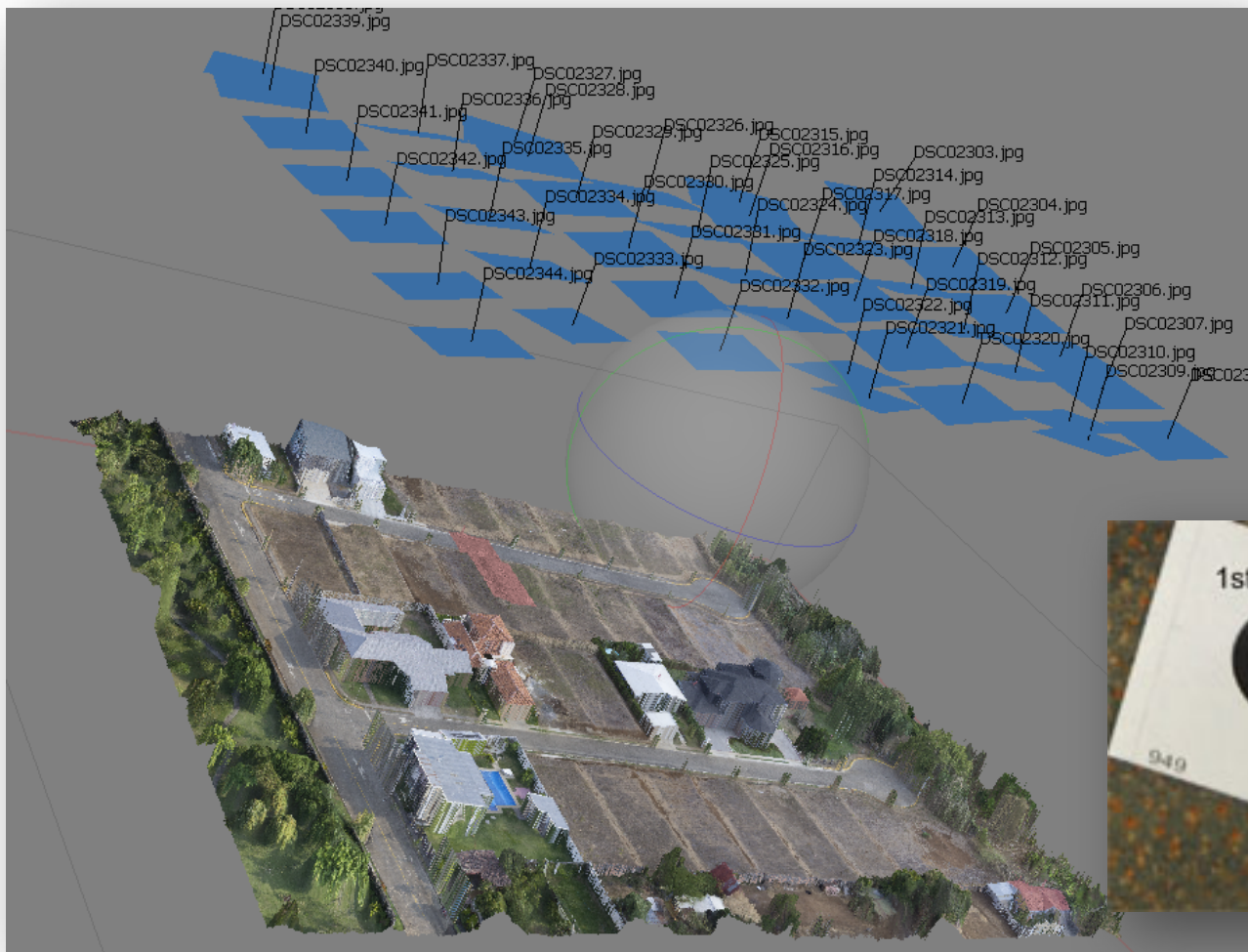


Sommaire

1. Introduction à la photogrammétrie par drone
2. Rappel des notions de traitement de l'information topographique et photogrammétrique
3. Ciblage et détermination par station totale et GNSS RTK des coordonnées des cibles.
4. Réalisation d'un vol photogrammétrique pour le levé de façades de bâtiments.
5. Traitement à l'aide du logiciel PhotoScanPro de AGISOFT et évaluation des différents paramètres sur le résultat.
6. Conclusions
7. Questions/Réponses



Des points de contrôle au sol déterminés en coordonnées (Lambert) sont indispensables pour pouvoir exploiter les résultats dans un référentiel topographique et pour effectuer la mise à l'échelle. Au minimum 3 points sont requis (2 x 2D et 3 en 3D) pour réaliser une transformation 3D (3 translations, 3 rotations, 1 facteur d'échelle)

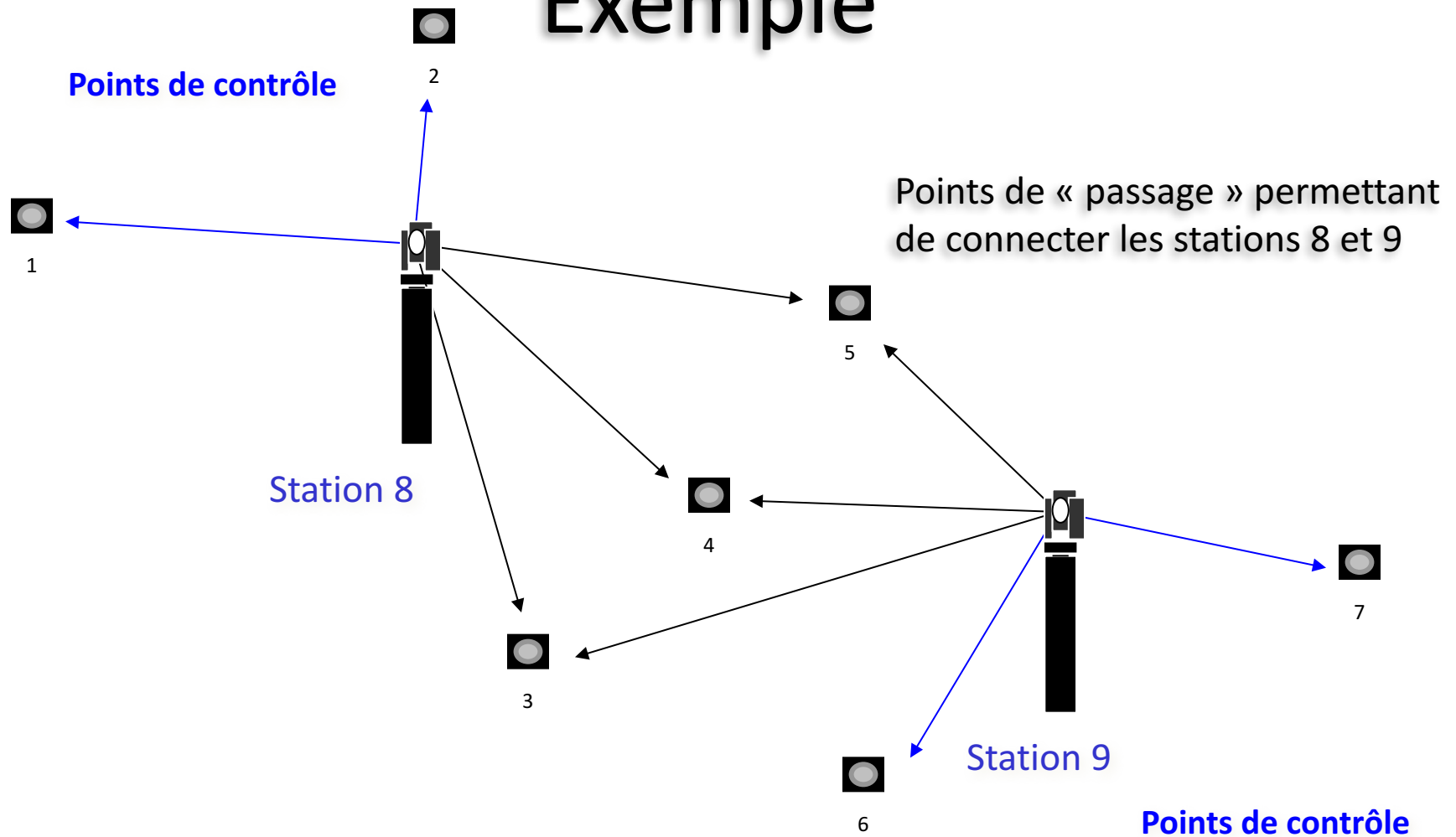


Les points de contrôle doivent être visible sur les images et donc soit le pré-balisage est requis ou alors il faudra retrouver sur le terrain des points remarquables que l'on retrouve sur les images !

Détermination des Points de Calage

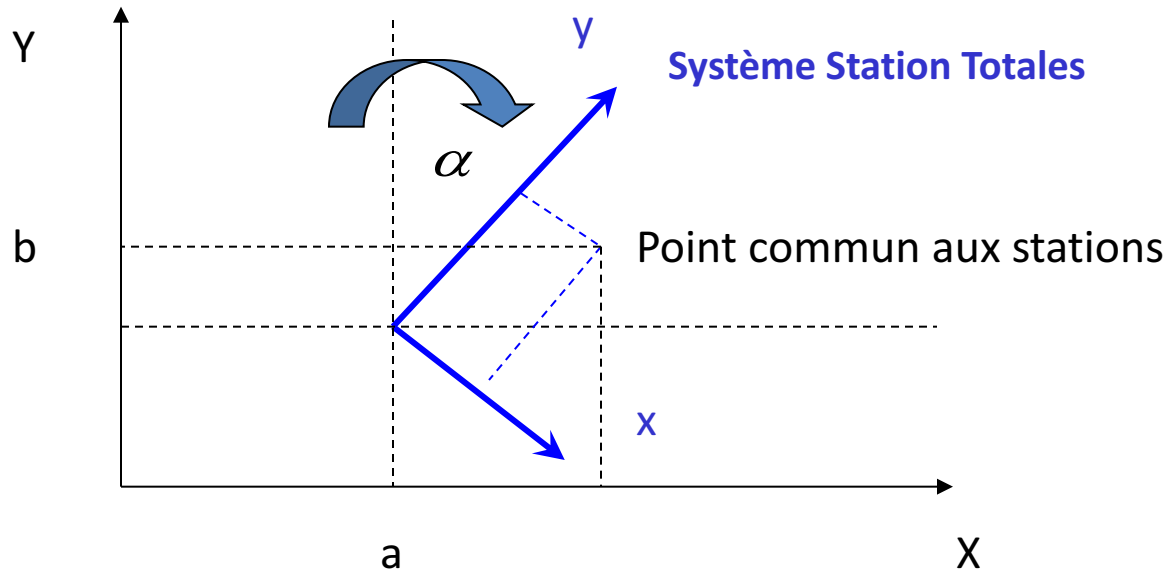
- On a recours à la topographie !
 - soit à l'utilisation d'une station totale (bâtiments) en mode « rayonnement »
 - soit au GNSS RTK ou Post-traitement
 - une combinaison des deux technologies ...
- La configuration de ce type de levé (bâtiments) se prête bien à l'utilisation de la méthode des « stations libres » enchaînées que l'on privilégiera à la méthode de la polygonation pour des raisons de simplicité.

Exemple



Modèle Mathématique

Système points de contrôle



$$\begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} + k \cdot \begin{bmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha \\ -\sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}$$

Linéarisation des équations

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} + k \cdot \begin{bmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha \\ -\sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}$$

En posant a,b,c and d comme suit :

a = translation x to X

b = translation x to Y

c = $k \cdot \cos \alpha$ inclus le facteur d'échelle k et la rotation d'angle α

d = $k \cdot \sin \alpha$ inclus le facteur d'échelle k and la rotation d'angle α

Nous obtenons directement les équations ...

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & x & y \\ 0 & 1 & y & -x \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \\ d \end{bmatrix}$$

Exemple pour les Points 1 and 4

Point 1 located by the **station 8**, known point

$$\begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & x_1^8 & y_1^8 \\ 0 & 1 & y_1^8 & -x_1^8 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a^8 \\ b^8 \\ c^8 \\ d^8 \end{bmatrix}$$

Point 4 located by the **station 8**, unknown point

$$\begin{bmatrix} X_4 \\ Y_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & x_4^8 & y_4^8 \\ 0 & 1 & y_4^8 & -x_4^8 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a^8 \\ b^8 \\ c^8 \\ d^8 \end{bmatrix}$$

Point 4 located by the **station 9**, unknown point

$$\begin{bmatrix} X_4 \\ Y_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & x_4^9 & y_4^9 \\ 0 & 1 & y_4^9 & -x_4^9 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a^9 \\ b^9 \\ c^9 \\ d^9 \end{bmatrix}$$

Exemple pour le Point 4

Point 4 is located by the **station 8** and by the **station 9**, unknown point

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & x_4^8 & y_4^8 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & y_4^8 & -x_4^8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & x_4^9 & y_4^9 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & y_4^9 & -x_4^9 & 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a^8 \\ b^8 \\ c^8 \\ d^8 \\ a^9 \\ b^9 \\ c^9 \\ d^9 \\ X_4 \\ Y_4 \end{bmatrix}.$$

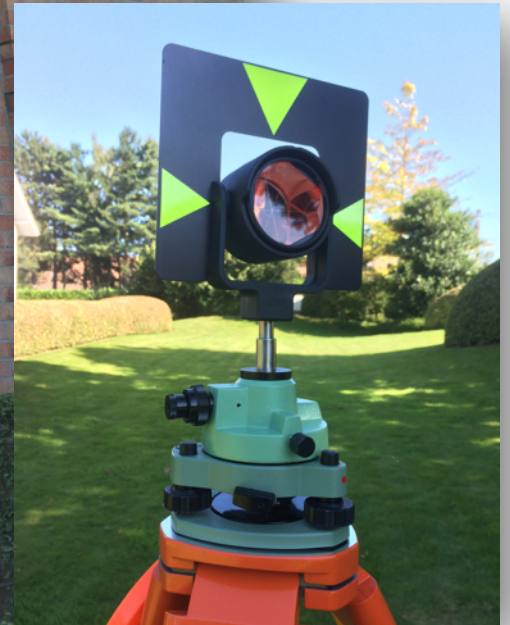
Modèle mathématique complet

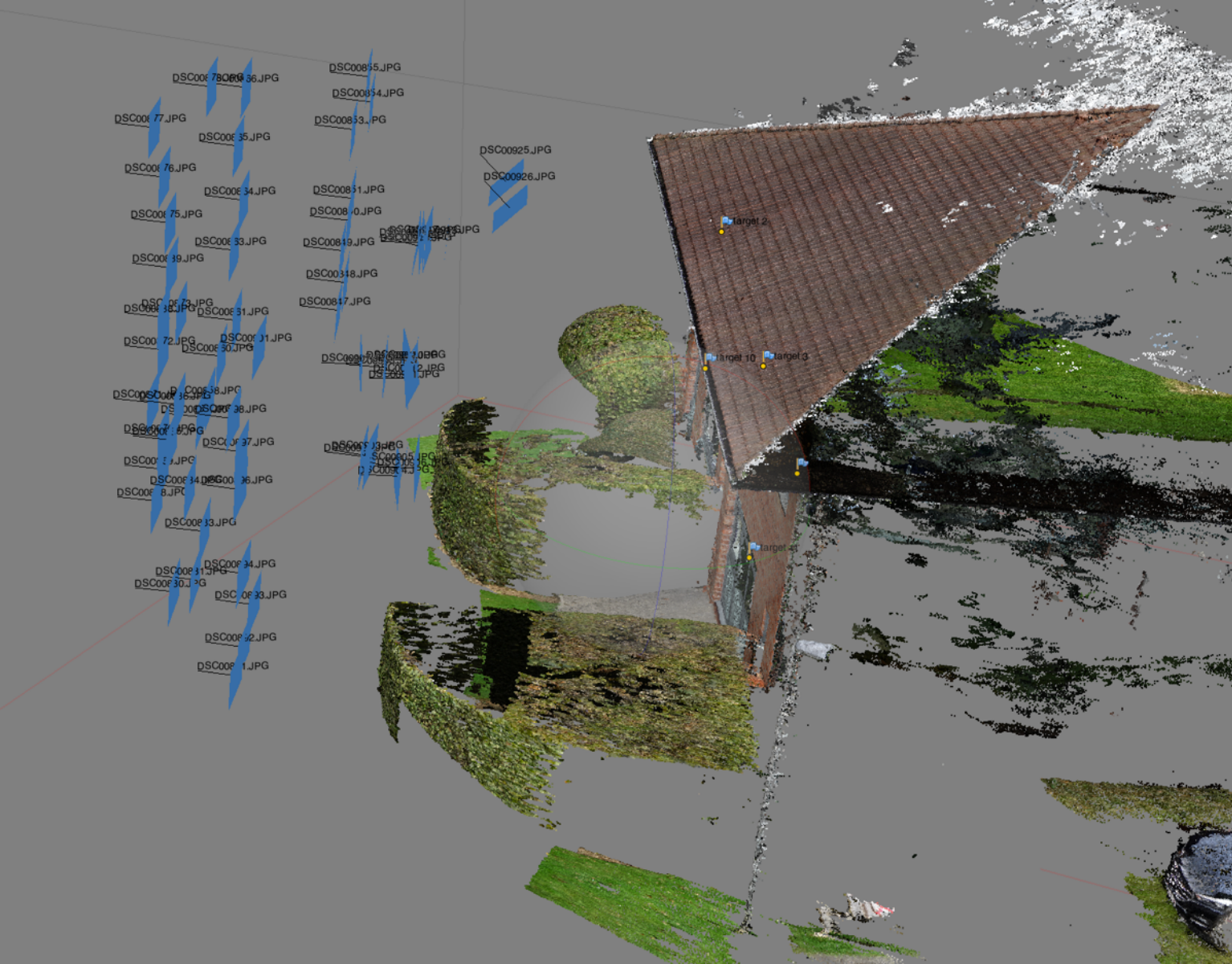
$$\begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ X_2 \\ Y_2 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1^8 & y_1^8 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ y_1^8 & -x_1^8 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ x_2^8 & y_2^8 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ y_2^8 & -x_2^8 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ x_5^8 & y_5^8 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ y_5^8 & -x_5^8 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ x_4^8 & y_4^8 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ y_4^8 & -x_4^8 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ x_3^8 & y_3^8 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ y_3^8 & -x_3^8 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & x_5^9 & y_5^9 & 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & y_5^9 & -x_5^9 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & x_7^9 & y_7^9 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & y_7^9 & -x_7^9 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & x_6^9 & y_6^9 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & y_6^9 & -x_6^9 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & x_3^9 & y_3^9 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & y_3^9 & -x_3^9 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & x_4^9 & y_4^9 & 1 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & y_4^9 & -x_4^9 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} c_8 \\ d_8 \\ a_8 \\ b_8 \\ c_9 \\ d_9 \\ a_9 \\ b_9 \\ X_5 \\ Y_5 \\ X_4 \\ Y_4 \\ X_3 \\ Y_3 \end{bmatrix}$$

Sommaire

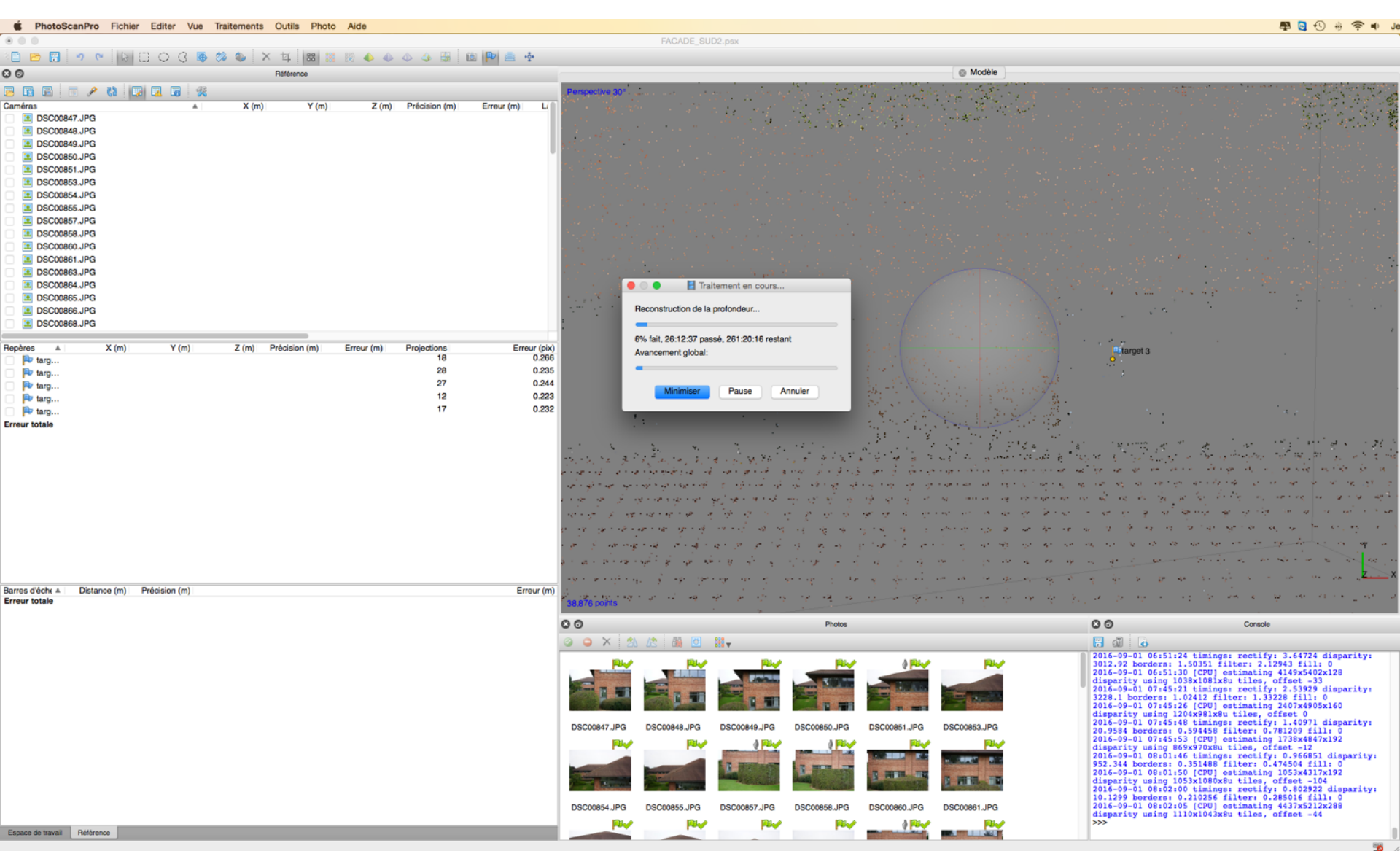
1. Introduction à la photogrammétrie par drone
2. Rappel des notions de traitement de l'information topographique et photogrammétrique
3. Ciblage et détermination par station totale et GNSS RTK des coordonnées des cibles.
4. Réalisation d'un vol photogrammétrique pour le levé d'une façade de bâtiments.
5. Traitement à l'aide du logiciel PhotoScanPro de AGISOFT et évaluation des différents paramètres sur le résultat.
6. Conclusions
7. Questions/Réponses

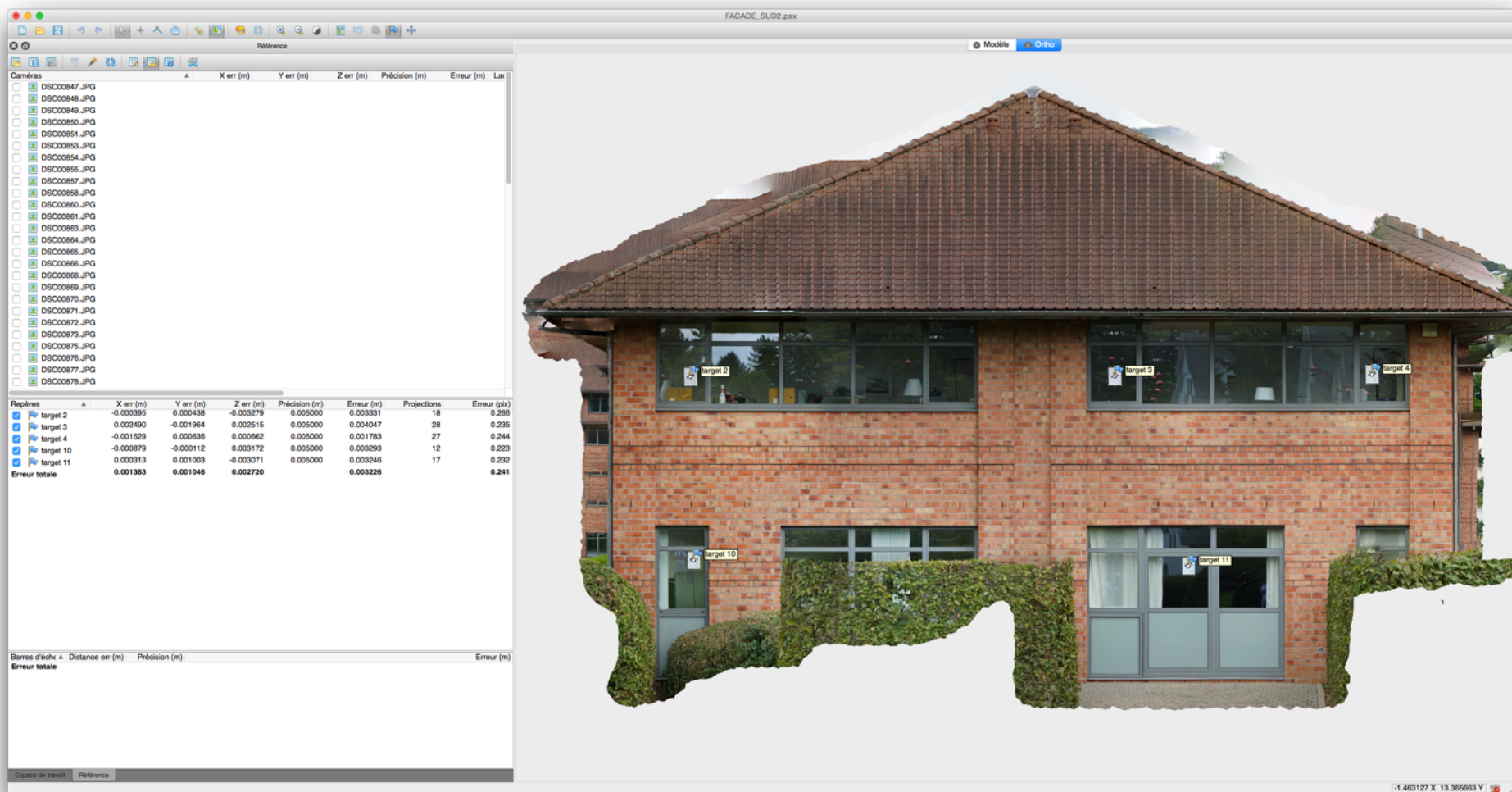












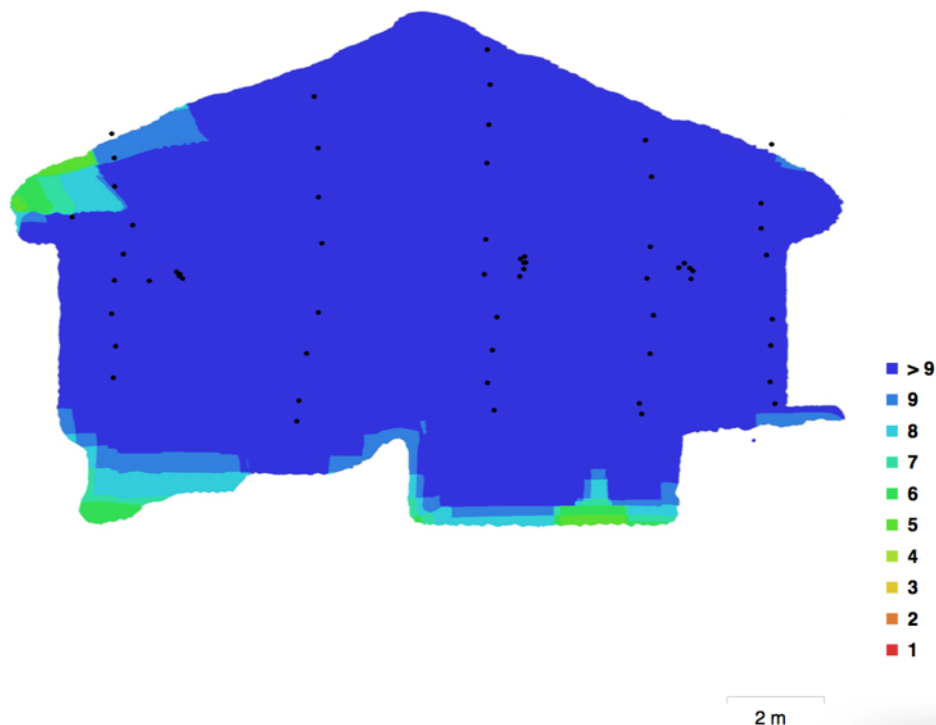
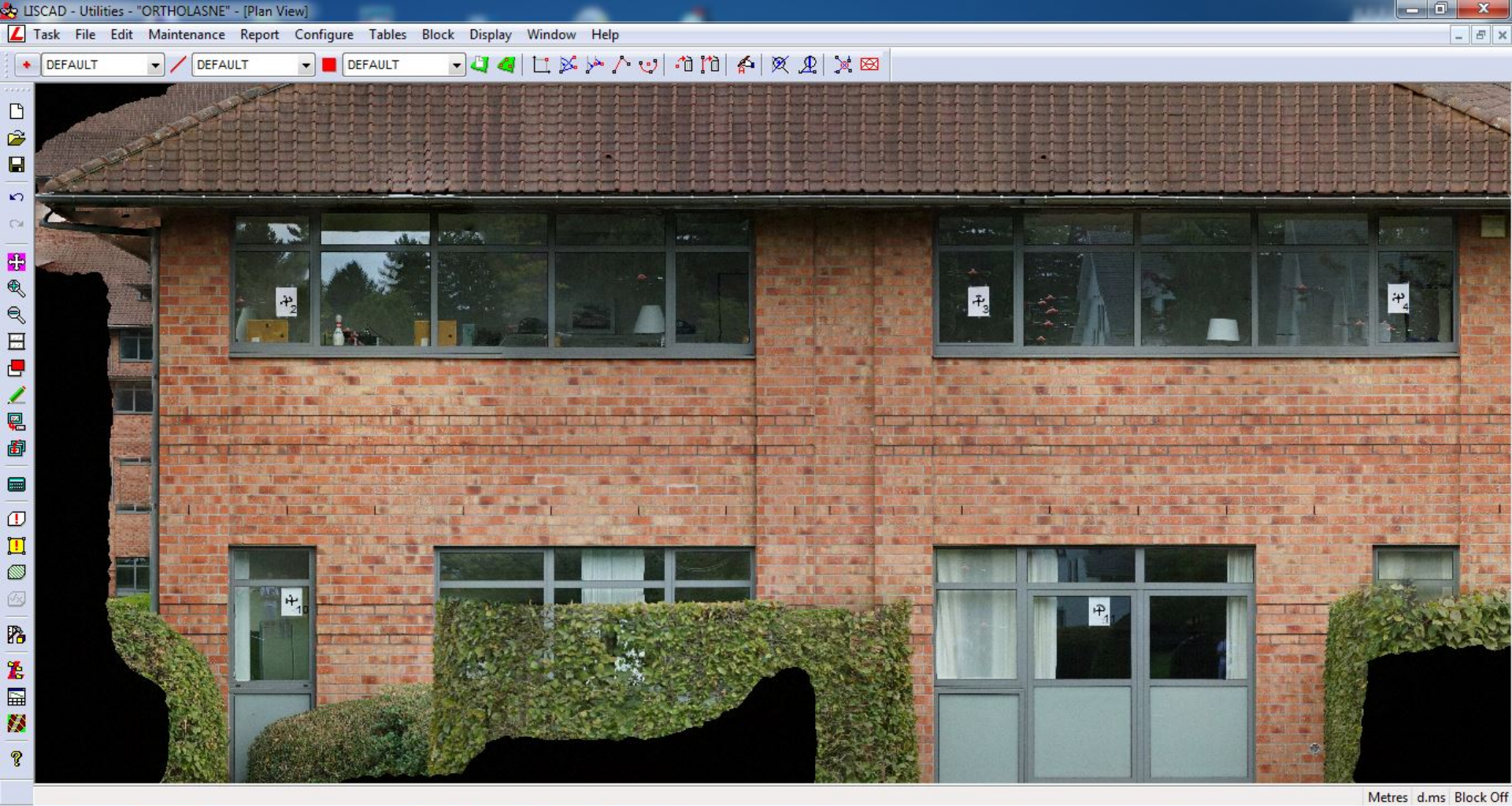


Fig. 1. Emplacements de caméras et chevauchement d'images.

Nombre d'images:	72	Positions de caméra:	60
Altitude de vol:	9.71 m	Points de liaison:	38,876
Résolution au sol:	1.28 mm/pix	Projections:	182,964
Zone de couverture:	128 m carrés	Erreur de reprojection:	0.667 pix

Etiquette	XY erreur (m)	Z erreur (m)	Erreur (m)	Projections	Erreur (pix)
target 2	0.000589584	-0.00327851	0.0033311	18	0.266
target 3	0.0031714	0.00251455	0.00404731	28	0.235
target 4	0.00165552	0.000662281	0.00178308	27	0.244
target 10	0.000886131	0.00317172	0.00329318	12	0.223
target 11	0.00105073	-0.00307075	0.00324554	17	0.232
Total	0.00173409	0.00272028	0.00322598		0.241

Modèle de la caméra	Résolution	Distance focale	Taille de pixel	Précalibré
ILCE-7RM2 (35 mm)	7952 x 5304	35 mm	4.53 x 4.53 μm	Non



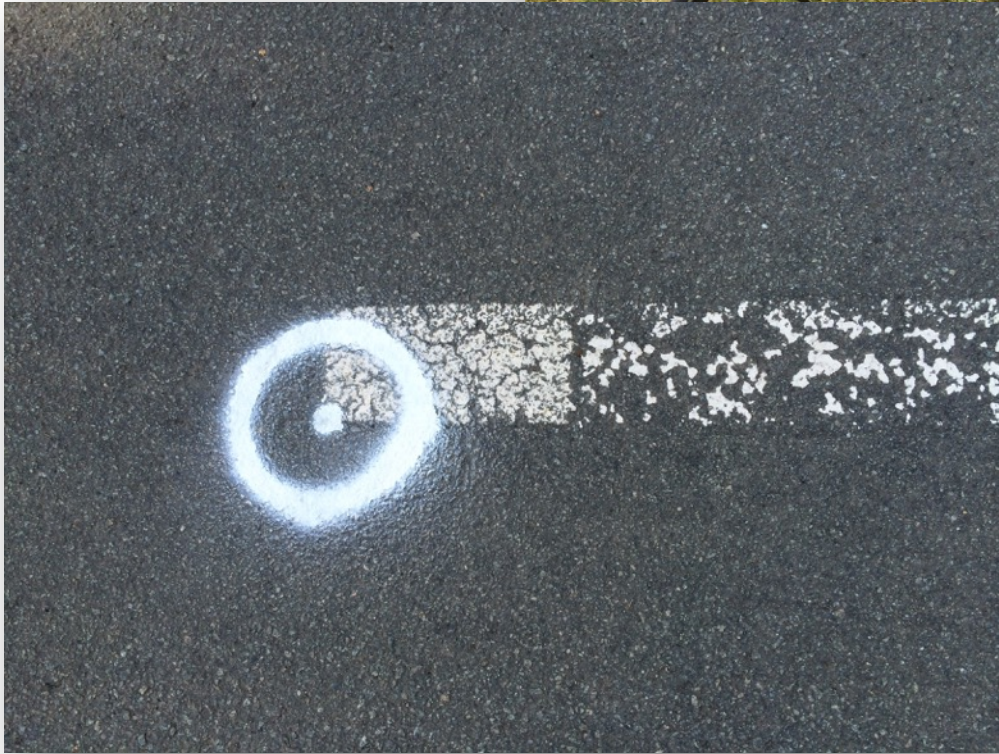


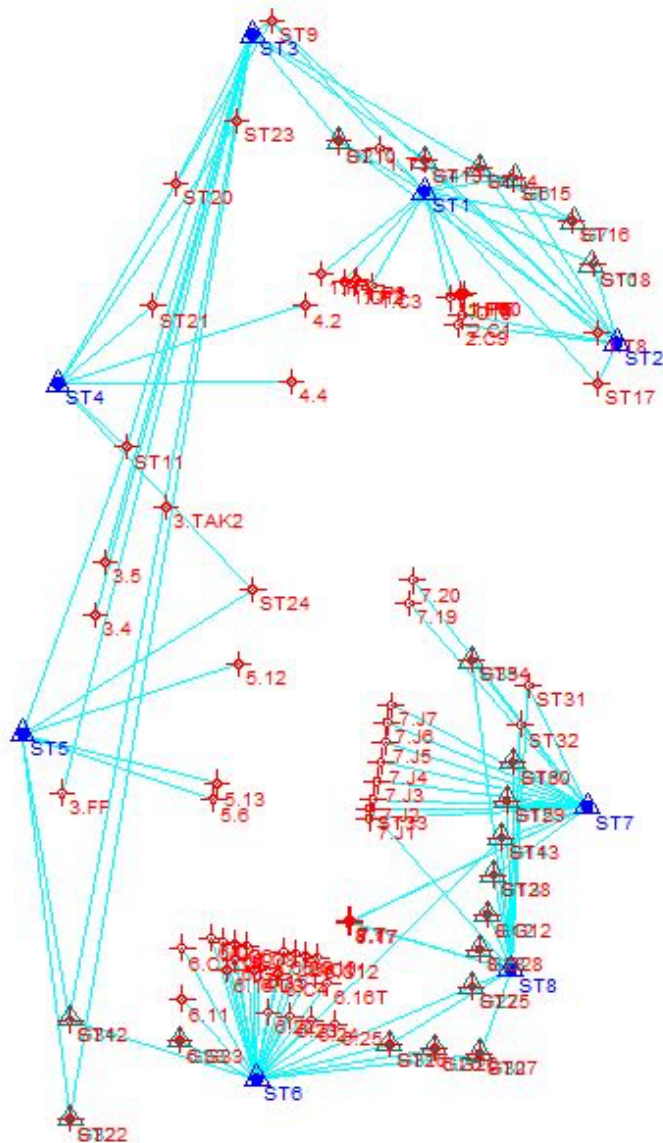






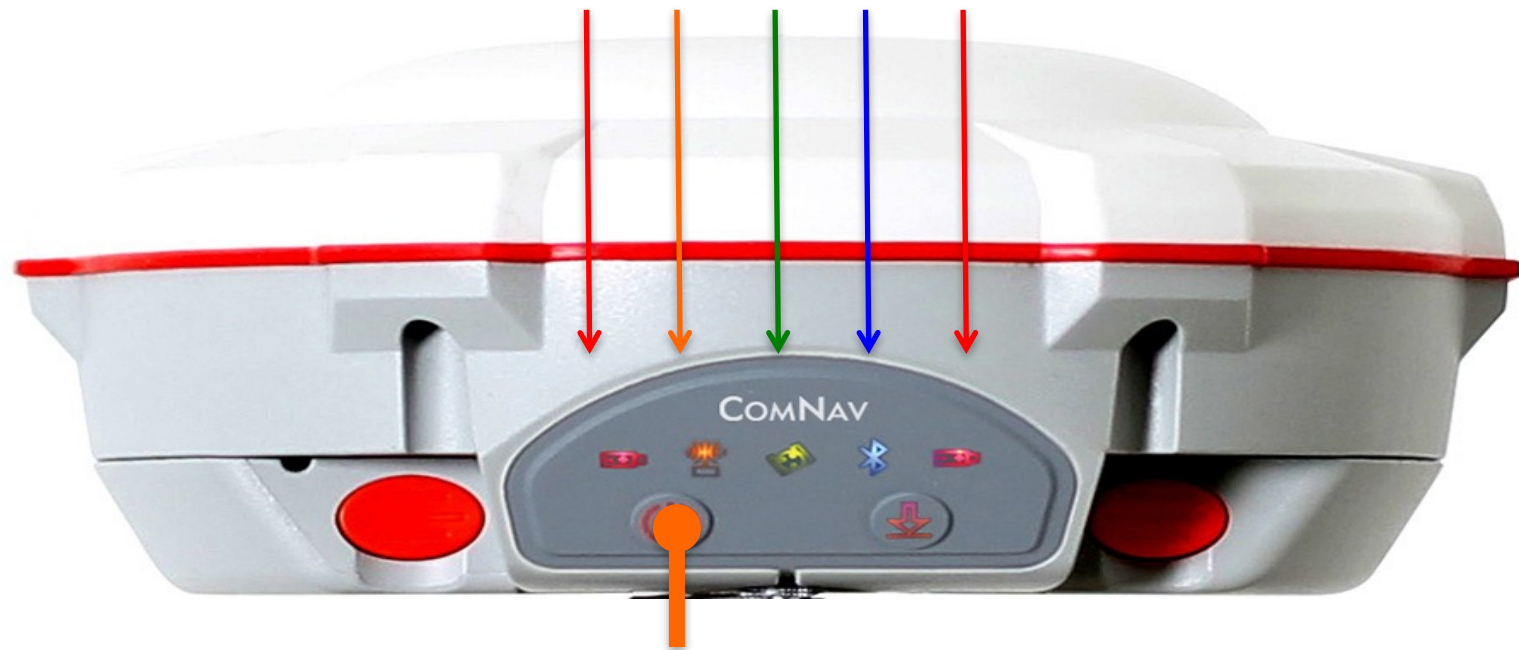






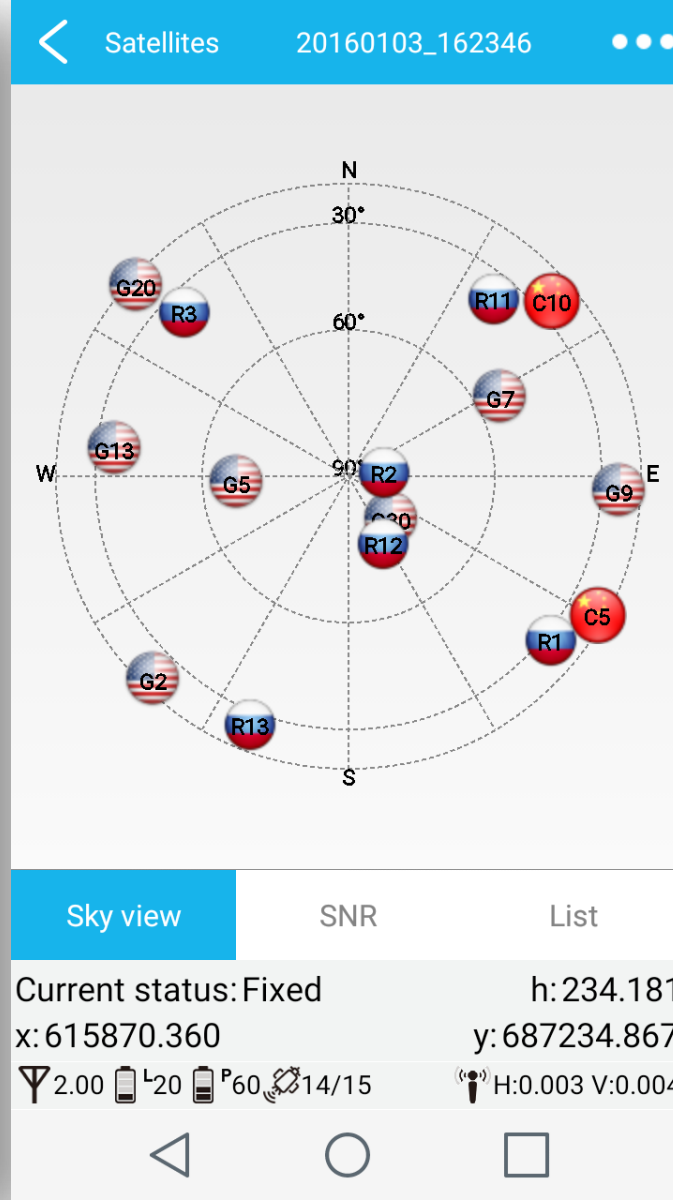
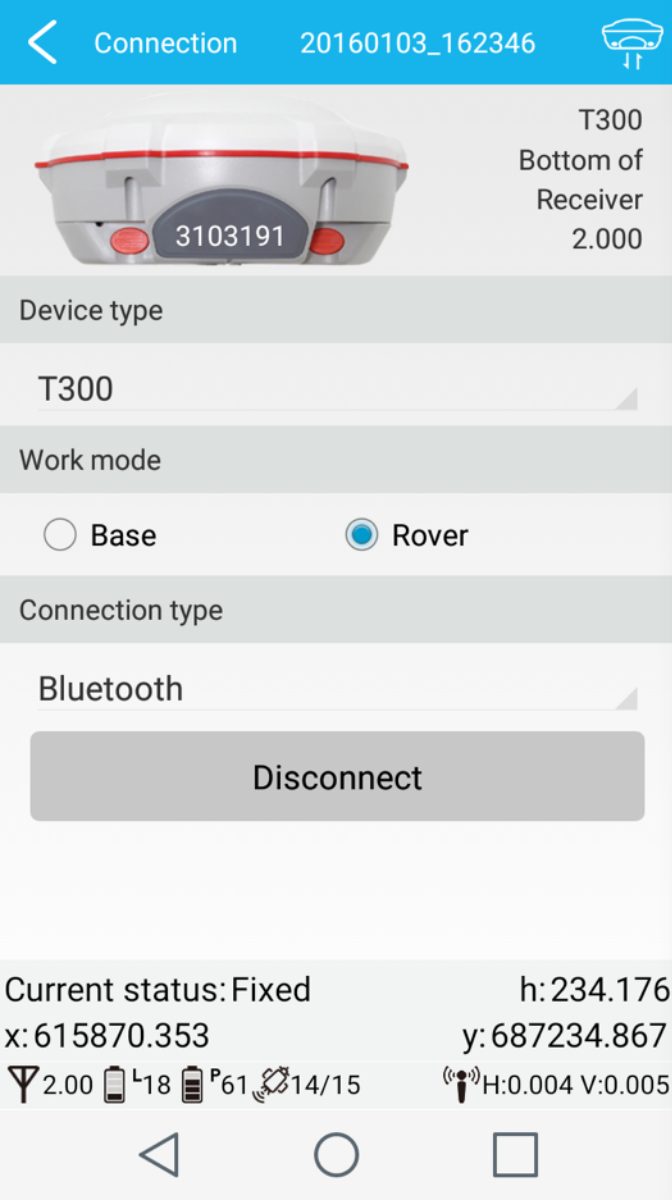
- 8 stations « libres » effectués avec une station totale FOIF RTS010 – précision 1 seconde, 1 mm + pmm.
- 20 points levés par GNSS RTK (Walcors) avec un récepteur ComNav Technology GNSS T300 RTK
- Le mode de stations libres enchaînées représente la façon idéale de relever les cibles sur les façades du bâtiment et s'inspire des mêmes méthodes de traitement des observations de la photogrammétrie
- 26 points de connexions

Les diodes **rouges** indiquent l'état des batteries, la diode **bleue** la connexion BT, la diode **verte** l'état de poursuite des satellites et la diode **orange** la réception des corrections de WALCORS.



ON : Presser la touche pour démarrer le GNSS T300. Les diodes s'allumeront en mode test et puis la diode verte indiquera que les satellites GNSS sont poursuivis.

OFF : Maintenir la touche enfoncée pour éteindre le GNSS T300 pendant quelques secondes jusqu'à ce que les diodes s'éteignent.



L'application SURVEY MASTER est disponible gratuitement sur Google App pour être installée sur des SmartPhones ou Tablettes sous ANDROID.

Les résultats peuvent être envoyés directement par e-mail ainsi que les photos du site ...



- **Station Totale FOIF RST010**
- Mesureur de distance sans contact (précision 1 mm)
- Portée sur prisme 6 Km
- Précision angulaire Hz et Vz de 1''
- Optique de haute qualité
- Interface RS-232, USB
- Programme de levé :
 - Carlson CE – SurvCE
 - MicroSurvey – FieldGenius



DUPLO - Block Adjustment of Single Free Monitoring Total Stations

Actions Steps About

Stations Informations :

Station Id	FileName	s.Cos(phi)	s.Sin(phi)	tX	tY	tZ
ST1	CSTC1.blc	-0.20899488	0.97884962	160615.227	153307.217	113.4
ST2	CSTC2.blc	-0.13513249	0.99156997	160618.875	153274.570	113.1
ST3	CSTC3.blc	-0.20265281	0.97868205	160601.268	153317.511	114.9
ST4	CSTC4.blc	-0.10320751	0.99355383	160571.923	153262.060	115.8
ST5	CSTC5.blc	-0.14375778	0.98883072	160574.574	153246.640	116.5

Connecting Points :

Point Id	X	Y	Z	Pos CQ mm.	Hgh CQ mm
G2	160881.311	153150.595	122.826	11.7	13
G5	160892.225	153148.481	121.555	12.8	16
G6	160894.874	153147.769	121.570	12.9	16
T9	160901.238	153131.813	121.572	16.3	16
G10	160900.947	153141.075	121.554	14.2	16
TT	160876.119	153159.859	123.160	13.5	13
G7	160899.436	153144.372	121.544	13.1	16
G4	160888.053	153149.099	121.798	13.1	16
K1	160868.761	153147.306	123.400	16.0	10
K2	160866.995	153137.855	123.700	16.0	10
K3	160864.948	153126.889	124.000	16.0	10

DUPLO is developed by CGEOS - Creative Geosensing SPRL

08:23 23/11/2016 DUPLO has your results available now !

Nombre de station : 8
 Points de connexions : 26
 Nombre d'équations : 190
 Nombre d'inconnues : 84
 Degré de liberté : 106

Number of positive corrections : 95
 Number of negative corrections : 95
 Number of zero corrections : 0
 Maximum correction : 0.027 m.
 Minimum correction : -0.035 m.
 Variance Factor : 1.39E-04
 A posteriori Standard Deviation : 0.012 m.

STATIONS PARAMETERS

$X = a.x + b.y + c$
 $Y = b.x - a.y + d$

STATION ST1

Bias Scale Factor : -0.91 mm./Km
 Rotation Angle Hz0 : 186.60856 gons.

a : -0.20899488
 b : 0.97884962
 c : 160615.227 m.
 d : 153307.217 m.

Point Id.	X m.	Y m.
S3	160883.822	153139.385
S10	160889.882	153138.521
S11	160881.742	153139.711
G2	160881.312	153150.598
T3	160884.560	153149.940
G5	160892.228	153148.476
G6	160894.873	153147.769
G7	160899.450	153144.380
T8	160901.311	153135.674
T9	160901.242	153131.816
P1	160882.701	153139.822
P2	160882.558	153139.649

CORRECTION ANALYSIS

Number of positive corrections : 42
 Number of negative corrections : 53
 Number of zero corrections : 0
 Maximum correction : 0.064 m.
 Minimum correction : -0.042 m.
 Variance Factor : 4.66E-04
 A posteriori Standard Deviation : 0.022 m.

STATIONS PARAMETERS

$Z = z + a$

STATION ST1

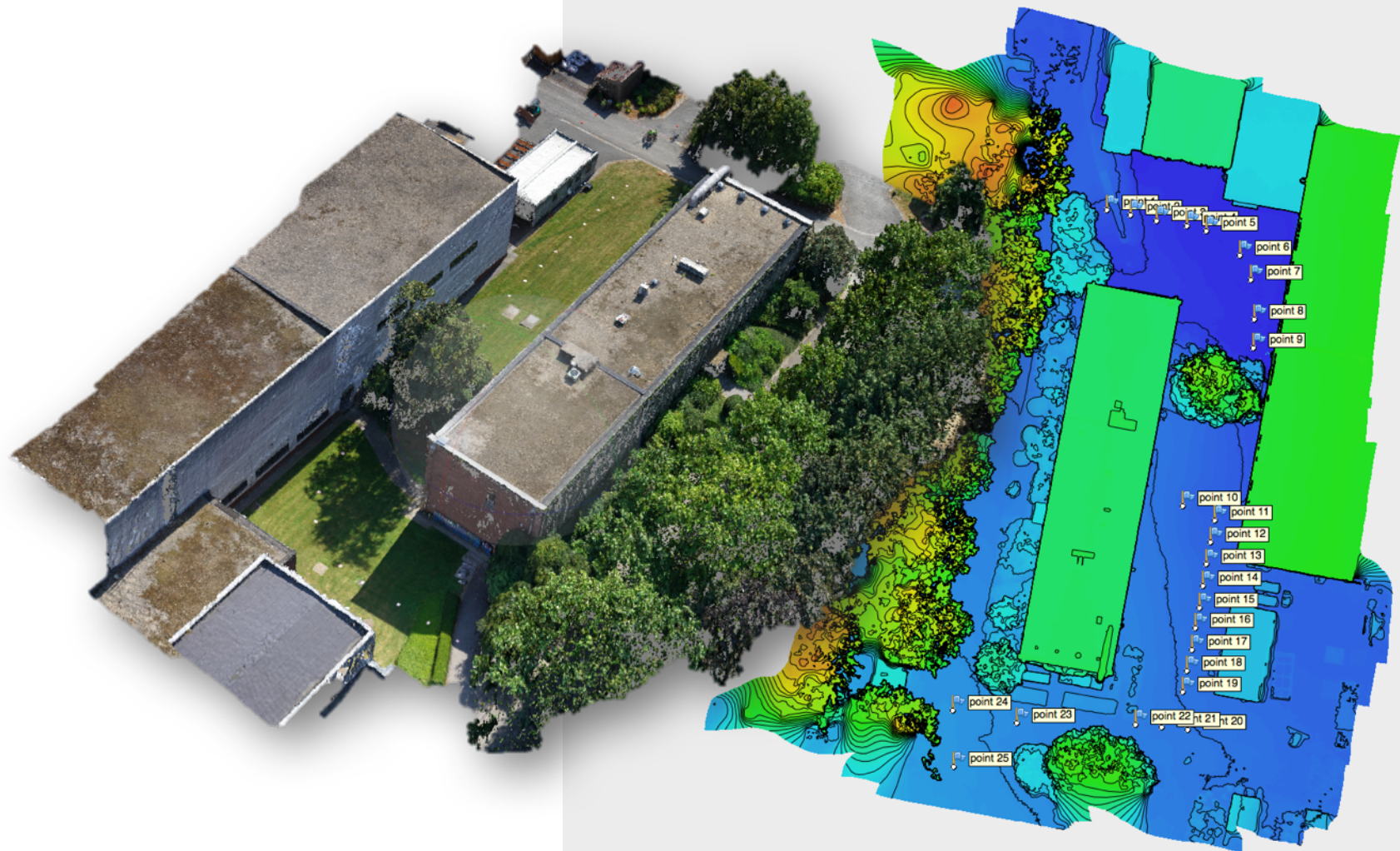
Translation Up : 113.486 m.

Point Id.	Z m.
S3	129.470
S10	123.925
S11	123.568
G2	122.826
T3	122.479
G5	121.558
G6	121.573
G7	121.545
T8	121.582
T9	121.569
P1	124.872
P2	124.725
P3	121.990
P4	121.983
P5	121.958
P6	122.354
P7	123.570

CORRECTION AFTER ADJUSTMENT

Station	Target	Zc m.
ST1	G2	.000
ST1	G5	.002
ST1	G6	.002
ST1	G7	.000
ST1	T9	-.003
ST1	G10	.019
ST2	G2	-.007
ST2	G4	-.002
ST2	G5	-.002
ST2	G6	-.002
ST2	T9	.003
ST2	G10	.002
ST3	K1	.008
ST3	K3	.007
ST3	G2	-.044
ST3	G4	.002
ST3	G7	-.034
ST3	G32	.029
ST3	G34	.002
ST4	K5	.006
ST4	K2	-.004
ST5	K3	-.013
ST5	G34	-.002
ST5	G32	-.002
ST6	G14	-.002
ST6	G26	-.010
ST6	G33	-.013
ST6	G31	-.004
ST6	G30	.006
ST6	G34	.000
ST7	G13	-.001
ST7	G14	.002
ST7	G15	.004
ST7	G16	.005
ST7	17	-.003
ST7	T18	.003
ST7	G35	.001





Données initiales

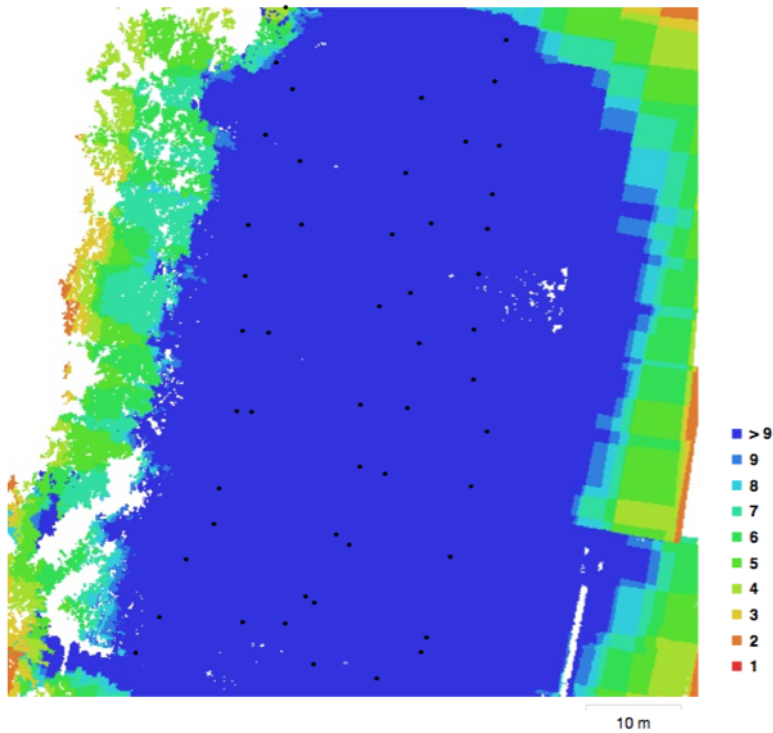


Fig. 1. Emplacements de caméras et chevauchement d'images.

Nombre d'images: 50

Altitude de vol: 53.9 m

Résolution au sol: 6.66 mm/pix

Zone de couverture: 4.72e+03 m carrés

Positions de caméra: 50

Points de liaison: 24,112

Projections: 166,630

Erreur de reprojection: 1.04 pix

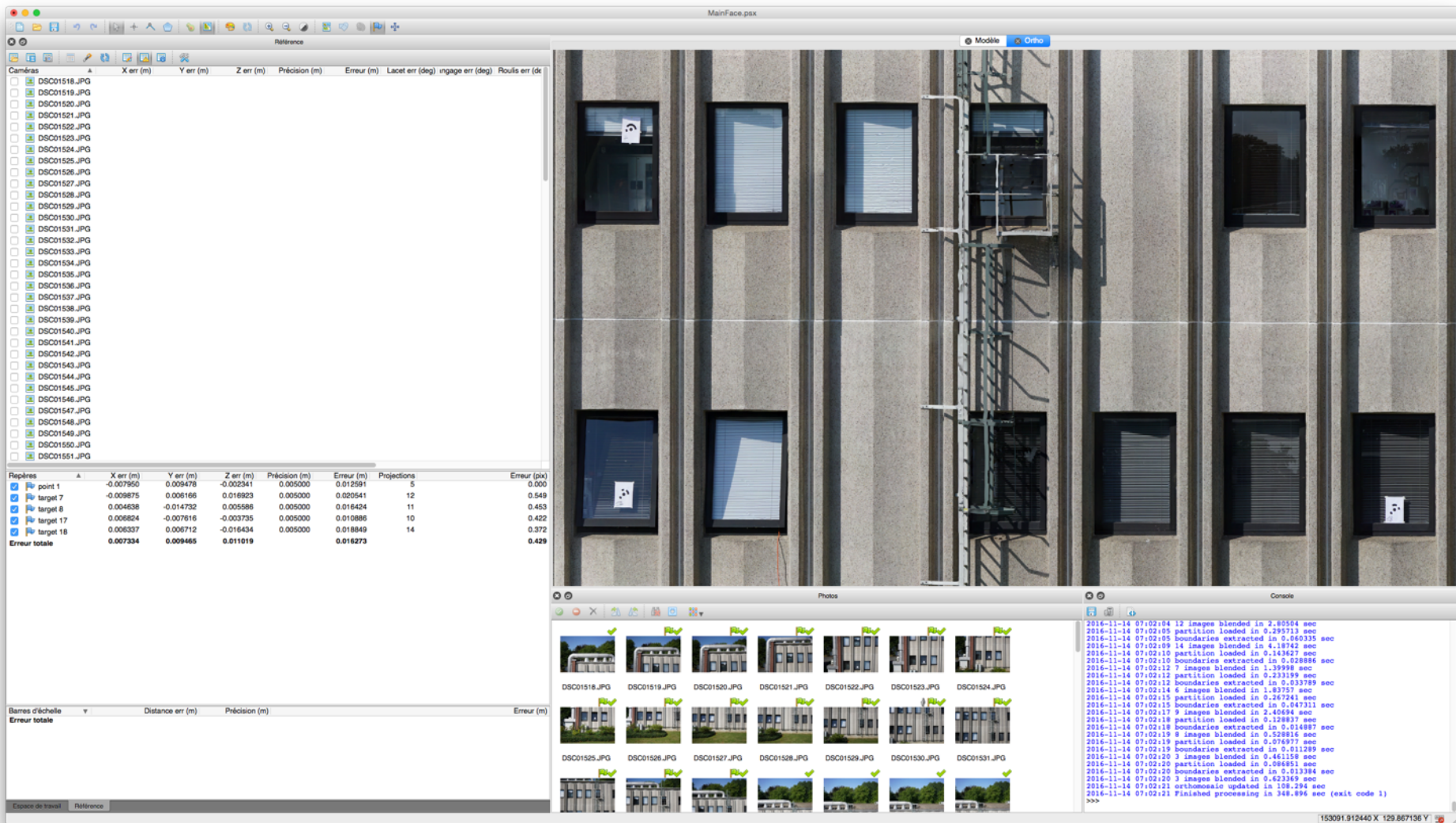
Modèle de la caméra	Résolution	Distance focale	Taille de pixel	Précalibré
ILCE-7RM2 (35 mm)	7952 x 5304	35 mm	4.53 x 4.53 µm	Non

Points de contrôle terrain



Fig. 3. Positions des points de contrôle terrain.

Etiquette	XY erreur (m)	Z erreur (m)	Erreur (m)	Projections	Erreur (pix)
point 2	0.0330652	-0.000721052	0.0330731	17	0.000
point 3	0.0377372	0.022343	0.0438555	17	0.000
point 6	0.0188128	0.0056828	0.0196524	18	0.000
point 7	0.0324065	0.0485381	0.0583621	18	0.000
point 8	0.0279379	-0.0311474	0.0418412	19	0.000
point 11	0.0339305	-0.00299864	0.0340627	20	0.000
point 12	0.0142076	-0.0473919	0.0494757	21	0.000
point 13	0.0226361	-0.047417	0.052543	20	0.000
point 14	0.0121357	-0.0243489	0.0272056	20	0.000



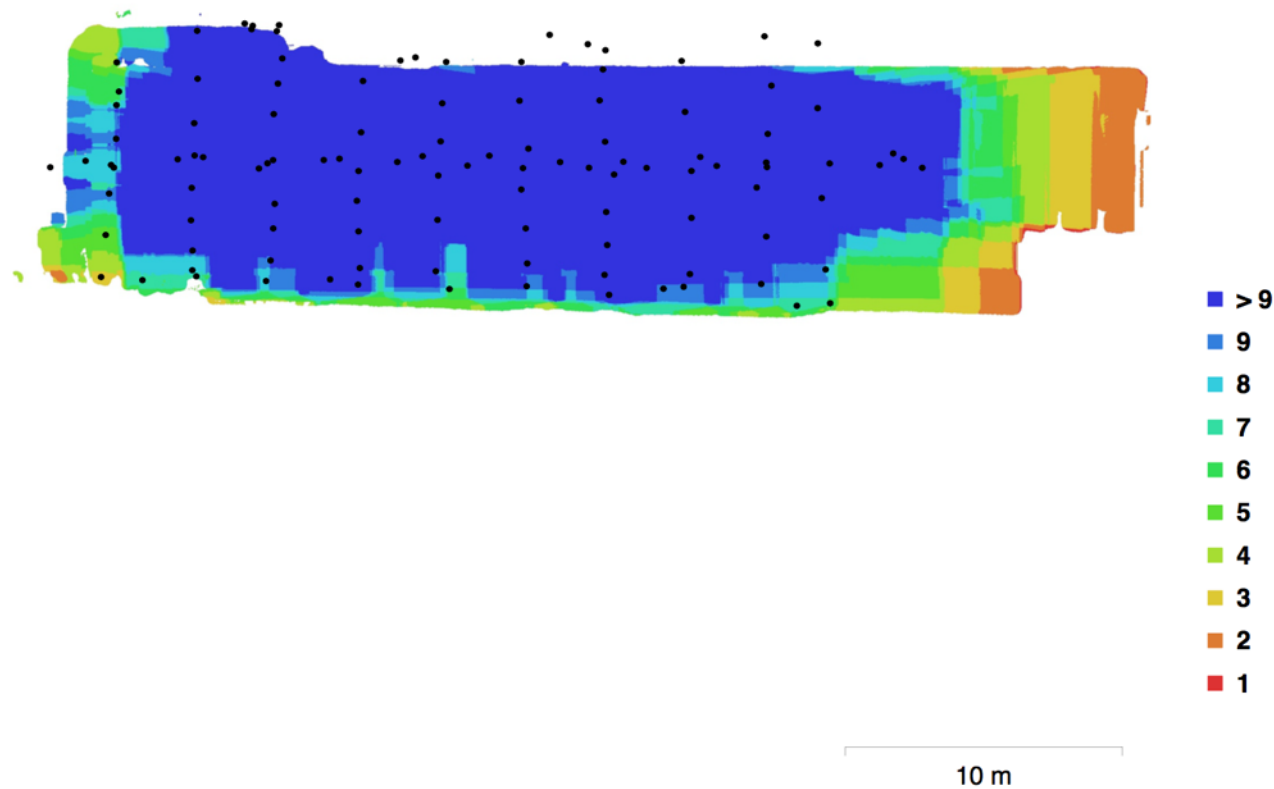


Fig. 1. Emplacements de caméras et chevauchement d'images.

Nombre d'images:	112	Positions de caméra:	112
Altitude de vol:	8.95 m	Points de liaison:	54,490
Résolution au sol:	1.08 mm/pix	Projections:	359,783
Zone de couverture:	337 m carrés	Erreur de reprojection:	0.878 pix



Fig. 3. Positions des points de contrôle terrain.

Etiquette	XY erreur (m)	Z erreur (m)	Erreur (m)	Projection
target 7	0.0116421	0.0169231	0.0205409	12
target 8	0.0154451	0.00558563	0.016424	11
target 17	0.0102257	-0.00373469	0.0108863	10
target 18	0.00923029	-0.0164343	0.018849	14
point 1	0.0123711	-0.0023409	0.0125906	5
Total	0.0119741	0.0110191	0.0162727	

Calibration de caméra

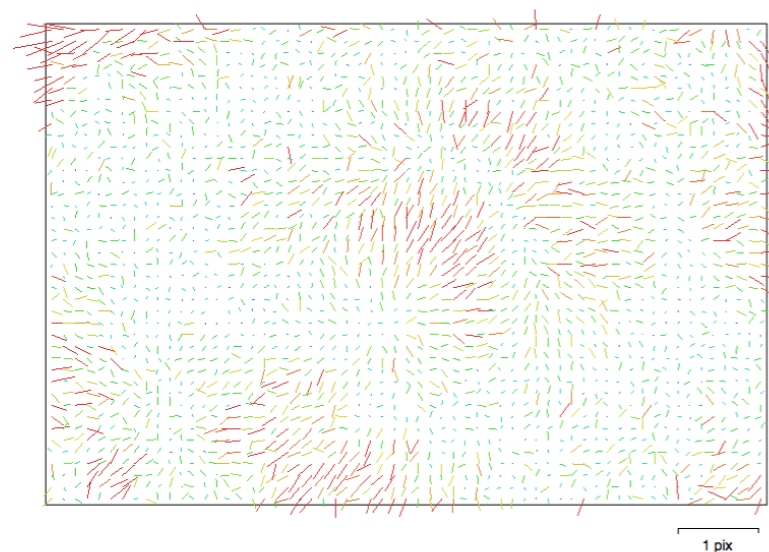


Fig. 2. Résiduelles des points de liaison pour ILCE-7RM2 (35 mm).

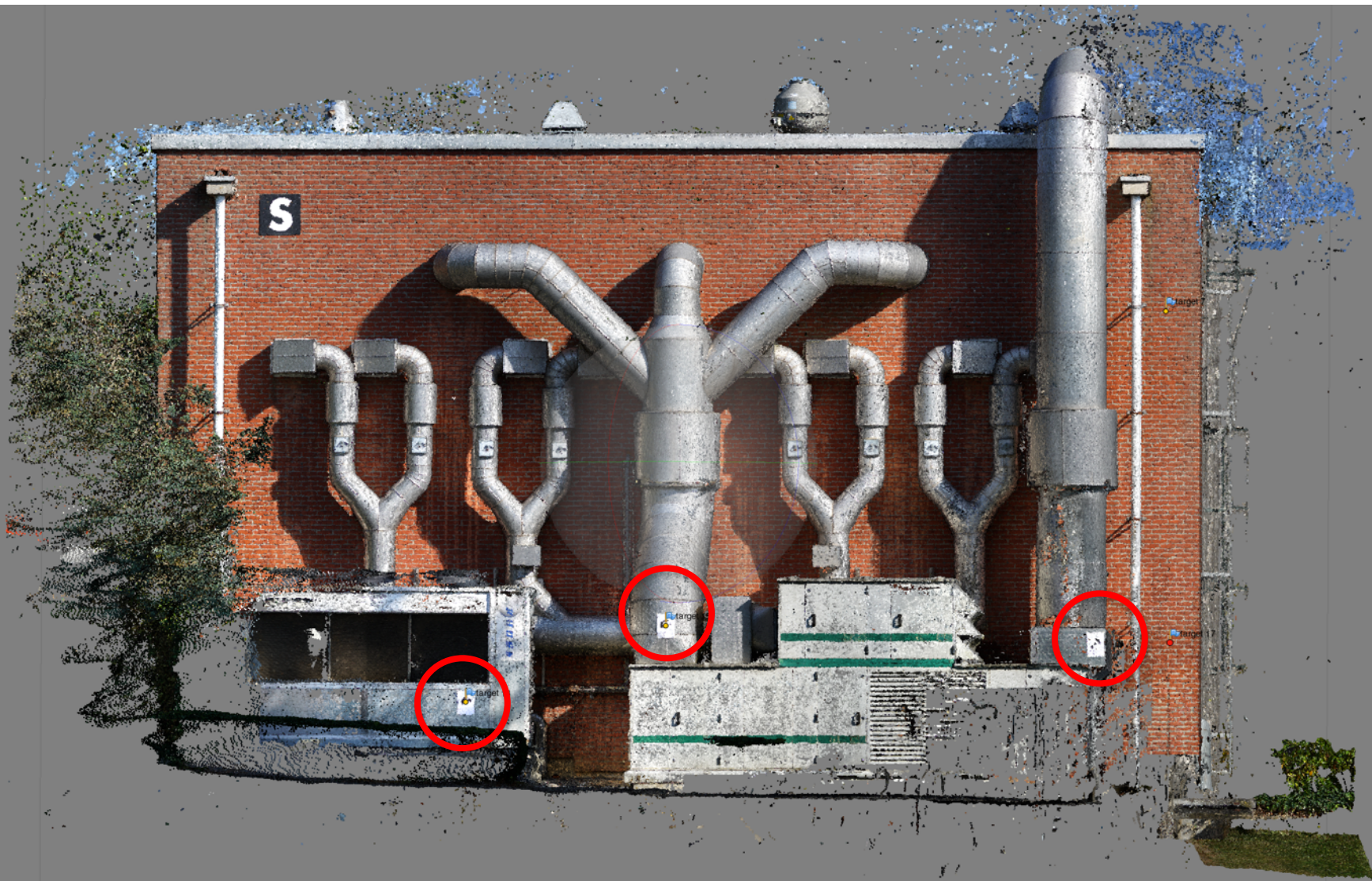
ILCE-7RM2 (35 mm)

112 images

Résolution 7952 x 5304	Distance focale 35 mm	Taille de pixel 4.53 x 4.53 μm	Précalibré Non
Type:	Cadre	F:	7995.3
Cx:	-0.783141	B1:	23.4615
Cy:	63.4479	B2:	0
K1:	0.0544759	P1:	-0.000843983
K2:	-0.233542	P2:	0.00104636
K3:	0.019101	P3:	0
K4:	0	P4:	0

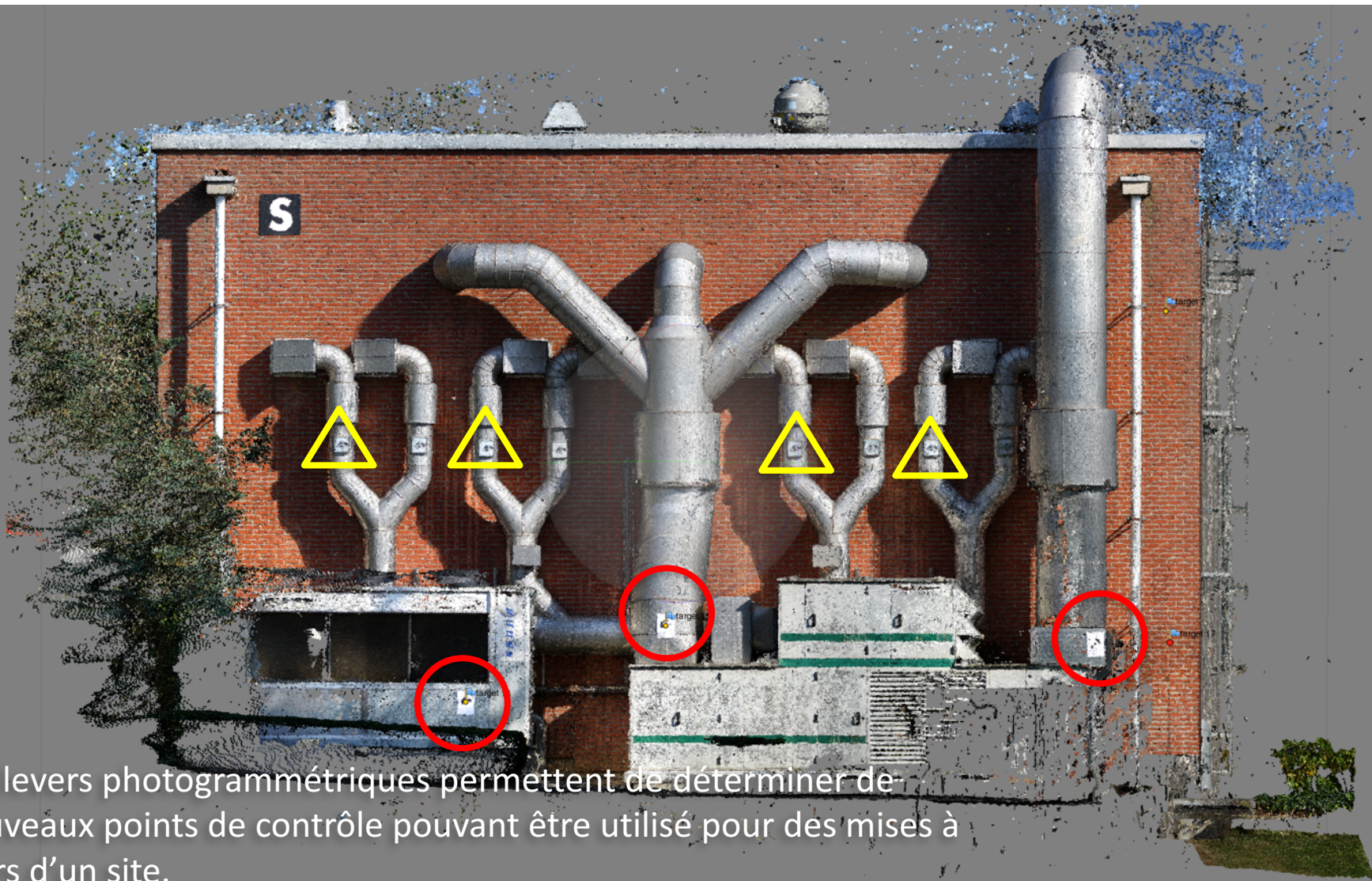
0.000

0.429



Conclusions

- La photogrammétrie terrestre et par drone apporte certainement une solution technique aux relevés des façades de qualité topographique (< 1 cm).
- Néanmoins, les plans de vol et le ciblage requièrent une attention particulière sous peine de distorsion importante.
- Des investigations doivent être menées avec des logiciels type IGN France (MicMac) et une calibration préalable de la caméra.
- L'adjonction de prise de vue au sol est souhaitable.
- Un pré-traitement sur site des images permettrait de valider la saisie et éventuellement de réaliser des compléments.
- Les logiciels de traitement requièrent des ordinateurs puissants et équipés de cartes graphiques performantes. Il existe des solutions de traitement via le Cloud ...
- L'interaction entre les stations totales, le GNSS RTK et les levers photogrammétriques par drone permet aujourd'hui d'envisager de nouvelles combinaisons « créatives »



Les levés photogrammétriques permettent de déterminer de nouveaux points de contrôle pouvant être utilisé pour des mises à jours d'un site.

CAHIER SPECIAL DES CHARGES POUR L'EXECUTION D'UN LEVER PHOTO-TOPOGRAPHIQUE PAR DRONE/RPAS

Rédigé par CGEOS SPRL, Membre de DRONE VALLEY et de
L'EFDCD - European Federation for Development of Civil Drones
Juin 2016

Clauses Techniques Particulières

Ce document reprend les clauses techniques particulières incluant les obligations auxquelles le télépilote du drone photo-topographique doit souscrire.

1. CONDITIONS LEGALES

Le télépilote du drone doit avoir plus de 18 ans et être licencié par la DGTA (examen théorique et pratique) il fournira une copie de l'attestation ainsi qu'une copie de la déclaration d'exploitation auprès de la DGTA.

L'appareil doit être homologué par la DGTA. Le numéro d'homologation sera fourni de même que le numéro d'immatriculation délivré par la DGTA.

Le soumissionnaire est invité à suivre scrupuleusement la législation en la matière et en aucun cas l'organisme donneur d'ordre de mission ne sera responsable des infractions et délits commis dans le cadre des missions confiées.

Pour rappel et notamment :

- L'autorisation de vol en-dehors des espaces aériens contrôlés devra être délivrée sur simple notification à la DGTA
- Interdiction de voler près des sites sensibles (aéroport, centrales, casernes, bâtiments officiels, terminaux GNL, zones réglementées actives (P, D, R, HTA, TRA/TSA, LFA, etc.))
- L'autorisation de vol en espaces aériens contrôlés doit recevoir l'autorisation spéciale de la DGTA pour prestation à haut risque. (classe 1a)
- Le soumissionnaire doit fournir une copie des assurances obligatoires pour un aéronef effectuant des travaux aériens
- Le vol photogrammétrique devra impérativement se réaliser à vue du pilote ou des 2 observateurs.
- Le vol ne peut dépasser une hauteur de 300 ft (environ 90m)
- Lorsqu'il exerce les privilèges de son attestation ou de sa Licence, le télépilote doit être en possession des documents suivants :
 - Document d'identité avec photo

Les spécifications techniques d'un lever photogrammétrique par drone ont été élaboré par CGEOS à la demande d'organismes publics et privés.

Ils reprennent le cadre législatif, les exigences en matière de précision ainsi que les documents numériques à délivrer et les différents formats.

Ce document reprend également le contrôle de qualité ainsi que les moyens mis en oeuvre pour la vérification et le commissionnement de ces levers.



DRONE
TECHNIXX

MERCI DE VOTRE ATTENTION et bon succès
dans vos études !

Joël van Cranenbroeck
CGEOS – Creative Geosensing SPRL
+32 0474 98 61 93 cgeosweb@gmail.com