

Expérimentation de la Transformation Linéaire Directe pour différentes applications en photogrammétrie

■ I. ZEROUAL - A. LIAZID

Cet article illustre l'intérêt de la Transformation Linéaire Directe (DLT) comme approche permettant d'assurer un bon rapport qualité/prix pour la génération de modèles 3D. Trois applications différenciées par leurs conditions techniques et environnementales sont étudiées. La première application est du type aérien ayant pour but l'établissement d'une cartographie d'une zone géographique. La seconde concerne le relevé des coordonnées d'un véhicule accidenté pour les besoins de son expertise. Enfin, la troisième application concerne l'évaluation de la surface frontale d'une machine outil en l'occurrence une fraiseuse. Les systèmes d'acquisition utilisés sont propres à chaque application. Le modèle DLT à quatorze paramètres est expérimenté comme moyen unifié de reconstitution de l'objet dans chaque application. Les résultats obtenus témoignent de l'efficacité de ce modèle.

■ mots-clés

Photogrammétrie, DLT, Distorsions.

Les techniques de mesure à partir d'images photographiques nécessitent pendant longtemps la connaissance des paramètres internes des caméras. L'utilisation de caméras métriques (dont les paramètres optiques sont connus avec précision) très chères, étaient alors indispensables mais peu adaptées aux expérimentations en milieu industriel. Dans cet article il est proposé d'étudier trois applications très différentes avec un traitement identique à l'aide de la méthode DLT [1]. Le modèle utilisé est celui à quatorze paramètres ce qui permettra de se prononcer sur sa qualité dans la restitution des coordonnées objet. Dans ce processus, les résultats obtenus renseignent sur la pertinence de ce modèle DLT.

Principe de la DLT

Les coordonnées image et objet des cibles sont reliées par la condition de colinéarité où le vecteur image est aligné au point objet à l'aide d'un vecteur issu du centre perspectif :

$$\begin{pmatrix} x_n - x_p + dx \\ y_n - y_p + dy \\ -c \end{pmatrix} = \lambda M \begin{pmatrix} X_n - X_c \\ Y_n - Y_c \\ Z_n - Z_c \end{pmatrix} \quad (1)$$

où M est la matrice de rotation, λ est un facteur d'échelle, $p_n = (x_n, y_n)^T$ et $P_n = (X_n, Y_n, Z_n)^T$ sont respectivement les coordonnées image et objet de la $n^{\text{ème}}$ cible. Une manipulation algébrique du système d'équations (1) conduit aux bien connues équations de colinéarité (2), reliant la position de la $n^{\text{ème}}$ cible dans l'espace objet au point correspondant dans le plan

image. Les termes dx et dy représentent les distorsions de lentille et les déformations du cliché.

$$\begin{aligned} x_n - x_p + dx &= -c \frac{m_{11}(X_n - X_c) + m_{12}(Y_n - Y_c) + m_{13}(Z_n - Z_c)}{m_{31}(X_n - X_c) + m_{32}(Y_n - Y_c) + m_{33}(Z_n - Z_c)} \\ y_n - y_p + dy &= -c \frac{m_{21}(X_n - X_c) + m_{22}(Y_n - Y_c) + m_{23}(Z_n - Z_c)}{m_{31}(X_n - X_c) + m_{32}(Y_n - Y_c) + m_{33}(Z_n - Z_c)} \end{aligned} \quad (2)$$

où m_{ij} ($i, j = 1, 2, 3$) sont les éléments de la matrice de rotation M et sont fonction des angles d'orientation d'Euler (ω, ϕ, κ). Les paramètres ($\omega, \phi, \kappa, X_c, Y_c, Z_c$) et (c, x_p, y_p) sont respectivement les paramètres d'orientation externes et internes de la caméra. Ces paramètres sont à déterminer par étalonnage. Les termes de distorsions peuvent être modélisés par la somme des distorsions radiales et tangentielles [2][3].

$$d_x = d_{xr} + d_{xt} \text{ et } d_y = d_{yr} + d_{yt} \quad (3)$$

En supposant que l'axe optique des lentilles est perpendiculaire au plan de l'image, les distorsions dx et dy s'expriment par [3][4] :

$$\begin{aligned} d_x &= \alpha(K_1 r^2 + K_2 r^4 + K_3 r^6 + \dots) + P_1 (r^2 + 2\alpha^2) + P_2 \beta \\ d_y &= \beta(K_1 r^2 + K_2 r^4 + K_3 r^6 + \dots) + P_1 \alpha + P_2 (r^2 + 2\beta^2) \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \text{avec : } \alpha &= x - x_p \\ \beta &= y - y_p \\ r^2 &= \alpha^2 + \beta^2 \end{aligned}$$

Les techniques analytiques d'étalonnage de la caméra utilisent les équations de colinéarité (2) et les termes de distorsion, équations (4), pour déterminer les paramètres internes et externes de la caméra [3]. Le nombre de paramètres K_i pris en considération dans les équations (4) dépend du degré de

- sophistication désiré de la solution. En général les paramètres K_1, K_2 suffisent selon la référence [4]. Cependant, seuls des tests permettent de se prononcer sur le nombre des paramètres à adopter.

Les équations de la DL – équations (5) – peuvent être obtenues par simple réarrangement et combinaison des termes des équations de colinéarité (2) :

$$L_1 X_N + L_2 Y_N + L_3 Z_N + L_4 - (x_N + dx) (L_9 X_N + L_{10} Y_N + L_{11} Z_N + 1) = 0 \quad (5)$$

$$L_5 X_N + L_6 Y_N + L_7 Z_N + L_8 - (y_N + dy) (L_9 X_N + L_{10} Y_N + L_{11} Z_N + 1) = 0$$

Les paramètres L_1 à L_{11} sont relatifs aux paramètres d'orientation internes et externes de la caméra [8]. Contrairement aux équations standard de colinéarité, équations (2), les équations de la DLT, équations (5), sont linéaires par rapport aux paramètres L_i ($i = 1, 11$) quand les termes des distorsions dx et dy sont négligés. Ainsi, la forme matricielle des équations de la DLT pour N points cibles est $BxL = C$; où $L = (L_1, \dots, L_{11})^T$; $C = (x_1, y_1, \dots, x_N, y_N)^T$ et B est une matrice ($2Nx11$) qui peut être directement obtenue à partir des équations (5). Une solution au sens des moindres carrés pour obtenir L sans exigence d'une estimation initiale, est donnée par $L = (B^T B)^{-1} B^T C$. Lorsque dx et dy ne peuvent plus être négligées (tenir compte des équations (4) dans le système (5)), alors les méthodes itératives sont exigées et la méthode DLT perd quelque peu de sa simplicité. En général la méthode DLT peut être utilisée pour obtenir de bons résultats concernant les paramètres d'orientation externes ($\omega, \phi, \kappa, X_c, Y_c, Z_c$) et la distance principale (c) bien qu'elle fournit des résultats souvent insuffisants sur les coordonnées du point principal (x_p, y_p). Cependant, la méthode DLT est très utile puisque les approximations initiales peuvent être assez facilement trouvées. Dans ce travail, trois applications sont envisagées. La première en photogrammétrie aérienne et les deux autres en photogrammétrie rapprochée terrestre. Le traitement par la méthode DLT s'effectue dans les trois cas. Afin de tester la pertinence du modèle DLT à quatorze paramètres, seul le paramètre K_1 est sélectionné a priori dans les équations (4). Si on suppose que les paramètres représentant la distorsion de l'objectif varient linéairement, on pourra procéder à une interpolation linéaire pour estimer les facteurs de distorsion relatifs aux cibles et aux points inconnus.

Applications

La première application consiste à exploiter des clichés aériens obtenus à l'aide d'une caméra embarquée de marque Wild avec une distance principale de 88,67 mm [6]. La hauteur de prise de vue est de 1152 m avec un rapport base/éloignement 'B/H' de 1,04. Une vingtaine de points-cibles sont présignalés. Les couples de clichés utilisés (2829 et 2830) sont à axes de prise de vue normaux.

La seconde application consiste à établir les relevés géométriques de la carrosserie d'un véhicule accidenté en vue de son expertise. La description détaillée de cette expérience et des résultats obtenus est présentée dans la référence [5]. Le rapport base-éloignement dans cette application vaut 0,16.

La troisième application a pour objectif la détermination de la surface frontale d'une fraiseuse.

Pour les trois applications, les coordonnées objet des cibles sont obtenues à l'aide de techniques topographiques classiques avec une précision de l'ordre du centimètre.

■ Traitement DLT

Les observations dans l'espace image des coordonnées clichés sont entachées d'erreurs de pointé puisque les mesures sont faites séparément (pointé non stéréoscopique). Devant cet état de fait, il est nécessaire de vérifier les observations en tenant compte des équations aux parallaxes (6).

$$PL_i = x'_i - x''_i \quad (6)$$

où x'_i, x''_i ; $i = (1/n)$ représentent les coordonnées de la parallaxe longitudinale du point (i). La différence de parallaxe ΔPL_i entre la référence (0) et le point (i) est exprimée par l'équation (7).

$$\Delta PL_i = PL_i - PL_0 = Bc \left(\frac{1}{H_i} - \frac{1}{H_0} \right) = \frac{Bc \Delta H_i}{H_i H_0} \quad (7)$$

Où :

- H_i, H_0 : Eloignement du point (i) et de la référence (0).
- PL_0 : Parallaxe linéaire longitudinale du point de référence (0).
- $\Delta H_i = H_i - H_0$: Différence d'éloignement entre le point (i) et le point de référence (0)

Un développement mathématique permet d'aboutir à : $\Delta H_i (B.c + H_0 \Delta PL_i) - H_0^2 \Delta PL_i = 0$ donc une fonction implicite du type $F(\Delta H_i, \Delta PL_i) = 0$. Sa dérivée première par rapport à ΔH_i et ΔPL_i permet d'écrire :

$$A_i = (Bc + H_0 \Delta PL_i); \quad \varepsilon_z = d(\Delta H_i)$$

$$B_i = (H_0 \Delta H_i - H_0^2); \quad \varepsilon_p = d(\Delta PL_i)$$

Ainsi, la relation d'observation (7) peut alors s'écrire sous la forme matricielle $C.X = 0$, avec $C = \{A_i, B_i, i = 1/n\}$ et $X = \{ \varepsilon_z, \varepsilon_p \}$. Donc $X = (C^T C)^{-1}$ représente le biais des mesures en éloignement et en parallaxes. Si on suppose que les paramètres qui représentent la distorsion de l'objectif varient linéairement, on pourra procéder à une interpolation linéaire pour estimer les paramètres de distorsion relatifs aux points de contrôle et aux points nouveaux. Ainsi, par rapport au centre du cliché, pour chaque accroissement de rayon $\Delta r_i = (r_{i+1} - r_i)$ correspond un accroissement $\Delta k_1(i) = k_1(i+1) - k_1(i)$; ceci entraîne :

$$\Delta k_1 = \frac{(r_{i+1} - r_i)(k_{1(i+1)} - k_{1(i)})}{(r_{i+1} - r_i)}$$

Il en est de même pour ΔP_1 et ΔP_2 d'où les expressions des paramètres k_1, P_1 et P_2 , définis dans l'équation (4) :

$$k_1 = k_1(i) + \Delta k_1$$

$$P_1 = P_1(i) + \Delta P_1 \quad (8)$$

$$P_2 = P_2(i) + \Delta P_2$$

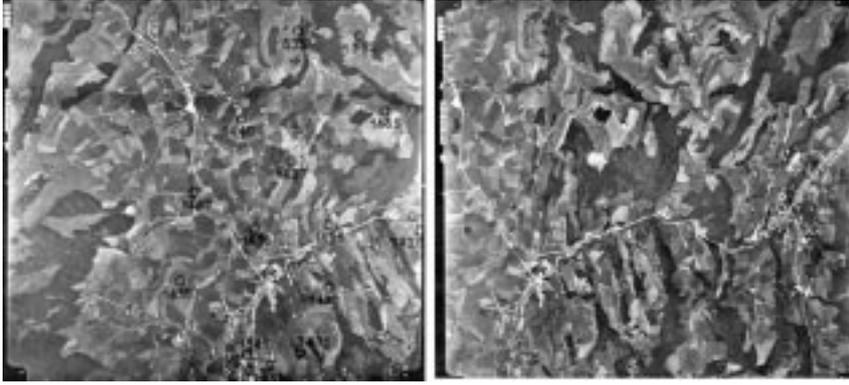


Figure 1 : Application sur le test Wild (couple 2829-2830)

■ Résultats du traitement

Les tableaux (1) et (2) récapitulent les résultats de la première application. Les tableaux (4) et (5) correspondent aux résultats de la seconde application et les tableaux (7) et (8) concernent les résultats de la troisième application. Les figures (1), (2), et (3) représentent les images des trois applications et les figures (4), (5) et (6) représentent la distribution des écarts par rapport aux points de contrôle. Comparativement aux figures (2) et (3)

Figure 2 : Application sur le véhicule Mazda (couple 14-15)

				Coordonnées des points de contrôle			
Coordonnées objet [6]				Cliché 2829		Cliché 2830	
N°	X [m]	Y [m]	Z [m]	X1 [mm]	Y1 [mm]	X2 [mm]	Y2 [mm]
1438	246815.4622	751907.2618	906.3778	98.1810	171.4100	9.6110	164.6830
1439	246531.9845	751254.7916	907.8162	106.9840	122.5200	18.0370	115.7520
1440	246530.2324	750585.1271	943.8014	133.0960	82.6340	41.9220	75.0460
1332	246927.7713	749628.3538	999.8640	198.7550	37.2780	104.9880	28.7990
1435	247297.0912	750117.1024	1130.7818	212.3510	78.7340	105.4630	71.5380
1437	246994.7442	750692.3776	1051.0249	160.3360	106.3020	60.4960	99.3710
1436	247067.2372	751228.5054	953.7117	139.8910	142.6580	47.8920	136.3260
1432	247743.7483	751295.5207	988.7366	180.6460	141.2660	91.3120	135.5770
1433	247544.0583	750896.7693	917.1862	231.5240	145.6300	143.1270	140.5940

Tableau 1 : Résultats de la première application.

N°	ΔX	ΔY	ΔZ
1438	-.0210	-.0052	.0211
1439	.0238	-.0315	.0903
1440	.0065	.0284	.0137
1332	-.0247	.0655	.0554
1435	.0086	.0586	.0325
1437	-.0685	-.0192	.0538
1436	.0160	.0457	.0605
1433	-.0376	.0070	.0404
1432	-.0527	-.0201	.0551

Tableau 2 : Ecart sur les points de contrôle.

	x	Y
Cliché 2829	118.099 mm	118.045 mm
Cliché 2830	120.941 mm	119.142 mm

Tableau 3 : Coordonnées des centres des deux clichés utilisés.

pour lesquelles les distorsions ne sont pas symétriques et de révolution, la figure (1) montre une meilleure distribution, ce qui indique une meilleure qualité de la caméra utilisée. La vérification des critères établis dans la référence [7] concernant les combinaisons relatives aux paramètres d'orientation, permet d'illustrer la position de la solution finale relative à la restitution.



Figure 3 :
Application
sur une
machine
outil.

				Coordonnées des points de contrôle			
Coordonnées objet				Cliché 14		Cliché 15	
N°	X [m]	Y [m]	Z [m]	X1 [mm]	Y1 [mm]	X2 [mm]	Y2 [mm]
01	-.900	4.940	-.2100	94.6010	88.0290	87.4800	95.0980
02	-.760	4.960	-.4700	97.7040	81.4760	90.7820	38.0390
03	-.540	4.940	-.3000	102.9880	85.6060	95.7440	92.8980
04	-.440	4.970	-.1400	105.6380	89.2410	98.3680	96.6280
05	-.220	4.940	-.2800	110.9460	85.7900	103.6960	93.2870
06	0.000	5.010	-.1300	116.2090	89.5940	109.0660	97.2660
07	.120	5.000	-.6100	118.7260	78.0000	112.0600	85.6790
08	.420	4.990	-.0100	126.2510	92.1720	119.0080	100.1570
09	.430	5.000	-.5700	126.1870	78.1930	119.6120	86.0570
10	.660	5.040	.4500	132.2680	102.9750	124.9810	111.2460
11	.820	4.940	-.1800	135.8920	87.6680	128.8230	95.8630
12	.930	4.980	-.5300	137.9780	78.8030	131.5080	86.9880
13	1.000	5.040	.4900	140.1670	103.7260	138.8880	112.2530
14	1.080	4.940	0.0000	142.3120	92.0120	135.2020	100.4500
15	1.250	5.010	.4000	146.0680	101.5290	139.0100	110.2280
16	1.320	4.980	.0200	147.6470	92.3400	140.8580	100.9580
17	1.320	4.990	-.5000	147.1700	79.3420	140.9120	87.7820
18	1.580	4.950	-.0900	153.9460	89.4490	147.2080	98.1770
19	1.630	4.950	-.3400	154.7780	83.1590	148.3330	91.8380

Tableau 4 : Données terrain et observations clichés.

N°	ΔX	ΔY	ΔZ
04	.0091	-.0182	-.0170
05	.0089	.0255	-.0051
06	.0295	-.0613	.0016
10	-.0374	-.0259	-.0122
14	.0010	.0194	-.0091
15	-.0069	-.0202	-.0100
16	-.0259	-.0298	-.0085

Tableau 5 : Ecart sur les points de contrôles en mètre.

	x	Y
Cliché 14	116.254 mm	91.048 mm
Cliché 15	128.188 mm	101.638 mm

Tableau 6 : Coordonnées des centres des deux clichés utilisés.

				Coordonnées des points de contrôle			
Coordonnées objet				Vue-G		Vue-D	
N°	X [m]	Y [m]	Z [m]	X1 [mm]	Y1 [mm]	X2 [mm]	Y2 [mm]
01	10.6522	12.7297	9.5286	47.7100	-51.4000	33.6000	-55.1100
02	10.5254	12.6771	9.5470	55.3000	-49.4000	39.2000	-53.4000
07	10.0111	12.8879	9.9676	76.3000	-28.2000	65.0000	-33.4000
08	9.9709	12.8845	9.8436	75.6000	-35.1000	65.2000	-40.0000
11	10.0046	12.6838	9.4523	84.3000	-54.0000	68.6000	-57.9000
13	9.8347	13.3777	9.7200	74.7000	-39.0000	72.2000	-43.4000
14	9.6756	12.6932	9.5501	97.8000	-48.1000	82.9000	-52.1000
16	9.5411	12.7304	9.5952	99.4050	-46.4100	87.3000	-50.6000
18	9.3472	12.7316	9.5470	110.5000	-47.7000	99.0000	-51.6000

Tableau 7 : Résultats de la troisième application.

N°	ΔX	ΔY	ΔZ
01	.0022	-.0003	.0076
02	-.0016	-.0029	-.0080
07	.0161	.0179	-.0264
08	-.0291	-.0255	.0316
11	.0096	.0138	-.0007
13	.0087	-.0073	-.0060
14	.0066	.0132	-.0049
16	-.0259	-.0356	.0162
18	.0102	.0116	-.0050

Tableau 8 : Ecarts sur les points de contrôle.

●●● Analyse des résultats

Les facteurs qui influencent la qualité des traitements effectués par la méthode DLT sont liés à plusieurs paramètres dont la résolution de l'image et le rapport base-éloignement. La référence [8] précise l'exactitude en photogrammétrie en fonction de l'échelle du cliché et du rapport base-éloignement. La qualité de la génération d'un modèle numérique de terrain dans la restitution d'un couple de clichés reste tributaire des observations clichés et du résultat des paramètres de distorsions [9]. La relation (9) permet d'établir le lien entre le rapport base-éloignement (B/H), l'échelle (c/H) et l'acuité visuelle stéréoscopique (en effet, à partir de l'équation de la parallaxe (7) on obtient :

$$\Delta H = \frac{H}{B} \times \frac{H}{c} \times D \cdot \varepsilon \quad (9)$$

où :

- ΔH : représente le plus petit relief perceptible.
- D : représente la distance d'observation ou d'examen stéréoscopique.
- ε : représente l'acuité visuelle de l'opérateur.
- εD : représente l'erreur des mesures image.
- (B/H) et (c/H) sont les paramètres de la prise de vues.

Le tableau (11) présente les résultats suivants :

- La tolérance ΔH obtenue comme étant le produit de l'équation (9) par un coefficient k = 2.57 [10].
- L'erreur altimétrique ΔHt obtenue après le traitement DLT.

	x	Y
Cliché_G	64.000	-51.200
Cliché_D	64.000	-51.200

Tableau 9 : Coordonnées des centres des deux clichés utilisés.

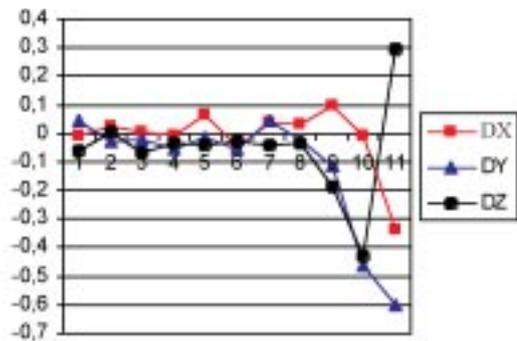


Figure 4 : Distribution des écarts par rapport aux points de contrôle : Application 1.

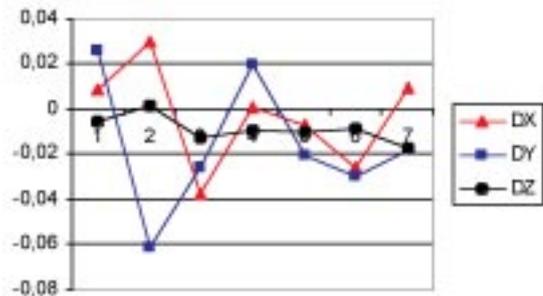


Figure 5 : Distribution des écarts par rapport aux points de contrôle : Application 2.

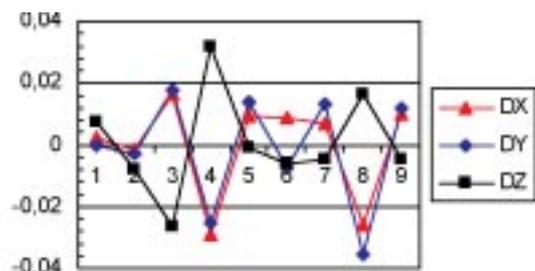


Figure 6 : Distribution des écarts par rapport aux points de contrôle. Application 3.

	B/H	c/H	Tolérance ΔH	ΔH_t	Nbre de Pts de contrôle	Ecart spatial	Précision relative
App. 1	1.04	1/13000	162 mm	52 mm	09	32 cm	$3 \cdot 10^{-4}$
App. 2	0.16	2/100	4 mm	1.9 mm	07	26 mm	$52 \cdot 10^{-4}$
App. 3	1/3	1/21	8.50 mm	15 mm	09	28 mm	10^{-3}

Tableau 11 : Calcul des paramètres d'analyse

- L'écart spatial obtenu sur la base des écarts sur chaque point de contrôle.
- La précision relative obtenue comme étant le rapport de l'écart spatial par l'éloignement.

Sachant qu'un traitement mathématique identique a été effectué sur les trois couples, il ressort en vertu du tableau (11) et compte tenu des tolérances calculées que le traitement par le modèle DLT à 14 paramètres a été suffisant pour les applications 1 et 2. Cependant, dans le cas de l'application 3, l'erreur induite (H_t dépasse la tolérance ΔH). Ceci parce que la caméra utilisée et les conditions d'acquisition n'étaient pas appropriées pour atteindre de bons résultats. En effet, une simple caméra de marque Toshiba avec une résolution 1,5 Mpixels était utilisée et la définition du système de référence n'était pas rigoureuse, c'est-à-dire que la mesure des distances dans l'espace objet n'était pas très précise (utilisation d'un décimètre).

Conclusion

Cet article avait pour but de tester les performances du traitement DLT à l'aide d'un modèle à 14 paramètres. Trois différentes applications ont été traitées. Les résultats atteints confirment la capacité du modèle DLT à 14 paramètres dans le traitement aussi bien en photogrammétrie éloignée que rapprochée. Ces résultats restent tributaires du choix matériel et des conditions d'acquisition photographique c'est-à-dire d'une expérience avérée de l'exploitant. En effet, la variation des éléments de prise de vues (échelle, distance principale et base) s'avère déterminante pour le succès du traitement mathématique à l'aide du modèle DLT. La restitution de la géométrie d'un objet 3D avec la méthode DLT n'est pas un travail aisé. Cependant, on trouve des applications qui utilisent des surfaces locales pour des projets spéciaux. Les conditions pour appliquer une telle approche doivent regrouper :

- L'élimination des erreurs d'observation en résolvant des systèmes redondants.
- Le traitement des paramètres de distorsion par la méthode rigoureuse [11].
- Le calcul des coordonnées objet et l'estimation des écarts.
- L'ajustement des traitements sur les points restitués : mise en place d'une adaptation numérique. ●

Contacts

I. ZEROUAL

Faculté des sciences de la terre, université d'es sénia
courriel : zeroual1@mail.com

A. LIAZID

Laboratoire LTE-ENSET-Oran, B.P. 1523 El Mnaouer 31000- Oran
courriel : liazid@enset-oran.dz

Références

- [1] Abdelaziz and Karara *Mathematical Formulation in Close Range Photogrammetry, Manual of Photogrammetry* – fourth edition – American Society of Photogrammetry, pp. 801 - 803, 1980.
- [2] W. Faig *Photogrammetric potentiels of non-metric camera* – report of ISP WG V-2 – invited paper – ISP congress Helsinki 1976.
- [3] P. Hottier *Accuracy of close range analytical restitution* – Practical experiments and predictions – Commission V, ISPRS Helsinki 1976.
- [4] W. Faig *Precision Plotting of non metric photography* – ISP Symposium 1974.
- [5] I. Zeroual, A. Liazid *Use of DLT in photogrammetric Metrology* – ISPRS commission V, Corfu 2002.
- [6] Couple-test 2829-2830, WILD 1973.
- [7] Bopp and Krauss *Non topographic Photogrammetry* – Manual of Photogrammetry – fourth edition – American Society of Photogrammetry, pp. 803, 1980.
- [8] K. Kraus, P. Waldhausl *Manuel de photogrammétrie* – Ed. Hermes, p. 40, 1998.
- [9] J-B. Henry, P. Grussenmeyer, J.-P. Malet et O. Maquaire *Génération des MNT par photogrammétrie aérienne de petit format : application au versant instable de Super-Sauze* – XYZ n°87, 42-50, 2001.
- [10] P. Grussenmeyer, P. Hottier *Le contrôle topographique d'une carte ou d'une base de données constituées par voie photogrammétrique* – Revue XYZ, N°59, pp 39-45, 1994.
- [11] P. Hottier *Photogrammétrie Analytique* – Photogrammétrie Générale – tome 4, éditions Eyrolles, pp. 172-201, 1972.

ABSTRACT

Keywords: Photogrammetry - DLT - Distortions.

This paper illustrates the important interest with using Direct Linear Transformation (DLT) as an economic method in photogrammetry treatment. Three applications with different technical and environmental conditions are studied. In the first example, aerial images are used for cartography purposes. The second application concerns the coordinates statement of a damaged vehicle for the experts's report. Finally, the third application concerns the evaluation of the frontal face area of a tool-machine, namely a milling machine. The acquisition systems used are specific to every application. The DLT model with fourteen parameters is tested as a unified means of reconstitution in each application. The obtained results reveal the efficiency of this DLT model.