



Rapport de recherche

ACQUISITION DE DONNÉES BATHYMÉTRIQUES PAR  
PHOTOGRAMMÉTRIE ANALYTIQUE

---

Soumis à :

PÊCHES ET OCÉANS CANADA  
Centre Champlain des Sciences de la Mer  
C.P. 15500, 901, Cap Diamant  
Québec, Qc G1K 7Y7

Par :

PAUL PELLETIER  
Étudiant gradué en Photogrammétrie  
Département des Sciences géodésiques et de la Télédétection  
Faculté de foresterie et de géodésie  
UNIVERSITÉ LAVAL

Rapport de recherche

ACQUISITION DE DONNÉES BATHYMÉTRIQUES PAR  
PHOTOGRAMMÉTRIE ANALYTIQUE

---

Soumis à :

PÊCHES ET OCÉANS CANADA  
Centre Champlain des Sciences de la Mer  
C.P. 15500, 901, Cap Diamant  
Québec, Qc G1K 7Y7

Par :

PAUL PELLETIER  
Étudiant gradué en Photogrammétrie  
Département des Sciences géodésiques et de la Télédétection  
Faculté de foresterie et de géodésie  
UNIVERSITÉ LAVAL

TD

mars 1985

TR 693 P44  
Pelletier, P.  
Acquisition de donnees  
bathymetriques par...  
251339 14048263 c.1

DH-14

# TABLE DES MATIÈRES

	<u>Page</u>
TABLE DES MATIÈRES . . . . .	i
LISTE DES FIGURES - LISTE DES TABLEAUX . . . . .	ii
AVERTISSEMENT. . . . .	iii
CHAPITRE 1 - INTRODUCTION . . . . .	1
CHAPITRE 2 - LA PHOTOGRAPHIE COULEUR OU LA PHOTOGRAPHIE NOIR ET BLANC : QUELLE DIRECTION SUIVRE ? . . . . .	2
2.1 Remarques préliminaires . . . . .	2
2.2 L'expérience-terrain. . . . .	3
2.3 Les mesures . . . . .	8
2.4 Tests statistiques et résultats . . . . .	9
2.5 Récapitulation et recommandations . . . . .	11
CHAPITRE 3 - LA PHOTOGRAMMÉTRIE DE DEUX MILIEUX . . . . .	16
3.1 Considérations théoriques . . . . .	16
3.11 La réfraction d'un seul rayon . . . . .	16
3.12 La géométrie de l'intersection de deux rayons . . . . .	19
3.2 Différentes approches au problème de la photogrammétrie de deux milieux . . . . .	19
3.21 L'approche du Dr MASRY. . . . .	19
3.22 L'approche américaine . . . . .	22
3.23 Une approche possible au problème de la photogrammétrie de deux milieux . . . . .	26
3.3 Recommandations . . . . .	34
ANNEXE - ORIENTATIONS EXTERNES DES MODÈLES COULEUR OU NOIR ET BLANC MESURES PRISES SUR CES MODÈLES . . . . .	35
BIBLIOGRAPHIE. . . . .	53

## LISTE DES FIGURES

	<u>Page</u>
Figure 2.1	Structure des émulsions couleur et panchromatique . . . . .
Figure 2.2	Influence de l'épaisseur des couches sur l'altimétrie . . . . .
Figure 2.3	Localisation du site de l'expérience-terrain. . . . .
Figure 2.4	Localisation des 5 cibles sur le quai Laurier . . . . .
Figure 2.5	Courbe de Transmittance du Filtre D de Zeiss. . . . .
Figure 3.1	La réfraction d'un seul rayon . . . . .
Figure 3.2	La géométrie de la photogrammétrie de deux milieux. . . . .
Figure 3.3	La géométrie de la photogrammétrie de deux milieux. . . . .
Figure 3.4	La condition de collinéarité et l'orientation externe . . . . .

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1	Statistiques des mesures prises sur le BC-1 de Wild 20 observations par point Opérateur A. . . . .
Tableau 2.1	Statistiques des mesures prises sur le BC-1 de Wild 20 observations par point Opérateur B. . . . .
Tableau 2.2	Statistiques des mesures prises sur l'ANAPLOT du CNR Opérateur C. . . . .

## AVERTISSEMENT

Ce rapport contient les recherches faites sous contrat numéro 10SD-FP715-4-3262 (No de série OSD84-00167) décerné par APPROVISIONNEMENTS ET SERVICES CANADA pour le compte de PÊCHES ET OCÉANS CANADA (Point de F.A.B. : C.P. 15500, 901 Cap Diamant Gare Maritime Champlain, Québec, Qc, G1K 7Y7).

Ce contrat de recherche a été géré, pour la part du gouvernement, par leur gestionnaire de l'approvisionnement scientifique, madame Lise Brunet-Day. Toutes les questions touchant l'aspect scientifique et technique des travaux ont été sous la responsabilité de leur délégué scientifique, monsieur Paul Bellemare, Pêches et Océans, Québec.

L'auteur tient à remercier toutes les personnes mentionnées ci-dessus pour leur assistance dans tous les aspects.

Je dois aussi souligner la participation de monsieur J.P. Agnard, technicien du laboratoire de Photogrammétrie de l'Université Laval, de monsieur André Dumont, technicien en photogrammétrie prêté par Hauts-Monts Inc. et de monsieur Allan Richens, responsable de l'ANAPLOT au Conseil National de Recherche à Ottawa. Leur assistance dans la prise des mesures a été très précieuse.

## CHAPITRE 1

### INTRODUCTION

Avant de se lancer corps et âme dans un programme d'acquisition de données bathymétriques par photogrammétrie analytique, il serait bon de faire quelques mises au point. Quand on pense à un tel programme, on a déjà en tête un puissant système analytique informatisé qui "voit" dans l'eau et permet d'enregistrer rapidement les données bathymétriques. Cela est bien beau mais il faut procéder par étapes et ne pas les brûler pour mieux arriver au but poursuivi. Et ces étapes sont les différents problèmes qui doivent être surmontés avant d'en arriver à un système opérationnel. Ces problèmes ont déjà été énumérés dans un précédent rapport de recherche [Voir GHOSH, S.K., PELLETIER]. Ce sont entre autres : le problème du contrôle photographique, le problème de l'échelle optimale, le problème des modèles incomplets et le problème de la photographie noir et blanc versus la photographie couleur. Ainsi la première partie de ce rapport portera sur une étude comparative des émulsions noir et blanc et des émulsions couleur en ce qui a trait surtout à leurs qualités métriques. Dans la deuxième partie on abordera le problème des différents modèles utilisés pour traiter la restitution en deux milieux d'indices différents.

## CHAPITRE 2

### LA PHOTOGRAPHIE COULEUR OU LA PHOTOGRAPHIE NOIR ET BLANC : QUELLE DIRECTION SUIVRE ?

#### 2.1 Remarques préliminaires

Deux des pays qui appliquent le plus la photogrammétrie à l'hydrographie suivent des voies différentes quant au type d'émulsion utilisée : les États-Unis, et ce depuis des années, n'utilisent que la couleur alors que la France s'est rabattue sur le noir et blanc. Les photographies couleur offrent une richesse de tons imbattable, mais est-ce au détriment de la qualité métrique ? Il demeure quand même que les émulsions couleur sont en moyenne 2 à 3 fois plus épaisses que les émulsions panchromatiques. En effet les émulsions couleur sont composées de plusieurs couches. Trois de ces couches sont sensibles aux trois couleurs primaires : le bleu, le vert et le rouge. La figure 2.1 illustre bien la structure des deux types d'émulsions. Le modèle géométrique utilisé en photogrammétrie suppose que le plan de l'image photographique est bien ce que son nom indique : plan, c'est-à-dire bidimensionnel. En fait, il n'en est rien. Il y a une épaisseur physique à l'émulsion et cela est encore plus marqué pour la photographie couleur avec en plus la possibilité de glissement entre les différentes couches d'émulsion. A priori cette situation pourrait nuire à la précision altimétrique qui demeure critique en hydrographie (30 cm quelle que soit l'échelle de la carte). Imaginons une cible totalement bleue sur le terrain : son image se formera sur la première couche photo-sensible de l'émulsion.

Remplaçons maintenant cette cible par une cible complètement rouge; l'image est formée sur la dernière couche de l'émulsion. La distance entre ces deux couches pouvant varier entre 15 et 20  $\mu\text{m}$ , cela représente à l'échelle de 1:10 000, une différence d'élévation de 15 à 20 cm sur le terrain ! (voir la figure 2.2). Néanmoins les développements récents et des études [voir UMBACH, M.J. ; SCHALLOCK, M.J.] semblent indiquer de bons résultats quant aux qualités métriques des émulsions couleur.

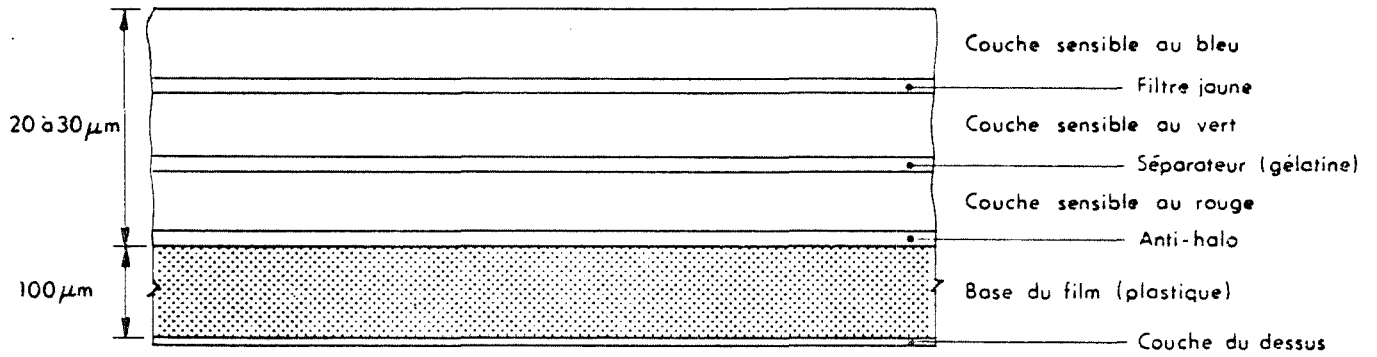
## 2.2 L'expérience-terrain

Dans le cadre de vols photographiques à être effectués sur Montréal, il a été décidé d'effectuer des tests avec des cibles de différentes couleurs. Après consultation avec les autorités, le site choisi pour l'installation des cibles fut celui du quai Laurier dans le port de Montréal. La figure 2.3 localise cet emplacement. Cinq cibles triangulaires en contreplaqué de 2 mètres de côté furent préparées. Ces cibles furent peintes et recouvertes d'un matériel aux couleurs suivantes : jaune fluorescent, bleu, blanc, orange fluorescent et rouge. La localisation exacte de ces cinq cibles sur le terrain fut déterminée par arpentage. En référence au croquis de la figure 2.4, les coordonnées MTM ainsi que l'altitude au-dessus du niveau moyen des mers sont données (les déviations-standard sont entre parenthèses).

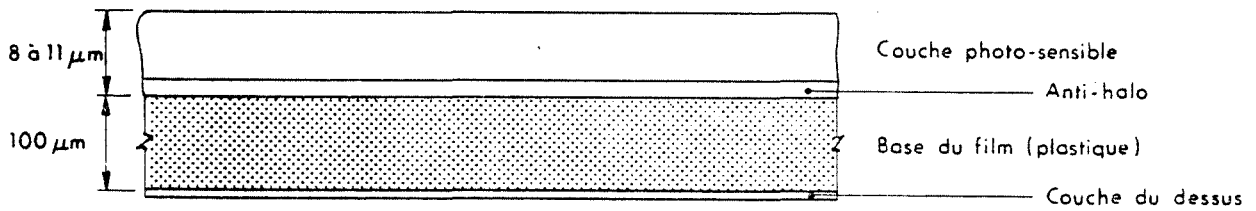
$$\text{POINT 1 (cible jaune) : } \begin{cases} X = & 302\ 311,1804 \text{ m } (\pm 0,05 \text{ m}) \\ Y = & 5\ 044\ 448,345 \text{ m } (\pm 0,05 \text{ m}) \\ Z = & 13,094 \text{ m } (\pm 0,01 \text{ m}) \end{cases}$$

$$\text{POINT 2 (cible bleue) : } \begin{cases} X = & 302\ 282,7986 \text{ m } (\pm 0,05 \text{ m}) \\ Y = & 5\ 044\ 438,628 \text{ m } (\pm 0,05 \text{ m}) \\ Z = & 13,146 \text{ m } (\pm 0,01 \text{ m}) \end{cases}$$

$$\text{POINT 3 (cible blanche) : } \begin{cases} X = & 302\ 254,0191 \text{ m } (\pm 0,05 \text{ m}) \\ Y = & 5\ 044\ 430,156 \text{ m } (\pm 0,05 \text{ m}) \\ Z = & 13,108 \text{ m } (\pm 0,01 \text{ m}) \end{cases}$$



B. Coupe d'une émulsion couleur typique.



A. Coupe d'une émulsion panchromatique typique.

Figure 2.1 : Structure des émulsions couleur et panchromatique

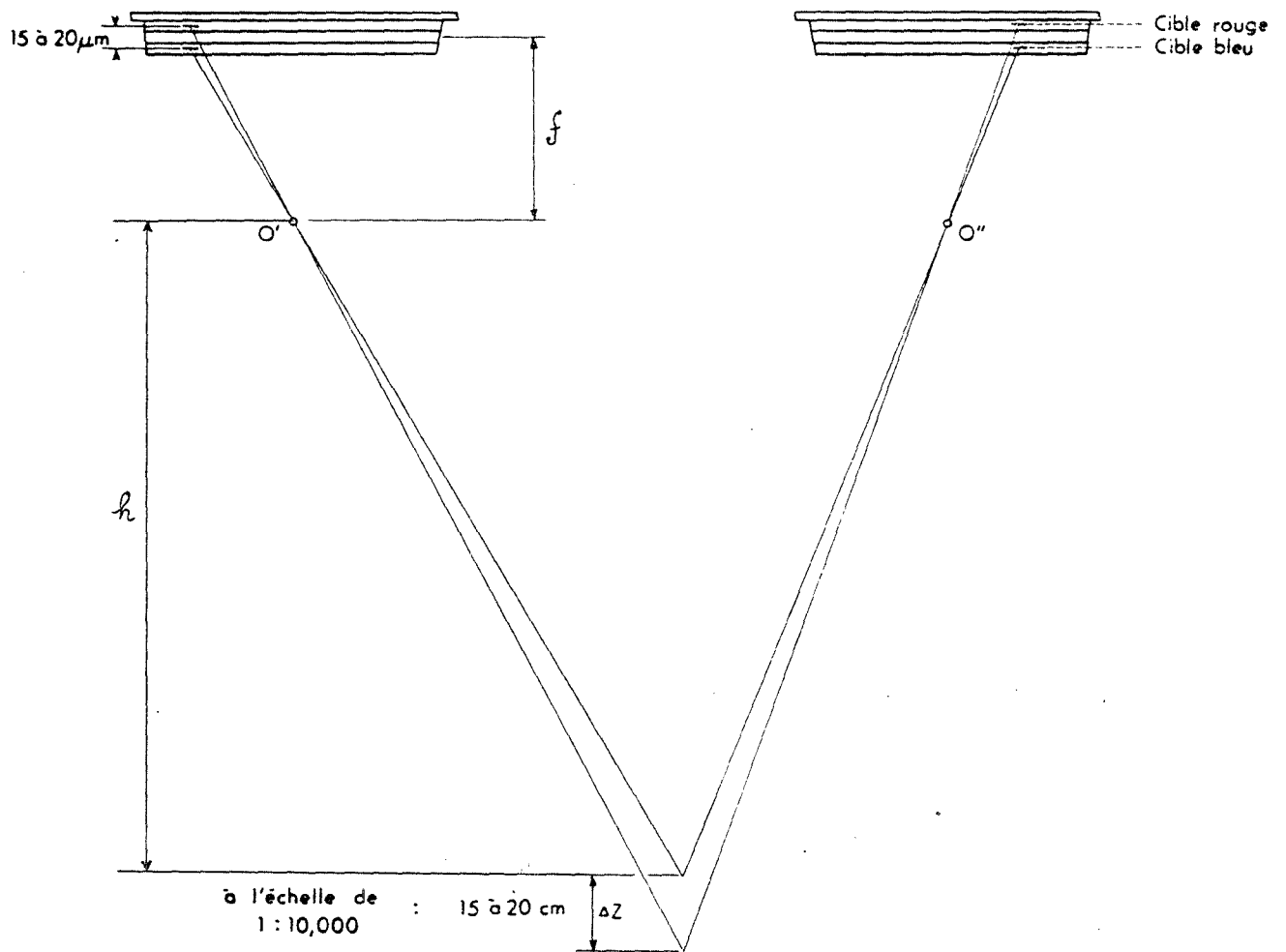


Figure 2.2 : Influence de l'épaisseur des couches sur l'altimétrie

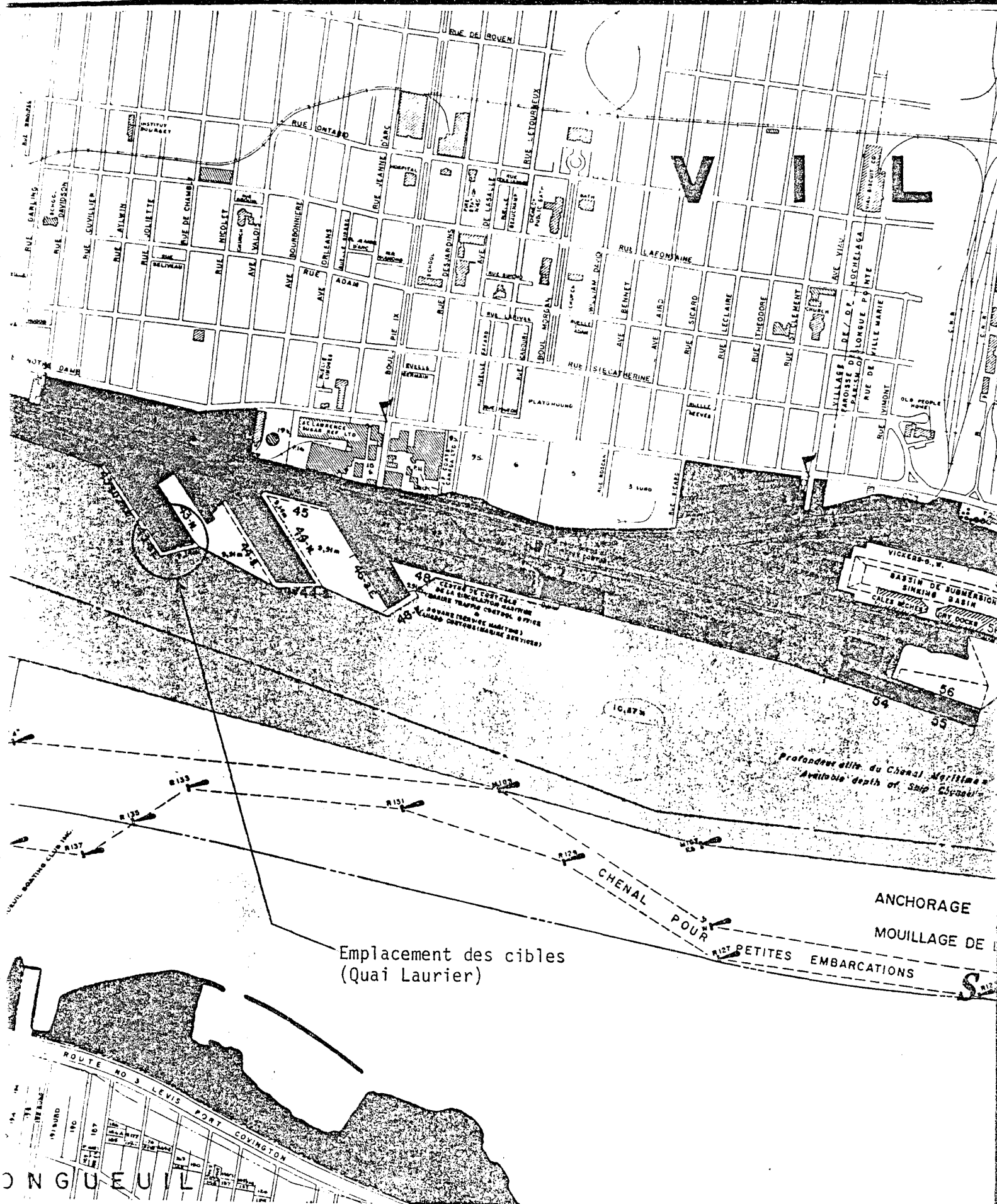


Figure 2.3 : Localisation du site de l'expérience-terrain

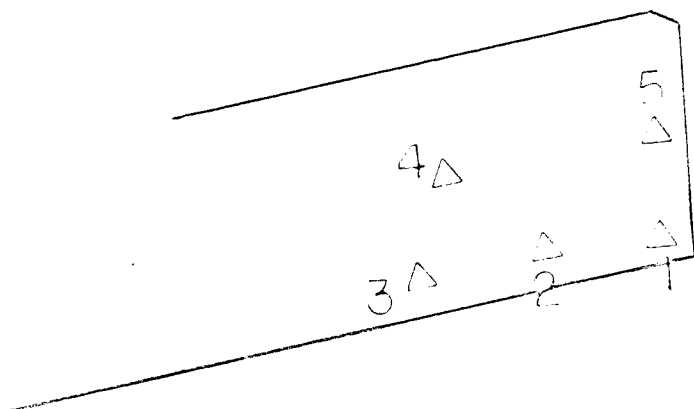


Figure 2.4 : Localisation des 5 cibles sur le quai Laurier

### Filtres Zeiss

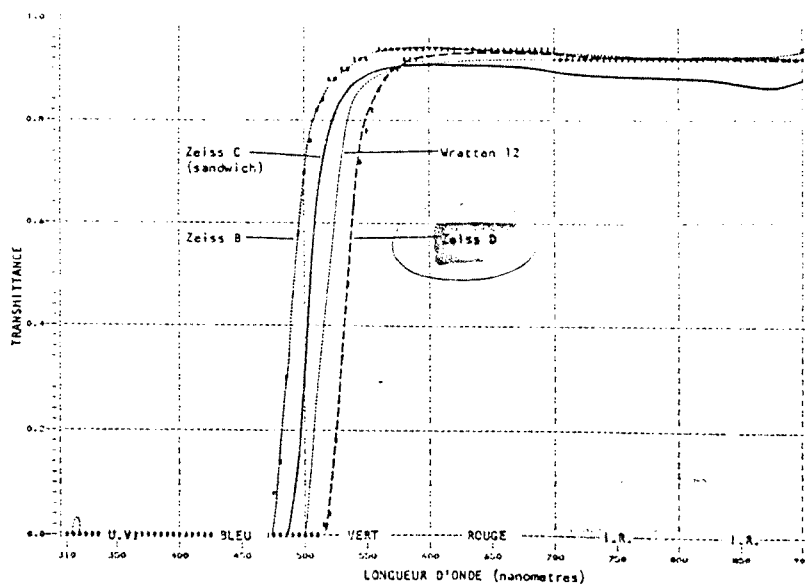


Figure 2.5 : Courbe de Transmittance du Filtre D de Zeiss

$$\text{POINT 4 (cible orange) : } \begin{cases} X = & 302\,260,5794 \text{ m } (\pm 0,05 \text{ m}) \\ Y = & 5\,044\,456,152 \text{ m } (\pm 0,05 \text{ m}) \\ Z = & 13,191 \text{ m } (\pm 0,01 \text{ m}) \end{cases}$$

$$\text{POINT 5 (cible rouge) : } \begin{cases} X = & 302\,312,7904 \text{ m } (\pm 0,05 \text{ m}) \\ Y = & 5\,044\,477,346 \text{ m } (\pm 0,05 \text{ m}) \\ Z = & 13,116 \text{ m } (\pm 0,01 \text{ m}) \end{cases}$$

Il est évident que de nos jours il y a une multitude de différents types d'émulsions. Pour l'étude nous avons décidé d'utiliser les émulsions couramment utilisées sur le marché. Le film panchromatique a été le Double-X Aerographique de Kodak (No 2405). Sa base plastique a 0,1 mm d'épaisseur tandis que l'émulsion a 0,01 mm. Son pouvoir séparateur varie entre 50 et 125 lignes/mm. Le film couleur utilisé a été le AEROCOLOR Negatif de Kodak (No 2445). Sa base plastique a 0,1 mm d'épaisseur et les couches d'émulsion ont 0,020 mm. Son pouvoir séparateur varie entre 40 et 80 lignes/mm. Les photographies ont été prises par des caméras Zeiss RMK A 15/23 (Grand-angulaire). Pour les photos couleur, on a utilisé un filtre de dégradateur (A/V), alors que pour les photos noir et blanc, le filtre D de Zeiss a été utilisé. Ce filtre (voir figure 2.5) coupe toutes les longueurs d'onde dans le bleu, ce qui explique pourquoi la cible bleue n'apparaît pas sur la photographie noir et blanc. Les photos ont été prises à 1480 m d'altitude (échelle 1:9 500) par temps clair à 4h00 de l'après-midi, le 7 novembre 1984.

### 2.3 Les mesures

Les mesures ont été faites sur deux appareils différents : le stéréo-restituteur analytique BC-1 (Wild) de l'Université Laval et le stéréo-restituteur analytique ANAPLOT du Centre National de Recherches à Ottawa. Sur le BC-1, deux séries de mesures (par deux opérateurs différents) ont été prises sur des modèles à recouvrement longitudinal de 80%. Vingt pointés ont été faits sur chaque cible. Sur l'ANAPLOT, une série de mesures a été prise sur des modèles (couleur et noir et blanc) à recouvrement longitudinal de 60%. Il y a eu onze pointés sur les cibles du modèle en couleur et dix pointés sur les cibles du modèle noir et blanc. L'orientation de ces modèles a été faite grâce à des

points de contrôle établis photogrammétriquement. Ces points étant des détails-terrain dont les coordonnées furent déterminées sur des modèles au 5 000<sup>e</sup> de Montréal du ministère de l'Énergie et des Ressources. Il s'ensuit que la précision de ces points de contrôle n'est pas fameuse (10 cm en planimétrie et 25 cm en altimétrie). Les résultats des orientations externes et les mesures sont données à l'annexe.

Il faut remarquer que lors de l'orientation du modèle en couleur utilisé sur l'ANAPLOT, on a détecté des distorsions locales dans la partie centrale supérieure du modèle. Cette distorsion (2 à 3 marques de mesures de parallaxe résiduelle) pourrait provenir du passage du négatif au positif. Il serait peut-être bon d'obtenir les négatifs pour voir si cette distorsion est toujours présente.

#### 2.4 Tests statistiques et résultats

Avant de parler chiffres, il serait bon de décrire un peu l'apparence des cibles. Sur les modèles en couleur, les différentes cibles ne sortent pas autant que prévu. Certaines des couleurs utilisées (jaune fluorescent, jaune-orange fluorescent) sont en effet très voyantes à l'oeil, pourtant sur les photos elles apparaissent plutôt ternes et pâles. Ceci serait dû à la surexposition du film requise pour une meilleure pénétration de l'eau. D'ailleurs les opérateurs ont noté des grandes variations dans la netteté et l'acuité des différentes cibles. Étonnamment, la cible rouge n'apparaît presque pas alors que la bleue est plutôt faible. Ce sont les cibles blanche, jaune et jaune-orange qui ressortent le plus. Par contre les cibles des modèles noir et blanc paraissent beaucoup plus uniformes quant à leur contraste et leur netteté. Dans ce sens, il a été plus aisé de pointer sur les cibles des modèles panchromatiques que sur celles des modèles en couleur.

Pour chaque série d'observations (en X, Y et Z) le test sur le rejet des résiduelles a été fait. Cela consiste à rejeter les observations ayant de trop grosses résiduelles en utilisant la variable :

$$y = \frac{\bar{x}_i - \hat{\mu}}{\hat{\sigma} \left( \frac{n-1}{n} \right)^{\frac{1}{2}}} \quad \text{qui a une distribution } \tau_{(n-1)}$$

où :  $\ell_i$  est la  $i^{\text{ème}}$  observation

$$\hat{\mu} = \frac{\sum_{i=1}^n \ell_i}{n} \text{ est la moyenne échantillonnale}$$

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\ell_i - \hat{\mu})^2}{n-1}} \text{ est la déviation standard échantillonnale}$$

Pour un niveau de risque de 5% les limites du test sont :

$$\left[ \hat{\mu} - \left(\frac{n-1}{n}\right)^{\frac{1}{2}} \hat{\sigma} \cdot y_{\tau(n-1); .975} < \ell_i < \hat{\mu} + \left(\frac{n-1}{n}\right)^{\frac{1}{2}} \hat{\sigma} \cdot y_{\tau(n-1); .025} \right]$$

Dans le tableau 2.1 et 2.2 est indiqué entre parenthèses au-dessous de chaque moyenne le nombre de rejets pour cette série d'observations. En regardant le total des rejets pour toutes les séries de mesure, nous remarquons qu'il y a 25 rejets d'observations faites sur les modèles en couleur contre seulement 13 rejets pour les modèles en noir et blanc. Ceci vient confirmer le fait qu'il est plus facile de pointer sur des photographies panchromatiques que sur des photographies en couleur.

Etudions maintenant les déviations standards. Nous allons diviser notre discussion en deux parties :

- La planimétrie : en moyenne les déviations standards planimétriques des modèles couleur sont significativement différentes que celles des modèles en noir et blanc. Par contre pour certains points, la précision en couleur est aussi bonne et quelques fois meilleure qu'en noir et blanc. En effet les points 1 et 5 (avec l'exception du point 3 pour l'opérateur C) semblent être ceux qui sont les moins nets en couleur. Ceci indique une plus grande variabilité dans l'apparence des cibles couleur par rapport à des cibles panchromatiques apparaissant toutes blanches, plus uniformes.

- L'altimétrie : selon notre pré-analyse, c'est ici que la situation pourrait devenir plus critique. Nous avons décidé d'utiliser le test sur l'égalité des variances pour comparer les deux types de déviations standards. Ce test utilise la variable :

$$y = \frac{\hat{\sigma}_1^2}{\hat{\sigma}_2^2} \quad \text{qui a une distribution } F_{(n_1-1), (n_2-1)}$$

où  $\hat{\sigma}_1$  est la déviation standard estimée d'un échantillon de  $n_1$  observations

$\hat{\sigma}_2$  est la déviation standard estimée d'un échantillon de  $n_2$  observations

Les limites du test à 5% de risque sont :

$$\left[ y_{F_{(n_1-1), (n_2-1); .025}} < \frac{\hat{\sigma}_1}{\hat{\sigma}_2} < y_{F_{(n_1-1), (n_2-1); .975}} \right]$$

En utilisant ce test, nous voyons tout de suite que les précisions altimétriques sont aussi bonnes en couleur qu'en noir et blanc pour l'opérateur A et elles sont même un peu meilleures pour l'opérateur C. Il n'y a que le cas des points 4 et 5 pour l'opérateur B où les déviations standards des observations en couleur sont significativement plus grandes que celles en noir et blanc (il ne faut pas oublier que le point 5 n'apparaît presque pas sur les photographies couleur).

Il est évident que toutes les études comparatives ci-dessus ne sont que relatives. Nous n'avons pas tenté de comparer les valeurs des coordonnées des points obtenus des différents modèles avec celles provenant du terrain. Etant donné le contrôle plutôt imprécis et les orientations différentes pour chaque modèle cela n'aurait pas été concluant. D'ailleurs en faisant une comparaison rapide nous avons remarqué que des fois ce sont les valeurs des modèles couleur qui se rapprochent plus des valeurs absolues terrain et d'autres fois ce sont celles des modèles noir et blanc, sans qu'aucune tendance précise se manifeste.

## 2.5 Récapitulation et recommandations

Nos tests ont démontré :

- le pointé est plus aisé en noir et blanc qu'en couleur,

- En général la précision planimétrique en noir et blanc est meilleure qu'en couleur. Cependant, pour certaines cibles, les précisions planimétriques des deux types d'émulsions sont semblables.

- La précision altimétrique est équivalente pour les deux catégories d'émulsions.

L'utilisation de films couleur n'est pas sans présenter certains inconvénients. Il y a le coût, la structure plus complexe de l'émulsion, le procédé de développement plus ardu qui impliquent tous un niveau de risque plus élevé. Mais ces inconvénients peuvent être surmontés. En utilisant des films de bonne qualité et en contrôlant bien le procédé de développement, il devrait être possible d'obtenir des photographies répondant bien aux exigences de la cartographie côtière. De préférence il faudrait travailler avec des négatifs et sinon les positifs devront être produits avec soin ! De plus pour éviter la variabilité dans l'aspect des cibles, il serait bon d'utiliser une même couleur (les couleurs blanche, jaune ou orange semblent être les meilleurs choix). Et avec un opérateur bien entraîné au pointé-couleur, l'utilisation de la photographie en couleur dans les programmes de cartographie du Service Hydrographique du Canada ne devrait poser aucun problème.

	PLANIMÉTRIE										ALTIMÉTRIE			
	$\mu_x$		$\sigma_x$		$\mu_y$		$\sigma_y$		$\sigma_{xy}$		$\mu_z$		$\sigma_z$	
	N & B	Coul.	N & B	Coul.	N & B	Coul.	N & B	Coul.	N & B	Coul.	N & B	Coul.	N & B	Coul.
POINT 1	11.499	11.085	.0713	.0452	48.188	48.446	.0604	.0719	.0661	.0601	13.210	13.507 (1)	.0371	.0454
POINT 2	---	82.713 (1)	---	.0611	---	39.038	---	.0638	---	.0625	---	13.553 (1)	---	.0393
POINT 3	54.252 (1)	53.828 (2)	.0400	.0406	29.895	30.170 (1)	.0440	.0533	0.420	.0473	13.180 (1)	13.537	.0310	.0354
POINT 4	60.603	60.251 (1)	.0441	.0468	56.004 (1)	56.347	.0408	.0590	.0425	.0532	13.380	13.565 (1)	.0509	.0570
POINT 5	13.119 (1)	12.735 (1)	.0410	.0779	77.163 (1)	77.411 (1)	.0520	.0638	.0468	.0712	13.239	13.610	.0585	.0556
NOMBRE TOTAL DE REJETS	2	5			2	2					1	3		
MOYENNE PONDÉRÉE des $\sigma$			.0493	.0543			.0494	.0624	.0494	.0584			.0445	.0465

Opérateur A

$$\sigma_{xy} = \sqrt{\frac{\sigma_x^2 + \sigma_y^2}{2}}$$

TABLEAU 2.1 : STATISTIQUES DES MESURES PRISES SUR  
LE BC-1 de WILD.  
20 observations par point

REMARQUE : pour les moyennes des coordonnées planimétriques, seuls les deux chiffres avant le point sont inscrits.

	PLANIMÉTRIE										ALTIMÉTRIE			
	$\mu_x$		$\sigma_x$		$\mu_y$		$\sigma_y$		$\sigma_{xy}$		$\mu_z$		$\sigma_z$	
	N & B	Coul.	N & B	Coul.	N & B	Coul.	N & B	Coul.	N & B	Coul.	N & B	Coul.	N & B	Coul.
POINT 1	11.811	11.252	.0505	.0684	48.017	48.339	.0434	.0644	.0443	.0644	12.827 (1)	13.128 (1)	.0698	.1056
POINT 2	---	82.993 (1)	---	.0641	---	38.665 (2)	---	.0619	---	.0630	---	12.958 (1)	---	.1203
POINT 3	54.402 (1)	54.159 (1)	.0360	.0576	29.798	29.985	.0372	.0389	.0366	.0491	12.954 (1)	12.924 (2)	.1005	.1067
POINT 4	60.842 (1)	60.508 (1)	.0260	.0492	55.861 (1)	56.185 (1)	.0195	.0372	.0230	.0436	13.003 (1)	13.097 (1)	.0499	.0923
POINT 5	13.204	12.817	.0351	.1324	77.080 (1)	77.302 (1)	.0268	.0840	.0312	.1108	13.073 (1)	12.981 (2)	.0496	.0883
NOMBRE TOTAL DE REJETS	2	3			2	4					4	7		
MOYENNE PONDÉRÉE des $\sigma$			.0371	.0749			.0319	.0571	.0345	.0666			.0675	.1026

14.

Opérateur B

$$\sigma_{xy} = \sqrt{\frac{\sigma_x^2 + \sigma_y^2}{2}}$$

TABLEAU 2.1 : STATISTIQUES DES MESURES PRISES SUR  
LE BC-1 de WILD  
20 observations par point

REMARQUE : pour les moyennes des coordonnées planimétriques, seuls les deux chiffres avant le point sont inscrits.

	PLANIMÉTRIE										ALTIMÉTRIE			
	$\mu_x$		$\sigma_x$		$\mu_y$		$\sigma_y$		$\sigma_{xy}$		$\mu_z$		$\sigma_z$	
	N & B	Coul.	N & B	Coul.	N & B	Coul.	N & B	Coul.	N & B	Coul.	N & B	Coul.	N & B	Coul.
POINT 1	11.289	11.495	.0328	.0246	48.199	47.785	.0242	.0413	.0288	.0340	13.108	12.545	.0505	.0314
POINT 2	---	83.003 (1)	---	.0558	---	38.213	---	.0548	---	.0553	---	12.565	---	.0336
POINT 3	54.013	54.134	.0231	.1328	29.987	29.510	.0211	.0954	.0221	.1156	13.124	12.503	.0341	.0471
POINT 4	60.455	60.594	.0288	.0396	56.071	55.688	.0378	.0655	.0336	.0541	13.121	12.636 (1)	.0443	0.382
POINT 5	12.903	13.050 (1)	.0221	.0605	77.186	76.898	.0320	.0475	.0275	.0544	13.070	12.616	.0323	.0341
NOMBRE TOTAL DE REJETS	0	2			0	0					0	1		
MOYENNE PONDÉRÉE des $\sigma$			.0267	.0628			.0288	.0609	.0280	.0617			.0403	.0369

15.

Opérateur C

$$\sigma_{xy} = \sqrt{\frac{\sigma_x^2 + \sigma_y^2}{2}}$$

Photos couleur : 11 observations par point

Photos noir et blanc : 10 observations par point

TABLEAU 2.2 : STATISTIQUES DES MESURES PRISES SUR  
L'ANAPLOT DU CNR

## CHAPITRE 3

### LA PHOTOGRAMMÉTRIE DE DEUX MILIEUX

#### 3.1 Considérations théoriques

Avant de pouvoir penser d'acquérir des données bathymétriques, il faut s'occuper du problème de la réfraction à l'interface air-eau. En effet, un rayon issu d'un objet situé dans l'eau se trouve dévié quand il passe de l'eau à l'air. Un point sous-marin visionné dans un modèle stéréoscopique apparaîtra donc être déplacé par rapport à sa vraie position. Il faut donc pouvoir corriger cet effet. Plusieurs auteurs ont développé des modèles mathématiques de correction en considérant la surface de l'eau comme étant un plan, une sphère (RINNER [ ]) et même en introduisant l'effet des vagues (OKAMOTO [ ]). Mais MASRY et MaCRITCHIE ([ ]) ont montré que l'influence aléatoire des vagues n'est pas significative et qu'il suffit de considérer la surface comme plane. Dans le développement de la géométrie de la photogrammétrie de deux milieux qui suit, nous considérons l'interface air-eau comme étant plane.

#### 3.11 La réfraction d'un seul rayon

Un rayon de lumière issu d'un point P situé à une profondeur  $t$  dans l'eau, fait un angle  $\beta$  avec la verticale à la surface supposée plane de l'eau (figure 3.1). Ce rayon émergera de l'eau avec un angle  $\alpha$  (l'indice de réfraction de l'eau est  $n_2$  et celui de l'air  $n_1$ ). Le rayon

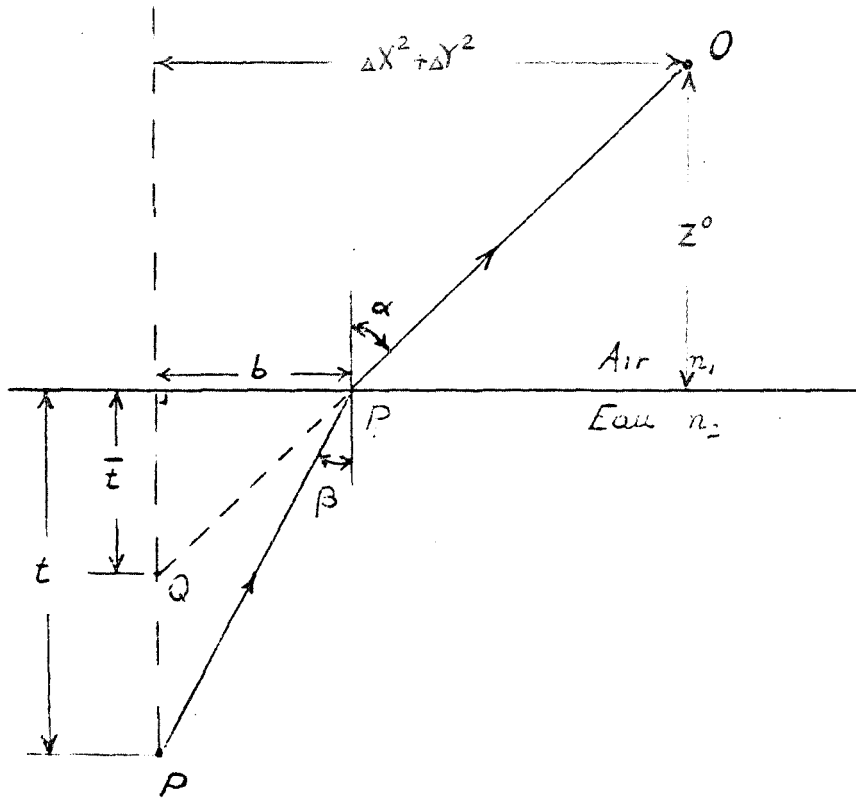


Figure 3.1 : La réfraction d'un seul rayon

émergeant coupe la normale à la surface de l'eau issue de P à une profondeur de  $\bar{t}$ . C'est la direction apparente au point P pour un observateur situé en O.

Selon la figure,

$$\frac{b}{t} = \tan\beta \quad \text{et} \quad \frac{b}{\bar{t}} = \tan\alpha$$

$$\text{ainsi,} \quad \frac{t}{\bar{t}} = \frac{\tan\alpha}{\tan\beta} = \frac{\tan\alpha \cdot \cos\beta}{\sin\beta} = a \quad (1)$$

De la loi de Snell :

$$n_1 \sin\alpha = n_2 \sin\beta$$

et si nous posons :

$$n = \frac{n_2}{n_1}$$

$$\text{nous obtenons :} \quad \sin\beta = \frac{\sin\alpha}{n}$$

$$\text{et} \quad \cos\beta = \left(1 - \frac{\sin^2\alpha}{n^2}\right)^{\frac{1}{2}}$$

Substituant ces expressions dans (1) :

$$a = \frac{\tan\alpha \left(1 - \frac{\sin^2\alpha}{n^2}\right)^{\frac{1}{2}}}{\frac{\sin\alpha}{n}} = \frac{n}{\cos\alpha} \left(1 - \frac{\sin^2\alpha}{n^2}\right)^{\frac{1}{2}}$$

en élevant au carré, cela devient :

$$a^2 = \frac{n^2}{\cos^2\alpha} \left(\frac{n^2 - \sin^2\alpha}{n^2}\right) = \frac{n^2 - \sin^2\alpha}{\cos^2\alpha} = \frac{n^2}{\cos^2\alpha} - \tan^2\alpha$$

$$\text{et comme} \quad \frac{1}{\cos^2\alpha} = 1 + \tan^2\alpha,$$

$$a^2 = n^2(1 + \tan^2\alpha) - \tan^2\alpha = n^2 + (n^2 - 1) \tan^2\alpha$$

et

$$a = \left(n^2 + (n^2 - 1) \tan^2\alpha\right)^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

Ainsi le rapport  $a$  de la vraie profondeur à la profondeur apparente ( $t/\bar{t}$ ) ne dépend que de l'indice  $n$  et de l'angle d'émergence  $\alpha$ .

### 3.12 La géométrie de l'intersection de deux rayons

La figure 3.2 illustre bien la géométrie de la photogrammétrie de deux milieux. Un point  $P$  est situé dans l'eau (milieu  $M_2$ ) à une profondeur  $t$ . Un premier rayon issu de  $P$  est réfracté à la surface de l'eau en  $P_1$  pour continuer son chemin jusqu'en  $O_1$  (centre de perspective de gauche). Un deuxième rayon issu de  $P$  est dévié à la surface de l'eau en  $P_2$  pour se rendre ensuite en  $O_2$  (centre de perspective de droite). Mais vus de  $O_1$  et  $O_2$ , les deux rayons homologues semblent provenir de  $P_{a_1}$  et  $P_{a_2}$ . Ainsi le rayon apparent  $O_1P_{a_1}$  coupe la verticale issue de  $P$  à une profondeur  $\bar{t}_1$  sous l'eau et le rayon apparent  $O_2P_{a_2}$  coupe la verticale à une profondeur  $\bar{t}_2$ . Il faut remarquer que les deux rayons apparents ne se coupent pas. Les points  $P_{a_1}$  et  $P_{a_2}$  situés à une profondeur  $\bar{t}$  sous l'eau sont tels que  $P_{a_1}P_{a_2}$  est parallèle à l'axe  $Y$  (il n'y a pas de parallaxe  $X$ ). Un opérateur, en montant et baissant sa marque de mesure, s'arrête justement à l'endroit où la parallaxe  $X$  est égale à zéro : c'est la position apparente du point  $P$  (donnée par le segment  $\overline{P_{a_1}P_{a_2}}$ ). La figure 3.3 donne un plan et une élévation de la géométrie décrite à la figure 3.2 et permet de bien saisir la situation.

### 3.2 Différentes approches au problème de la photogrammétrie de deux milieux

Différents organismes ont développé des programmes pour traiter le problème de la restitution sous-marine. Dans les pages qui vont suivre, nous allons décrire quelques-unes de ses approches qui font toutes appel à des appareils analytiques.

#### 3.21 L'approche du Dr MASRY

Le Docteur Masry de l'Université du Nouveau-Brunswick a conçu un programme intégré à leur restituteur analytique AP-2C voir MASRY et KONECNY]. Le programme est basé sur le concept que les points d'intersection des rayons avec la surface de l'eau ( $P_1$  et  $P_2$  sur la figure 3.2) obéissent à la condition de collinéarité. Il s'agit

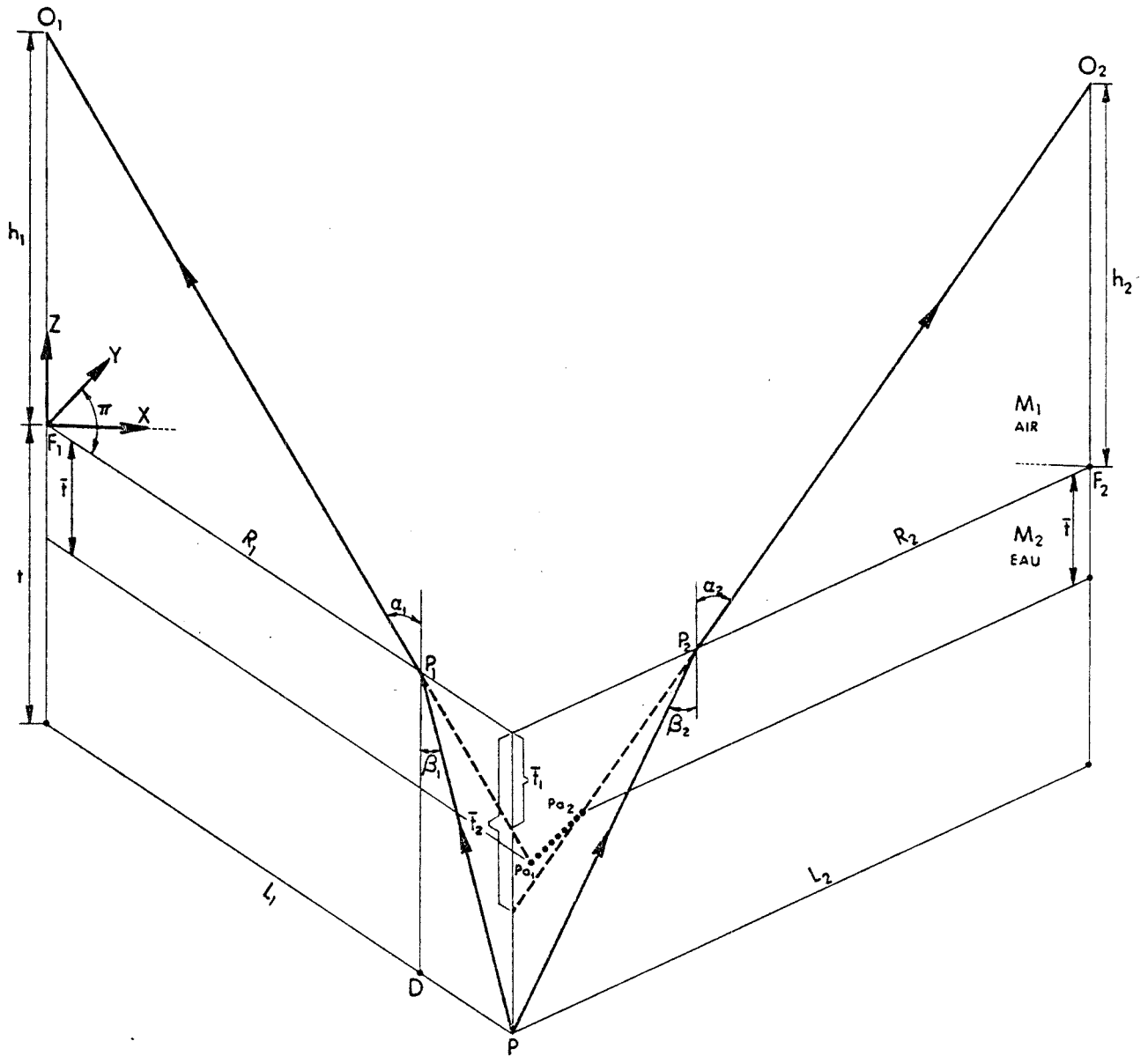


Figure 3.2 : La géométrie de la photogrammétrie de deux milieux.

donc de passer du point P aux points  $P_1$  et  $P_2$  à la surface de l'eau. Ces deux points sont alors considérés comme des points-modèle pour chacun des centres de perspective. Ainsi la condition de collinéarité peut s'appliquer à chacun des points  $P_1$  et  $P_2$ . En référence à la figure 3.2, nous avons d'après la loi de réfraction :

$$\frac{\sin\alpha_1}{\sin\beta_1} = n$$

où  $n$  est l'indice de réfraction de l'eau à l'air.

En utilisant les triangles  $O_1F_1P_1$  et  $P_1DP$ , nous obtenons :

$$\sin\alpha_1 = \frac{R_1}{\sqrt{h_1^2 + R_1^2}}$$

et

$$\sin\beta_1 = \frac{(L_1 - R_1)}{\sqrt{t^2 + (L_1 - R_1)^2}}$$

$L_1$  et  $R_1$  peuvent être exprimés en termes des coordonnées  $X$  et  $Y$  de  $P$  et  $P_1$  puisque les deux points sont situés dans un plan  $\pi$  ou un plan parallèle à  $\pi$ . Ainsi :

$$\frac{R_1 \sqrt{t^2 + (L_1 - R_1)^2}}{(L_1 - R_1) \sqrt{h_1^2 + R_1^2}} = n$$

et

$$R_1^2[(n^2 - 1)(L_1 - R_1)^2 - t^2] + n^2 h_1^2 (L_1 - R_1)^2 = 0 \quad (3)$$

En utilisant les coordonnées  $X_p$ ,  $Y_p$ ,  $t$  de  $P$ ,  $R_1$  peut être déterminé de l'équation (3) en utilisant l'approximation de Newton. Des quatre racines, deux sont imaginaires et une est plus grande que  $L_1$ , ce qui n'a pas de sens. Il reste donc une seule solution plausible. Comme approximation de départ,  $R \approx \frac{L_1 h_1}{(h_1 + t)}$  est utilisé. Une fois que

$R$  est déterminé, les coordonnées de  $P_1$  sont obtenus par :

$$X_{P_1} = X_P \cdot \frac{R}{L}$$

$$Y_{P_1} = Y_P \cdot \frac{R}{L}$$

$$Z_{P_1} = 0$$

D'une manière semblable, les coordonnées de  $P_2$  sont calculées. Ensuite les coordonnées des points-image sont calculées en utilisant la condition que le point-objet ( $P_1$  ou  $P_2$ ), le centre de perspective et le point-image sont sur une même droite (condition de collinéarité) les porte-clichés sont déplacés automatiquement par l'ordinateur et ces points-image sont observés par l'opérateur. Ces calculs sont répétés à une fréquence de 30 fois par seconde.

Il faudrait peut-être clarifier comment le point P est déterminé avant de connaître la réfraction. Ici il faut penser à un procédé itératif d'approximations successives. Au premier coup, l'opérateur s'approche près du point P, puis au deuxième coup il se rapproche encore plus et ainsi de suite.

D'une manière semblable, les coordonnées de  $P_2$  sont calculées. Ensuite, les coordonnées des points-image sont calculées en utilisant la condition que le point-objet ( $P_1$  ou  $P_2$ ), le centre de perspective et le point-image sont sur une même droite (condition de collinéarité). Les porte-clichés sont déplacés automatiquement par l'ordinateur et ces points-image sont observés par l'opérateur. Ces calculs sont répétés à une fréquence de 30 fois par seconde.

Il faudrait peut-être clarifier comment le point P est déterminé avant de connaître la réfraction. Ici il faut penser à un procédé itératif d'approximations successives. Au premier coup, l'opérateur s'approche près du point P, puis au deuxième coup il se rapproche encore plus et ainsi de suite.

### 3.22 L'approche américaine

Depuis plusieurs années le National Ocean Service (NOS) du National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) des Etats-Unis développe un programme de photo-bathymétrie.

Ils ont d'abord utilisé un B-8S de Wild modifié muni d'un procédé semi-automatique de compilation. Après l'orientation externe d'un modèle, l'opérateur restitue tous les détails terrestres tels que ligne de littoral, aides à la navigation, points de contrôle, etc. L'opérateur ramène alors son niveau  $Z = 0$  à la surface de l'eau et commence à enregistrer des profondeurs discrètes dans le modèle. Ces coordonnées numérisées sont envoyées à l'ordinateur où elles sont corrigées pour la réfraction. Ces données filtrées sont alors jointes à l'information déjà restituée. Il faudrait peut-être ici préciser comment les corrections sont appliquées. Comme l'indique la figure 3.3 l'opérateur élimine la parallaxe  $X$  pour se retrouver à une position apparente ( $P_a$ ) dans le modèle. Cette position est erronée en planimétrie et en altimétrie. Par considérations géométriques, le NOS a développé des formules pour  $\Delta x$  et  $\overline{P_a b} = \Delta y$ . Mais si l'on considère un modèle au  $10\ 000^e$ , le déplacement planimétrique atteint au pire dans le coin du modèle, 3 cm pour  $\Delta x$  et 2 cm pour  $\Delta y$  (à l'échelle du terrain) dans le cas d'une profondeur vraie de 10 m. Ceci est négligeable quand on pense que cela représente  $3\ \mu\text{m}$  et  $2\ \mu\text{m}$  respectivement à l'échelle de la photo. D'ailleurs la parallaxe  $Y, \overline{P_{a1} P_{a2}}$  est aussi indiscernable puisqu'elle atteint au maximum  $6\ \mu\text{m}$  à l'échelle de la photo, toujours dans le cas du  $10\ 000^e$  à 10 m de profondeur.

Voilà pourquoi le National Ocean Service, dans la deuxième phase de son programme de photo-bathymétrie, a négligé ces corrections planimétriques pour ne se concentrer que sur les corrections altimétriques. Cette deuxième phase a commencé avec l'acquisition en 1979 d'un restituteur analytique, le National Ocean Service Analytical Plotter (NOSAP). Le restituteur lui-même a été fabriqué par OMI et le logiciel fourni par US-1. Dans cette approche, il s'agit d'appliquer les équations de la perspective centrale avec une boucle supplémentaire quand le point est situé sous l'eau. En effet le système de coordonnées-terrain ( $X, Y, Z$ ) est défini de telle sorte que  $Z = 0$  correspond au niveau de l'eau. Imaginons donc un modèle orienté sur le restituteur analytique. En se déplaçant dans le modèle, l'opérateur obtient automatiquement des coordonnées  $X, Y, Z$  pour tous les points qu'il visite. Le programme fait alors un test sur le signe de la coordonnée  $Z$  :

- Si Z est plus grand que zéro, alors le programme continue comme d'habitude. C'est-à-dire que l'on forme le vecteur joignant le point-terrain au centre de perspective, on fait la rotation de ce vecteur dans le système photographique. Ainsi l'ordinateur peut déplacer les porte-clichés exactement à l'endroit défini par les coordonnées-photo corrigées par la distorsion de l'objectif et d'autres distorsions jugées nécessaires. Evidemment ces calculs sont répétés plusieurs fois par seconde.

- Par contre si Z est plus petit que zéro, le programme branche à une boucle qui traite la réfraction de l'eau. Dans cette boucle, on utilise la géométrie de la réfraction d'un seul rayon (voir la figure 3.1). Ainsi on néglige la différence entre la profondeur apparente  $\bar{t}$  et les profondeurs obtenues par l'intersection des rayons apparents avec la verticale issue de P ( $\bar{t}_1$  et  $\bar{t}_2$  dans la figure 3.3). Ainsi l'on pose  $Z = \bar{t}$ , et l'on forme le vecteur  $\overrightarrow{OQ}$  où :

$$\overrightarrow{OQ} = \begin{pmatrix} X_p - X^0 \\ Y_p - Y^0 \\ \bar{t} - Z^0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{pmatrix} \quad \text{où } (X^0, Y^0, Z^0) \text{ sont les coordonnées du centre de perspective et } (X_p, Y_p)$$

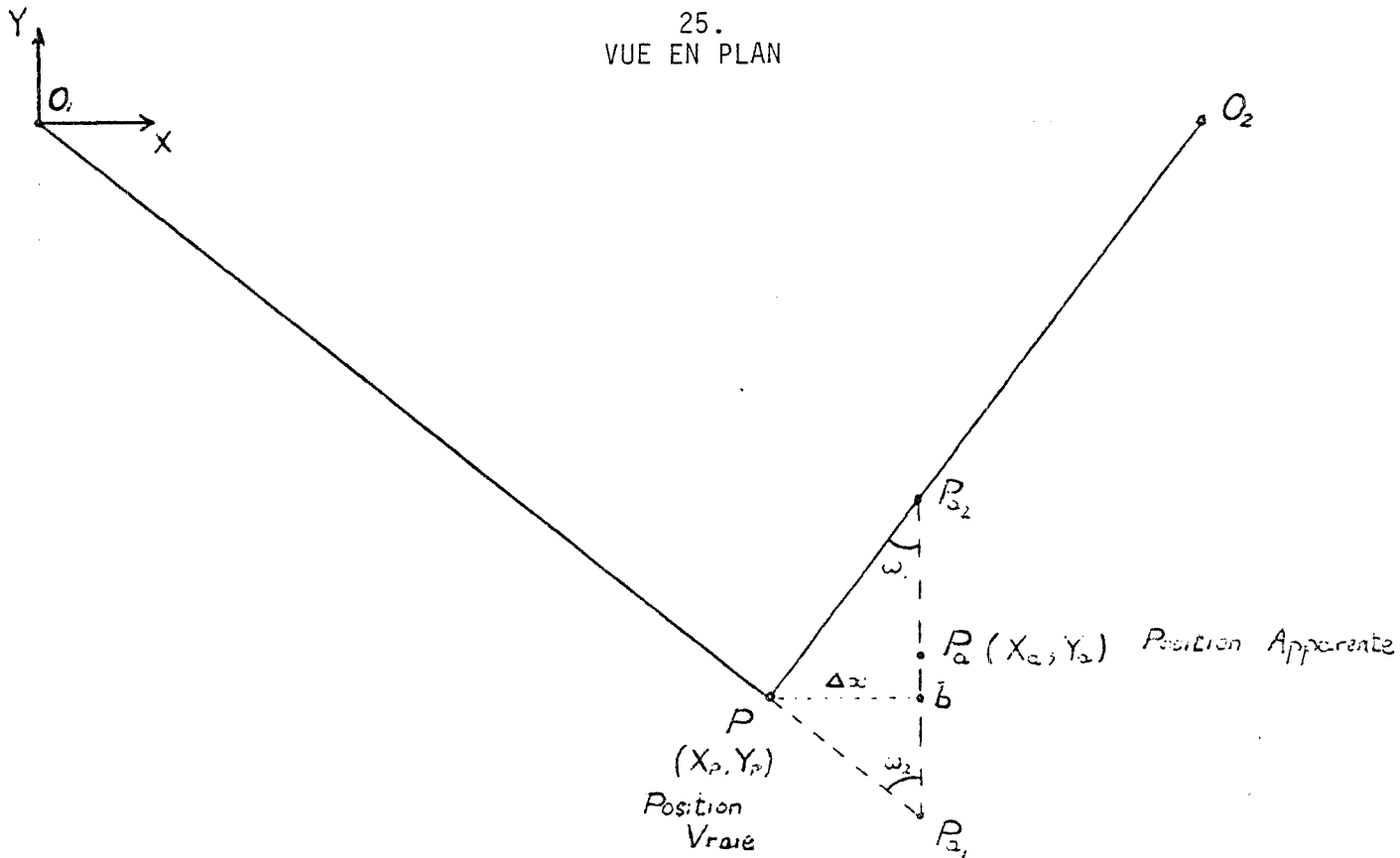
sont les coordonnées planimétriques du point P (figure 3.1).

A ce vecteur  $\overrightarrow{OQ}$  est appliquée la rotation pour obtenir les coordonnées-photo correspondant au point P.

Dans le cas où la vraie profondeur t du point est connue, on calcule la profondeur  $\bar{t}$  (correspondant au point Q) par le procédé itératif qui suit :

pour débiter l'itération, on pose :

$$\bar{t} = t$$



VUE EN ÉLÈVATION

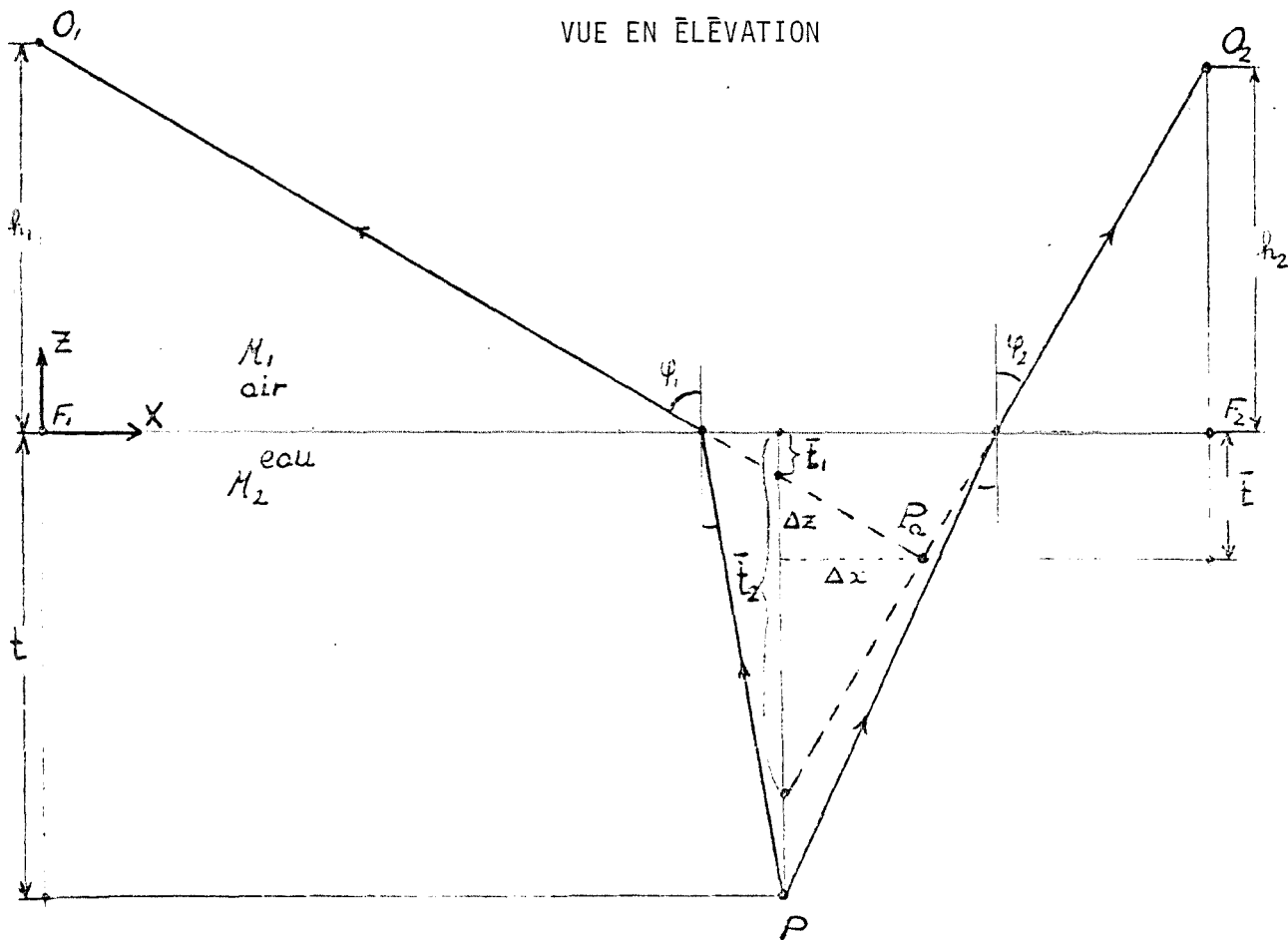
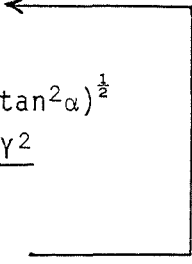


Figure 3.3 : La géométrie de la photogrammétrie de deux milieux

on calcule  $\Delta Z = (\bar{t} - Z^0)$  ←

$$a = (n^2 + (n^2-1)\tan^2\alpha)^{\frac{1}{2}}$$

$$\tan^2\alpha = \frac{\Delta X^2 + \Delta Y^2}{\Delta Z^2}$$

$$\bar{t} = \frac{t}{a}$$


on répète la boucle jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de changement dans  $\bar{t}$ . Ensuite on forme  $\overrightarrow{OQ}$  comme il a été décrit ci-haut.

Il faut remarquer que dans tous ces programmes, les corrections pour la réfraction atmosphérique et la courbure terrestre sont appliqués directement aux coordonnées-terrain des points.

En résumé dans le concept du Dr Masry, il s'agit de passer du point P au point P<sub>1</sub> (point d'intersection réfracté avec la surface de l'eau) pour ensuite appliquer la condition de collinéarité au rayonnement  $\overrightarrow{OP_1}$ ; alors que dans l'approche du NOS l'on passe du point P au point Q (l'intersection du rayon apparent avec la verticale issue de P) pour pouvoir appliquer la condition de collinéarité au rayonnement  $\overrightarrow{OQ}$  (qui est évidemment dans le prolongement du vecteur  $\overrightarrow{OP_1}$ ).

### 3.23 Une approche possible au problème de la photogrammétrie de deux milieux

Il est certain que dans le développement d'un modèle mathématique, tout est possible. On peut penser à un modèle rigoureux, qui tienne compte de tous les paramètres possibles. Mais dans ce cas le modèle devient coûteux, compliqué et difficile à implanter. C'est souvent beaucoup mieux d'adopter un modèle simple, approximatif et itératif qui répond bien aux besoins de la production. En considérant une échelle de photographie variant du 9 000<sup>e</sup> au 10 000<sup>e</sup>, nous proposons donc les approximations préliminaires suivantes :

- la surface de l'eau est considérée comme plane. Dans le cas d'une mer relativement calme, cette approximation donne de bons résultats,

- l'indice de réfraction  $n$  de l'eau par rapport à l'air sera considéré comme constant pour tout le modèle. Dans le cas de l'eau de mer dans des conditions normales de température et de salinité, une valeur de 1.33 peut être introduite pour  $n$ ,
- les corrections ne s'appliqueront qu'en altimétrie. Il a été démontré en 3.2.2 que les corrections sont négligeables en  $X$  et  $Y$  à l'échelle de 1:10 000.

Ceci étant dit, il faut développer une formule pour passer de la profondeur apparente  $\bar{t}$  à la vraie profondeur  $t$  (voir figure 3.2). En référence à la figure 3.3 nous avons :

$$\bar{t} = \bar{t}_1 + \Delta z \quad (4)$$

Développons une expression pour  $\Delta z$  :

puisque  $\tan\phi_1 = \frac{\Delta x}{\Delta z}$  (5)

et  $\tan\phi_2 = \frac{\Delta x}{(\bar{t}_2 - \bar{t}_1) - \Delta z}$  (6)

ce qui donne de (6)  $\Delta z = (\bar{t}_2 - \bar{t}_1) - \frac{\Delta x}{\tan\phi_2}$

mais de (5)  $\Delta x = \Delta z \cdot \tan\phi_1$

nous obtenons donc  $\Delta z = (\bar{t}_2 - \bar{t}_1) - \frac{\Delta z \cdot \tan\phi_1}{\tan\phi_2}$

et  $\Delta z = \frac{\tan\phi_2}{\tan\phi_1 + \tan\phi_2} (\bar{t}_2 - \bar{t}_1)$

Remplaçant cette expression dans (4) :

$$\bar{t} = \bar{t}_1 + \frac{\tan\phi_2}{\tan\phi_1 + \tan\phi_2} (\bar{t}_2 - \bar{t}_1)$$

mais comme (voir la formule (1))  $\bar{t}_1 = \frac{t}{a_1}$  et  $\bar{t}_2 = \frac{t}{a_2}$

la formule de correction de la profondeur apparente à la vraie profondeur devient :

$$t = \frac{\bar{t}}{\frac{1}{a_1} + \frac{\tan\phi_2}{\tan\phi_1 + \tan\phi_2} \left(\frac{1}{a_2} - \frac{1}{a_1}\right)} \quad (7)$$

et de la formule (2), nous savons que :

$$a_i = (n^2 + (n^2 - 1)\tan^2\alpha_i)^{\frac{1}{2}} \quad \text{avec } i = 1, 2$$

ainsi nous voyons que dans la formule (7) la vraie profondeur  $t$  ne dépend que des angles  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\phi_1$  et  $\phi_2$ . Ces angles représentent les directions que font les rayons  $O_1P_1$  et  $O_2P_2$ , ainsi que leurs projections sur le plan XZ avec la verticale du lieu (qui est parallèle avec l'axe Z choisi).

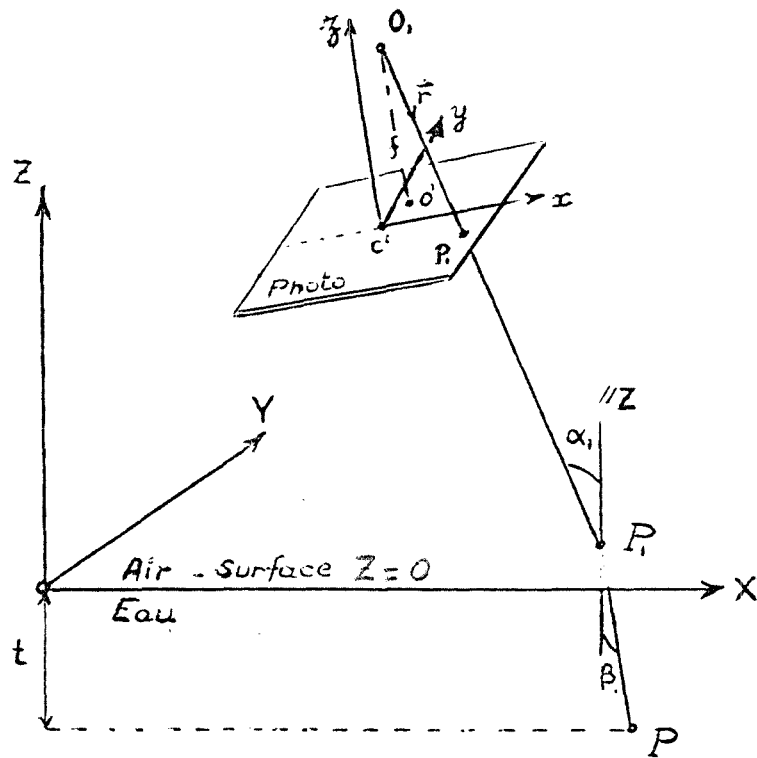
Imaginons donc un modèle orienté sur le restituteur analytique. Un système de coordonnées-terrain (X, Y, Z) est choisi de telle sorte que  $Z = 0$  corresponde au niveau de l'eau (voir figure 3.4).

Le système de coordonnées-photo (x, y, z) est défini avec origine  $c'$  au centre fiduciaire de la photo et (x, y) correspondant au plan de la photo. L'axe optique de la caméra coupe le plan de la diapositive en  $O'$ . Dans ce système le centre de perspective  $O_1$  a comme coordonnées :  $(x_0, y_0, f)$  et le point-image  $p_1$  a comme coordonnées :  $(x_{p_1}, y_{p_1}, 0)$ .

Ainsi le vecteur :

$$\vec{r}_1 = \begin{pmatrix} x_{p_1} - x_0 \\ y_{p_1} - y_0 \\ -f \end{pmatrix}$$

définit le point  $p_1$  dans le système de coordonnées-photo.



N.B. : Le point  $P_1$  est sur la surface de l'eau (plan XY)

Figure 3.4 : La condition de collinéarité  
et l'orientation externe

Dans le système de coordonnées-terrain, le centre de perspective  $O_1$  a comme coordonnées :  $(X_1^0, Y_1^0, Z_1^0)$  et le point  $P_1$  est situé à :  $(X_{P_1}, Y_{P_1}, Z_{P_1})$ .

Donc, dans le système-terrain, le vecteur :

$$\overrightarrow{O_1P_1} = \vec{R}_1 = \begin{pmatrix} X_{P_1} - X_1^0 \\ Y_{P_1} - Y_1^0 \\ Z_{P_1} - Z_1^0 \end{pmatrix}$$

Si l'orientation externe est bien établie, alors les deux vecteurs  $\vec{r}_1$  et  $\vec{R}_1$  sont collinéaires et cette condition peut s'écrire :

$$\vec{r}_1 = \begin{pmatrix} x_{P_1} - x_0 \\ y_{P_1} - y_0 \\ -f \end{pmatrix} = kM \cdot \begin{pmatrix} X_{P_1} - X_1^0 \\ Y_{P_1} - Y_1^0 \\ Z_{P_1} - Z_1^0 \end{pmatrix} = k.M.\vec{R}_1$$

ou

$$M^T \cdot \vec{r}_1 = k \cdot \vec{R}_1$$

où :

$k$  est un facteur-échelle approprié

$M$  est une matrice  $3 \times 3$  orthogonale qui représente la transformation du système  $(X, Y, Z)$  au système  $(x, y, z)$ . Elle est composée de trois rotations  $\omega, \phi, K$  autour des  $X, Y, Z$ .

$$M = R_k \cdot R_\phi \cdot R_\omega$$

$M^T$  est la transposée de  $M$  et peut s'écrire sous la forme :

$$M^T = \begin{pmatrix} M_1 \\ M_2 \\ M_3 \end{pmatrix} \quad \text{où les } M_i \text{ sont des matrices-ligne } 1 \times 3$$

$$M_i = (m_{i1}, m_{i2}, m_{i3}) \quad i = 1, 2, 3$$

ainsi  $M^T \cdot \vec{r}_1 = \begin{pmatrix} M_1 \\ M_2 \\ M_3 \end{pmatrix} \cdot \vec{r}_1$  est un vecteur collinéaire à  $\vec{R}_1$

mais exprimé dans le système  $(X, Y, Z)$ .

Avec cette notation il devient très facile d'exprimer les éléments  $\alpha_1, \phi_1$  nécessaires à la formule de correction (7)

$$\tan^2 \alpha_1 = \frac{(M_1 \cdot \vec{r}_1)^2 + (M_2 \cdot \vec{r}_1)^2}{(M_3 \cdot r_1)^2}$$

et

$$\tan \phi_1 = \frac{(M_1 \cdot \vec{r}_1)}{(M_3 \cdot \vec{r}_1)}$$
(8)

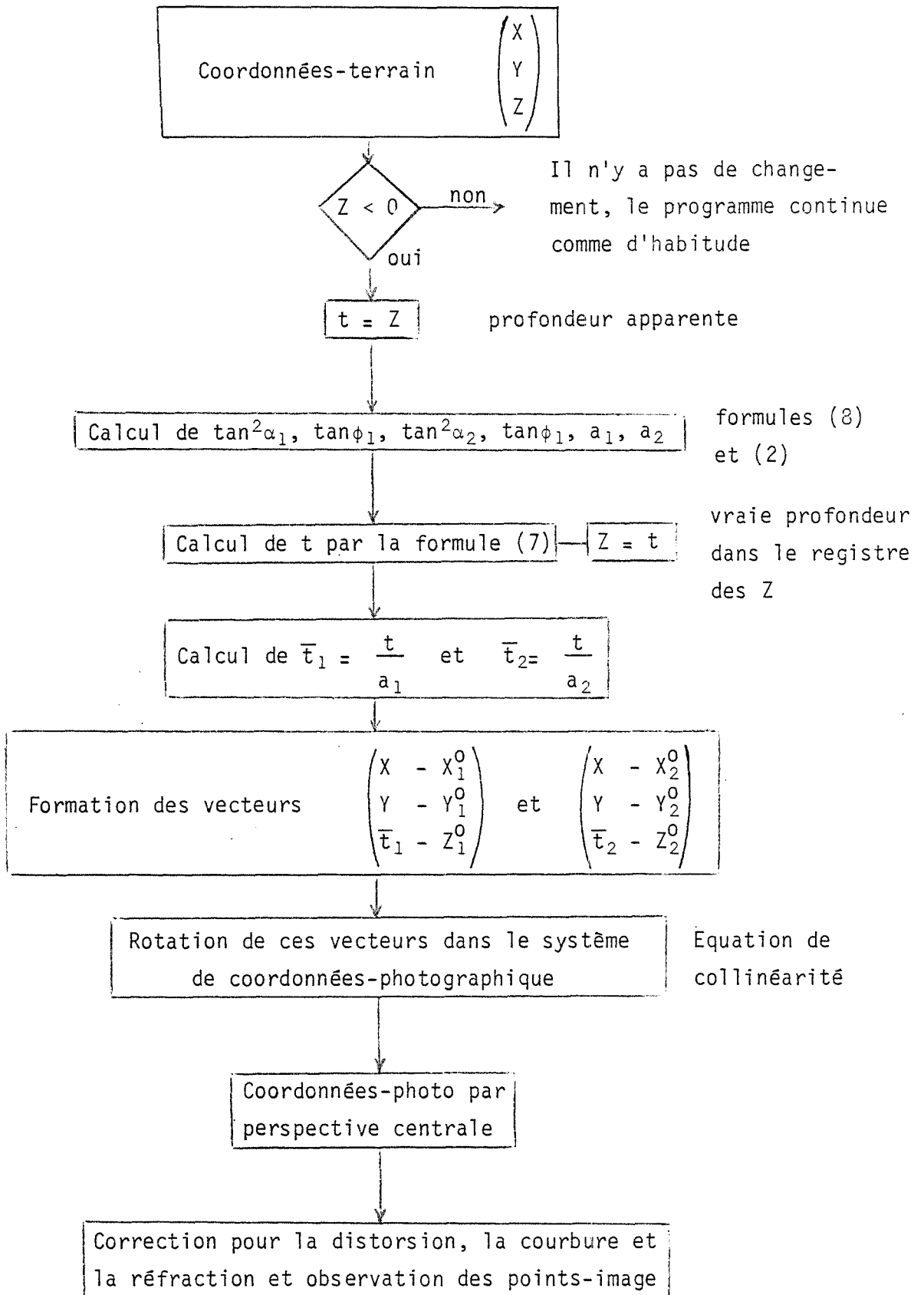
D'une façon analogue les éléments  $\alpha_2, \phi_2$  (pour la photo de droite) peuvent être calculés en utilisant la matrice d'orientation de la caméra de droite et en changeant  $\vec{r}_2$  pour  $\vec{r}_1$ .

Ainsi si notre modèle est correctement orienté alors  $M_1, M_2$  et  $M_3$  sont définis par l'orientation externe et le vecteur  $\vec{r}_1$  est défini par les coordonnées-photo du point-image et les éléments de l'orientation interne. Il n'y a donc aucun problème pour calculer  $\tan^2 \alpha_1$  et  $\tan \phi_1$ .

Ces développements serviront de base à l'élaboration d'un algorithme de correction. Nous considérons donc un modèle déjà orienté sur le stéréo-restituteur analytique. Ainsi les éléments de l'orientation interne et les douze éléments de l'orientation externe pour les deux caméras sont connus. Il faut noter que dans le cas présent, les corrections pour la courbure terrestre et la réfraction atmosphérique sont appliquées au niveau de la photo. Nous travaillons donc dans le modèle avec des coordonnées-terrain  $(X, Y, Z)$ . Il s'agit alors de tester pour voir si  $Z$  est plus petit que zéro. Si  $Z$  est plus grand que zéro, il n'y a alors aucun changement. Mais si  $Z$  est plus petit que zéro, alors  $Z$  est égal à  $\bar{t}$  la profondeur apparente. Il faut donc calculer  $\tan^2 \alpha_1, \tan \phi_1, \tan^2 \alpha_2, \tan \phi_2$  par la formule (8). De la formule (7) la vraie profondeur  $t$  est calculée. Cette valeur est envoyée au registre des  $Z$  pour affichage. Puis  $\bar{t}_1$  et  $\bar{t}_2$  sont calculés de  $t$  par les formules (1) et (2). Les vecteurs  $(X - X_1^0, Y - Y_1^0, \bar{t}_1 - Z_1^0)^T$  et  $(X - X_2^0, Y - Y_2^0, \bar{t}_2 - Z_2^0)^T$  sont formés. Il s'agit des vecteurs joignant les centres de perspective de gauche et de droite  $((X_1^0, Y_1^0, Z_1^0)$  et  $(X_2^0, Y_2^0, Z_2^0))$  à des points situés à la verticale de

P (vraie position) a des profondeurs respectives  $\bar{t}_1$  et  $\bar{t}_2$ . Ces deux vecteurs sont transformés dans le système photographique par l'équation de collinéarité. Après correction de la distorsion de la lentille, de la courbure et de la réfraction, les points-image correspondants sont observés. Ces calculs sont naturellement répétés plusieurs fois par seconde.

Le schéma de la page suivante décrit bien la séquence des opérations.



### 3.3 Recommandations

Le modèle mathématique de correction pour la photogrammétrie de deux milieux est assez simple. Par ailleurs la programmation d'un tel modèle et son implantation sur un système tel que le BC-1 de Wild demande un certain travail. Il faudrait donc penser à octroyer un autre contrat pour développer un tel logiciel. Ceci impliquerait de la programmation en langage FORTRAN-V avec accès aux logiciels déjà existants sur le BC-1. Une fois le logiciel implanté, il serait bon de le vérifier en utilisant des modèles sous-marins simulés puis des modèles provenant de la basse Côte-Nord où la clarté de l'eau est excellente.

ANNEXE

ORIENTATIONS EXTERNES DES MODÈLES COULEUR OU NOIR ET BLANC  
MESURES PRISES SUR CES MODÈLES

\*\*\* N. R. C. ANAPLOT PROGRAM \*\*\*

00:56:34

ENTER ANNOTATION FOLLOWED BY EMPTY LINE!

\*\*\*\*\*

ORIENTATION RELATIVE DU MODELE NOIR ET BLANC SUR L'ANAPLOT

\*\*\*\*\*

\*\*\* INDEPENDENT RELATIVE ORIENTATION \*\*\*

00:50:17

BASE (BB.) = 85.

POINT PATTERN = B

COMPUTER ID ? Y

ALL CONDITIONS O.K.? Y

MODEL 1 : 51 - 49

ID	XL	YL	XR	YR	IT	SIG
511	1.333	100.053	-95.985	100.480		
512	-1.130	0.951	-95.720	2.894		
513	-1.799	-69.831	-95.921	-67.954		
491	89.129	96.320	-8.562	99.289		
492	83.534	2.589	-12.501	6.806		
493	91.220	-96.212	-1.945	-92.367	2	1.
514	43.052	99.802	-55.145	101.408	2	7.
515	42.735	0.062	-53.079	3.211	2	5.
516	43.169	-69.769	-50.528	-66.794	2	5.

PROJECTION CENTERS

XL	YL	ZL	XR	YR	ZR
0.000	0.000	152.919	85.000	0.000	152.919

LEFT ROTATION MATRIX

RIGHT ROTATION MATRIX

0.997327	-0.072959	0.004139	0.998882	-0.046458	0.008777
0.072885	0.997214	0.015895	0.046460	0.998920	-0.000001
-0.005287	-0.015551	0.999865	-0.008768	0.000409	0.999962

ID	X	Y	Z	PY
511	-5.791	85.464	17.446	5.
512	-1.623	-1.389	17.241	0.
513	2.350	-63.604	19.183	2.
491	71.972	88.708	15.703	4.
492	72.518	5.486	18.080	1.
493	85.881	-80.908	18.946	1.
514	30.665	87.756	17.485	-9.
515	36.889	0.655	18.372	-1.
516	42.034	-60.922	18.405	-4.

STANDARD ERROR OF UNIT WEIGHT = 5.0 MICRONS

MORE POINTS?

ANY REJECTION? ENTER ID! 0 0

\*\*\* INDEPENDENT ORIENTATION COMPLETE \*\*\*

00:53:32

\*\*\* N. R. C. ANAPLOT PROGRAM \*\*\*

00:56:34

ENTER ANNOTATION FOLLOWED BY EMPTY LINE!

\*\*\*\*\*

ORIENTATION ABSOLUE DU MODELE NOIR ET BLANC SUR L'ANAPLOT

\*\*\*\*\*

\*\*\* ABSOLUTE ORIENTATION \*\*\*

00:56:51

NAME OF CONTROL FILE? DK:MONTRL.GCP

MEASURE AND RECORD POINTS!

ID? 27

ID? 24

ID? 350

ID? 625

ID? 29

ID? 28

READ IN "A" MATRIX???

ID	DE	DN	DH
27	0.09	0.00	-0.05
24	-0.08	-0.07	0.02
350			-0.01
625			0.03
29	-0.04	0.11	-0.09
28	0.04	-0.04	0.10

SIG: 0.094 0.101 0.087 IT: 3

DELETE GCP NUMBER = 0 0

MORE POINTS?

LEVEL MODEL? Y

BASE-TO-X ROTATION = 58.4 DEGREES

HANDWHEELS IN GROUND CONTROL SYSTEM?

MODEL LEVELED

\*\*\* ABSOLUTE ORIENTATION COMPLETE \*\*\*

01:00:41

ENTER ANNOTATION FOLLOWED BY EMPTY LINE!

\*\*\*\*\*

MESURES EFFECTUEES SUR LE MODELE NOIR ET BLANC (ANAPLOT:OPERATEUR C)

\*\*\*\*\*

RESTORE MODEL? Y

E	302311.24	N	44448.18	H	13.10	ID 1
E	302254.01	N	44429.97	H	13.12	ID 3
E	302260.44	N	44456.06	H	13.13	ID 4
E	302312.89	N	44477.12	H	13.14	ID 5
E	302311.33	N	44448.16	H	13.09	ID 1
E	302254.00	N	44429.97	H	13.14	ID 3
E	302260.41	N	44456.07	H	13.15	ID 4
E	302312.87	N	44477.18	H	13.06	ID 5
E	302311.31	N	44448.18	H	13.10	ID 1
E	302253.99	N	44430.01	H	13.18	ID 3
E	302260.45	N	44456.07	H	13.14	ID 4
F	302312.89	N	44477.19	H	13.04	ID 5
F	302311.32	N	44448.19	H	13.06	ID 1
E	302254.00	N	44430.00	H	13.10	ID 3
E	302260.49	N	44456.01	H	13.06	ID 4
C	302312.90	N	44477.19	H	13.09	ID 5
E	302311.26	N	44448.21	H	13.14	ID 1
E	302254.04	N	44429.95	H	13.07	ID 3
E	302260.48	N	44456.07	H	13.09	ID 4
E	302312.90	N	44477.21	H	13.10	ID 5
E	302311.25	N	44448.23	H	13.18	ID 1
E	302253.99	N	44430.01	H	13.14	ID 3
F	302260.45	N	44456.07	H	13.12	ID 4
E	302312.88	N	44477.20	H	13.06	ID 5
E	302311.28	N	44448.21	H	13.15	ID 1
E	302254.01	N	44429.97	H	13.16	ID 3

\*\*\* N. R. C. ANAPLOT PROGRAM \*\*\*

01:02:28

ENTER ANNOTATION FOLLOWED BY EMPTY LINE!

\*\*\*\*\*

MESURES EFFECTUEES SUR LE MODELE NOIR ET BLANC (ANAPLOT:OPERATEUR C)

\*\*\*\*\*

E	302260.42	N	44456.08	H	13.16	ID 4
E	302312.93	N	44477.20	H	13.03	ID 5
E	302311.31	N	44448.19	H	13.06	ID 1
E	302254.03	N	44429.99	H	13.16	ID 3
E	302260.50	N	44456.04	H	13.05	ID 4
E	302312.91	N	44477.21	H	13.05	ID 5
E	302311.32	N	44448.20	H	13.03	ID 1
E	302254.00	N	44429.99	H	13.09	ID 3
E	302260.46	N	44456.08	H	13.11	ID 4
E	302312.92	N	44477.14	H	13.07	ID 5
E	302311.27	N	44448.24	H	13.17	ID 1
E	302254.06	N	44430.01	H	13.14	ID 3
E	302260.45	N	44456.16	H	13.19	ID 4
E	302312.94	N	44477.22	H	13.06	ID 5

\*\*\* N. R. C. ANAPLOT PROGRAM TERMINATED, MODEL STORED \*\*\* 01:21:53

\*\*\* N. R. C. ANAPLOT PROGRAM \*\*\*

21-FEB-85 08:12:27

ENTER ANNOTATION FOLLOWED BY EMPTY LINE!

\*\*\*\*\*

ORIENTATION RELATIVE DU MODELE COULEUR SUR L'ANAPLOT

\*\*\*\*\*

\*\*\* INDEPENDENT RELATIVE ORIENTATION \*\*\*

08:14:51

BASE (BB.) = 90.

POINT PATTERN = C

COMPUTER ID ? Y

ALL CONDITIONS O.K.? Y

MODEL 1 : 50 - 48

PROJECTION CENTERS

XL	YL	ZL	XR	YR	ZR
0.000	0.000	152.990	90.000	0.000	152.990

LEFT ROTATION MATRIX

RIGHT ROTATION MATRIX

0.998469	-0.055300	-0.001506	0.999193	-0.040100	0.002487
0.055274	0.998376	-0.013841	0.040100	0.999126	0.000002
0.002269	0.013737	0.999903	-0.002487	-0.000098	0.999997

ID	X	Y	Z	PY
1	-10.178	92.742	12.488	7.
2	-3.477	-66.561	11.434	10.
3	90.875	93.843	11.226	2.
4	107.655	-69.227	11.469	-8.
5	-8.311	-8.368	11.159	-15.
6	98.709	2.305	12.385	6.
7	74.522	-80.471	11.646	-5.
8	75.801	-37.338	12.990	11.
9	61.647	1.651	11.326	-6.
11	68.880	96.296	12.108	-7.
13	-8.609	-19.964	12.383	2.
14	18.008	-43.697	11.441	-3.
15	95.582	-43.042	11.432	5.

STANDARD ERROR OF UNIT WEIGHT = 7.4 MICRONS

MORE POINTS?

ANY REJECTION? ENTER ID! 0 0

\*\*\* INDEPENDENT ORIENTATION COMPLETE \*\*\*

09:16:07

ENTER ANNOTATION FOLLOWED BY EMPTY LINE!

\*\*\*\*\*

ORIENTATION ABSOLUE DU MODELE COULEUR SUR L'ANAPLOT

\*\*\*\*\*

\*\*\* ABSOLUTE ORIENTATION \*\*\*

10:42:53

REPEATED ORIENTATION!

NAME OF CONTROL FILE? DK:MONTRL.GCP

ID	X	Y	Z	E	N	H
39	103.952	-63.959	12.424	302625.55	45314.64	23.39
40	72.071	-14.503	12.244	302015.90	45307.33	24.63
41	70.162	84.272	12.218	301137.54	45834.85	31.61
43	1.684	-62.080	12.063	302045.75	44426.61	19.46
63	10.329	0.001	12.278	301548.03	44844.94	26.12
44	-10.725	-4.015	12.387	301467.64	44637.58	27.52
24	35.817	-41.315	11.743	302051.75	44841.20	17.39

A	0.00551087	-0.00878381	0.00005887
	0.00878400	0.00551073	-0.00004003
	0.00000262	0.00007114	0.01036935

OE = 301490.46 CN = 44754.60 OH = -101.51

ID	OE	ON	OH
39	0.32	0.12	-0.15
40	-0.15	-0.07	0.18
41	0.07	-0.03	-0.05
43	0.00	0.20	-0.10
63	0.07	-0.09	-0.09
24	-0.31	-0.13	0.22

SID: 0.238 0.144 0.202 IT: 3

DELETE GCP NUMBER = 0 0

MORE POINTS?

LEVEL MODEL? Y

BASE-TO-X ROTATION = 57.9 DEGREES

HANDWHEELS IN GROUND CONTROL SYSTEM?

PROJECTION CENTERS

301499.47 44748.48 1485.09 301995.45 45539.04 1485.33

ROTATION MATRICES

0.483890	-0.874971	0.016644	0.497059	-0.867689	0.006945
0.875125	0.483739	-0.012410	0.867715	0.497059	-0.001840
0.002807	0.020571	0.999765	-0.001856	0.006941	0.999974

KAPPA	PHI	OMEGA	KAPPA	PHI	OMEGA
67.84	1.06	0.79	66.88	0.44	0.12

MODEL LEVELED

\*\*\* N. R. C. ANAPLOT PROGRAM \*\*\*

00:56:34

ENTER ANNOTATION FOLLOWED BY EMPTY LINE!

\*\*\*\*\*

## MESURES EFFECTUEES SUR LE MODELE COULEUR (ANAPLOT:OPERATEUR C)

\*\*\*\*\*

E	302311.53	N	44447.78	H	12.53	ID 1
E	302283.22*	N	44438.24	H	12.56	ID 2
E	302254.26	N	44429.59	H	12.47	ID 3
E	302260.65	N	44455.77	H	12.64	ID 4
E	302313.05	N	44476.99	H	12.59	ID 5
E	302311.50	N	44447.77	H	12.54	ID 1
E	302283.07	N	44438.14	H	12.54	ID 2
E	302254.07	N	44429.50	H	12.50	ID 3
E	302260.52	N	44455.66	H	12.57	ID 4
E	302313.07	N	44476.90	H	12.62	ID 5
E	302311.53	N	44447.84	H	12.57	ID 1
E	302282.93	N	44438.29	H	12.62	ID 2
E	302254.13	N	44429.58	H	12.53	ID 3
E	302260.55	N	44455.72	H	12.61	ID 4
E	302313.10	N	44476.87	H	12.57	ID 5
E	302311.49	N	44447.84	H	12.59	ID 1
E	302283.02	N	44438.21	H	12.59	ID 2
E	302254.20	N	44429.61	H	12.50	ID 3
E	302260.60	N	44455.70	H	12.65	ID 4
E	302313.02	N	44476.92	H	12.63	ID 5
E	302311.48	N	44447.85	H	12.57	ID 1
E	302282.95	N	44438.21	H	12.54	ID 2
E	302254.44	N	44429.33	H	12.46	ID 3
E	302260.61	N	44455.65	H	12.61	ID 4
E	302313.17	N	44476.89	H	12.59	ID 5
E	302311.51	N	44447.75	H	12.52	ID 1
E	302283.04	N	44438.23	H	12.54	ID 2
E	302254.12	N	44429.48	H	12.42	ID 3

\*\*\* N. R. C. ANAPLOT PROGRAM \*\*\*

00:56:34

ENTER ANNOTATION FOLLOWED BY EMPTY LINE!

\*\*\*\*\*

## MESURES EFFECTUEES SUR LE MODELE COULEUR (ANAPLOT:OPERATEUR C)

\*\*\*\*\*

E	302312.98	N	44476.87	H	12.59	ID 5
E	302311.49	N	44447.77	H	12.50	ID 1
E	302283.08	N	44438.15	H	12.51	ID 2
E	302254.11	N	44429.48	H	12.50	ID 3
E	302260.58	N	44455.71	H	12.68	ID 4
E	302312.88*	N	44476.88	H	12.64	ID 5
E	302311.48	N	44447.78	H	12.57	ID 1
E	302282.94	N	44438.28	H	12.56	ID 2
E	302254.11	N	44429.54	H	12.56	ID 3
E	302260.56	N	44455.58	H	12.52*	ID 4
E	302313.01	N	44476.98	H	12.62	ID 5
E	302311.45	N	44447.79	H	12.58	ID 1
E	302283.00	N	44438.20	H	12.59	ID 2
E	302254.09	N	44429.59	H	12.58	ID 3
E	302260.61	N	44455.78	H	12.70	ID 4
E	302313.04	N	44476.87	H	12.68	ID 5
E	302311.47	N	44447.73	H	12.52	ID 1
E	302283.00	N	44438.13	H	12.56	ID 2
E	302254.16	N	44429.56	H	12.54	ID 3
E	302260.60	N	44455.61	H	12.63	ID 4
E	302313.08	N	44476.84	H	12.59	ID 5
E	302311.51	N	44447.74	H	12.51	ID 1
E	302283.00	N	44438.26	H	12.61	ID 2
E	302254.44	N	44429.35	H	12.47	ID 3
E	302260.65	N	44455.64	H	12.63	ID 4
E	302312.98	N	44476.87	H	12.66	ID 5

N.B.

UN \* A LA SUITE D'UNE MESURE INDIQUE QU'ELLE A ETE REJETEE

\*\*\* N. R. C. ANAPLOT PROGRAM TERMINATED, MODEL STORED \*\*\* 11:20:21

ORIENTATION PROTOCOL  
 MODEL NAME :PNST4350

P.M. 3 - PROGRAM  
 PAGE 3

=====

ORIENTATION EXTERNE DU MODELE NOIR ET BLANC SUR LE BC-I DE WILD

OUTER ORIENTATION

-----

RESIDUALS ON PHOTO COORD. (MICROMS)	H.C.					GROUND COORD. (METRES)		
PT.NO.	DXL	DYL	DXB	DYP	R.	DXB	DYB	IZB
28	1.8	.7	-1.8	-1.8	3.3	-.227	-.125	.344
27	.9	2.4	-1.2	-2.1	3.0	.088	.080	.182
01	.0	-.1	.0	.3	.3			
23	-2.8	.8	2.0	.1	4.6	.304	.101	-.343
24	.8	-1.7	-1.2	.9	3.3	-.138	.229	.035
02	-.1	-2.0	.1	2.2	4.1			
21	-.3	1.9	-.3	-2.1	4.0	-.003	.141	.038
03	-.1	-1.7	.0	1.7	3.4			
04	.0	-.1	.0	.0	.1			
208	.4	2.7	.6	-2.1	4.7	-.024	-.405	-.338
05	.1	1.2	-.1	-.9	3.1			
625	-1.6	-1.1	1.6	.3	3.6			-.125
350	1.4	1.0	-1.4	-1.0	3.5			.116
06	-.2	-3.9	.3	4.1	7.9			
RMS :					3.3	.129	.211	.205

ORIENTATION ELEMENTS AND THEIR STAND. DEVIATIONS

PHOTO NO	X0	Y0	Z0	OMEGA	PHI	KAPPA
49	301737.23	45128.92	1484.73	.484	1.687	67.603
	.27	.35	.25	.014	.111	.009
50	301494.89	44739.03	1484.73	.483	1.621	68.663
	.32	.34	.23	.014	.013	.009

ONE STEP ORIENTATION BY LEAST SQUARES ADJUSTMENT

STEP	ONE
NORMALIZED STD.DEV.	1.3
REDUNDANCY	22

		X	Y	H	FEN CODE
1	MESURES EFFECTUEES SUR LE MODELE NOIR ET BLANC (BC-I DE WILD)				OPERATEUR B
2	NB010002	302311.697	44448.040	12.883	5
3	NB010003	302311.850	44447.978	12.595 *	5
4	NB010004	302311.795	44448.035	12.854	5
5	NB010005	302311.762	44448.055	12.883	5
6	NB010006	302311.775	44448.002	12.864	5
7	NB010007	302311.819	44448.020	12.844	5
8	NB010008	302311.790	44448.117	12.873	5
9	NB010009	302311.748	44448.087	12.902	5
10	NB010010	302311.759	44448.068	12.883	5
11	NB010011	302311.829	44448.036	12.806	PT.1 5
12	NB010012	302311.829	44448.036	12.816	5
13	NB010013	302311.879	44447.971	12.652	5
14	NB010014	302311.890	44447.953	12.701	5
15	NB010015	302311.819	44448.020	12.921	5
16	NB010016	302311.895	44447.961	12.739	5
17	NB010017	302311.807	44447.982	12.806	5
18	NB010018	302311.835	44448.009	12.835	5
19	NB010019	302311.858	44447.973	12.720	5
20	NB010020	302311.812	44447.990	12.797	5
21	NB010021	302311.775	44448.002	12.692	5
22	NB030001	302254.449	44429.854	13.016	5
23	NB030002	302254.385	44429.860	13.007	5
24	NB030003	302254.389	44429.812	12.921	5
25	NB030004	302254.401	44429.795	12.844	5
26	NB030005	302254.391	44429.778	12.825	5
27	NB030006	302254.380	44429.762	12.883	5
28	NB030007	302254.366	44429.793	12.959	5
29	NB030008	302254.347	44429.816	13.074	5
30	NB030009	302254.381	44429.818	13.026	5
31	NB030010	302254.444	44429.756	12.825	PT.3 5
32	NB030011	302254.397	44429.752	12.873	5
33	NB030012	302254.385	44429.805	12.978	5
34	NB030013	302254.405	44429.837	13.064	5
35	NB030014	302254.362	44429.841	13.150	5
36	NB030015	302254.405	44429.837	12.959	5
37	NB030016	302254.443	44429.790	12.844	5
38	NB030017	302254.479	44429.757	12.844	5
39	NB030018	302254.454	44429.773	12.940	5
40	NB030019	302254.514 *	44429.724	12.730	5
41	NB030020	302254.379	44429.796	13.102	5
42	NB040001	302260.858	44455.864	12.997	5
43	NB040002	302260.917 *	44455.849	12.825 *	5
44	NB040003	302260.845	44455.860	13.054	5
45	NB040004	302260.874	44455.853	13.026	5
46	NB040005	302260.885	44455.836	12.940	5
47	NB040006	302260.896	44455.801	12.892	5
48	NB040007	302260.818	44455.854	13.045	5
49	NB040008	302260.801	44455.899	13.026	5
50	NB040009	302260.851	44455.834	12.988	5
51	NB040010	302260.840	44455.852	13.074	PT.4 5
52	NB040011	302260.836	44455.865	13.026	5
53	NB040012	302260.879	44455.862	12.921	5
54	NB040013	302260.844	44455.895	13.064	5
55	NB040014	302260.838	44455.987	13.045	5
56	NB040015	302260.804	44455.886	13.016	5
57	NB040016	302260.815	44455.859	13.026	5
58	NB040017	302260.845	44455.860	12.978	5
59	NB040018	302260.821	44455.841	13.016	5
60	NB040019	302260.807	44455.857	12.949	5

MASS POINTS MESURES EFFECTUEES SUR LE MODELE NOIR ET BLANC (BC-I DE WILD)  
PROJ. NAME: KCFI UNITS: METRES

FEAT. CODE X Y H PEN CODE

61	NB040020	302260.829	44455.836	12.978	5
62	NB050001	302313.245	44478.991 *	12.883 *	5
63	NB050002	302313.203	44477.085	13.054	5
64	NB050003	302313.178	44477.079	13.054	5
65	NB050004	302313.219	44477.075	13.083	5
66	NB050005	302313.189	44477.082	13.112	5
67	NB050006	302313.155	44477.080	13.093	5
68	NB050007	302313.179	44477.066	13.083	5
69	NB050008	302313.178	44477.044	13.074	5
70	NB050009	302313.220	44477.041	12.988	5
71	NB050010	302313.136	44477.104	13.179	5
72	NB050011	302313.209	44477.058	13.074	5
73	NB050012	302313.214	44477.067	12.082	5
74	NB050013	302313.254	44477.042	12.978	5
75	NB050014	302313.219	44477.075	13.102	5
76	NB050015	302313.222	44477.061	13.102	5
77	NB050016	302313.239	44477.107	13.045	5
78	NB050017	302313.159	44477.123	13.131	5
79	NB050018	302313.272	44477.067	12.997	5
80	NB050019	302313.218	44477.109	13.045	5
81	NB050020	302313.177	44477.134	13.112	5
82	NB110001	302311.403	44448.290	13.265	5
83	NB110002	302311.514	44448.288	13.207	5
84	NB110003	302311.465	44448.173	13.274	5
85	NB110004	302311.583	44448.291	13.153	5
86	NB110005	302311.601	44448.212	13.226	5
87	NB110006	302311.520	44448.262	13.133	5
88	NB110007	302311.542	44448.170	13.236	5
89	NB110008	302311.462	44448.096	13.179	5
90	NB110009	302311.634	44448.191	13.140	5
91	NB110010	302311.517	44448.185	13.188	5
92	NB110011	302311.472	44448.202	13.236	5
93	NB110012	302311.511	44448.121	13.150	5
94	NB110013	302311.474	44448.133	13.198	5
95	NB110014	302311.484	44448.150	13.198	5
96	NB110015	302311.417	44448.169	13.226	5
97	NB110016	302311.528	44448.167	13.133	5
98	NB110017	302311.503	44448.126	13.198	5
99	NB110018	302311.520	44448.116	13.226	5
100	NB110019	302311.550	44448.165	13.236	5
101	NB110020	302311.489	44448.248	13.265	5
102	NB130001	302254.289	44429.886	13.188	5
103	NB130002	302254.248	44429.946	13.198	5
104	NB130003	302254.240	44429.917	13.217	5
105	NB130004	302254.201	44429.907	13.236	5
106	NB130005	302254.261	44429.949	13.150	5
107	NB130006	302254.248	44429.946	13.265 *	5
108	NB130007	302254.249	44429.911	13.226	5
109	NB130008	302254.298	44429.847	13.188	5
110	NB130009	302254.230	44429.845	13.159	5
111	NB130010	302254.245	44429.869	13.150	5
112	NB130011	302254.233	44429.832	13.159	5
113	NB130012	302254.280	44429.926	13.140	5
114	NB130013	302254.200	44429.942	13.188	5
115	NB130014	302254.208	44429.847	13.179	5
116	NB130015	302254.337	44429.891	13.150	5
117	NB130016	302254.370 *	44429.836	13.207	5
118	NB130017	302254.190	44429.836	13.207	5
119	NB130018	302254.305	44429.966	13.140	5
120	NB130019	302254.288	44429.930	13.150	5

PT. 5

OPERATEUR B

OPERATEUR A

PT. I

PT. 3



## MESURES EFFECTUEES SUR LE MODELE NOIR ET BLANC (BC-I DE WILD:OPERATEUR A)

MASS POINTS		UNITS: METRES			
PROJ.NAME: KOFI		X	Y	H	PEN CODE
FEAT.CODE					
121	NB130020	302254.241	44429.882	13.140	5
122	NB140001	302260.557	44455.994	13.350	5
123	NB140002	302260.629	44455.893 *	13.284	5
124	NB140003	302260.605	44455.908	13.322	5
125	NB140004	302260.607	44455.930	13.379	5
126	NB140005	302260.556	44456.029	13.389	5
127	NB140006	302260.577	44456.026	13.427	5
128	NB140007	302260.662	44456.019	13.398	5
129	NB140008	302260.605	44455.998	13.331	5
130	NB140009	302260.535	44455.941	13.303	5
131	NB140010	302260.600	44455.956	13.312	PT.4
132	NB140011	302260.592	44456.051	13.370	5
133	NB140012	302260.540	44456.039	13.465	5
134	NB140013	302260.595	44456.038	13.436	5
135	NB140014	302260.543	44456.026	13.370	5
136	NB140015	302260.666	44455.972	13.370	5
137	NB140016	302260.646	44456.029	13.436	5
138	NB140017	302260.597	44456.059	13.398	5
139	NB140018	302260.662	44456.019	13.417	5
140	NB140019	302260.609	44456.007	13.446	5
141	NB140020	302260.680	44456.030	13.398	5
142	NB150001	302313.121	44477.225	13.274	5
143	NB150002	302313.101	44477.198	13.284	5
144	NB150003	302312.972 *	44477.184	13.284	5
145	NB150004	302313.104	44477.180	13.341	5
146	NB150005	302313.047	44477.159	13.284	5
147	NB150006	302313.107	44477.257	13.293	5
148	NB150007	302313.090	44477.211	13.274	5
149	NB150008	302313.115	44477.162	13.322	5
150	NB150009	302313.105	44477.146	13.236	5
151	NB150010	302313.106	44477.111	13.245	PT.5
152	NB150011	302313.077	44477.118	13.169	5
153	NB150012	302313.144	44477.099	13.169	5
154	NB150013	302313.213	44477.101	13.121	5
155	NB150014	302313.102	44477.159	13.159	5
156	NB150015	302313.165	44477.097	13.188	5
157	NB150016	302313.198	44477.222	13.207	5
158	NB150017	302313.151	44477.364 *	13.207	5
159	NB150018	302313.106	44477.201	13.274	5
160	NB150019	302313.114	44477.196	13.226	5
161	NB150020	302313.099	44477.082	13.226	5

N.B. UN \* A LA SUITE D'UNE MESURE INDIQUE QU'ELLE A ETE REJETE

ORIENTATION PROTOCOL  
 MODEL NAME :PCT4950

P M O - PROGRAM  
 PAGE 3

=====

ORIENTATION EXTERNE DU MODELE COULEUR SUR LE BC-I DE WILD

OUTER ORIENTATION  
 -----

RESIDUALS ON PT.NO.	PHOTO COORD.(MICRONS) DXL	DYL	DXR	DYR	AND PY	GROUND COORD.(METRES ) DXG	DYG	OZG
01	.1	3.2	-.2	-3.2	6.4			
02	-.0	-.8	.1	.9	1.6			
03	.0	-1.9	.2	1.9	3.7			
04	.1	.7	-.1	-.7	1.4			
05	-.1	-2.9	.1	2.6	5.4			
07	.1	2.8	-.4	-2.9	5.6			
08	-.1	-2.5	.1	2.5	5.2			
09	-.1	-2.0	.1	2.1	4.1			
39	-1.6	2.3	1.4	-1.6	4.9	.062	-.044	-.263
40	2.1	1.0	-1.6	-.9	4.2	-.048	-.142	.287
44	-.9	1.4	1.1	-1.9	3.9	-.146	.004	-.215
28	-.3	-.6	.9	.4	1.6	-.110	-.066	-.085
43	1.0	2.4	-2.2	-2.9	5.7	.222	.268	.270
10	-.0	-1.1	.1	1.3	2.4			
06	.1	3.1	-.2	-3.3	6.4			
350	-.1	-5.4	.2	5.5	11.0			.010
625	.0	.1	.0	-.4	.4			-.008
RMS :					4.3	.136	.142	.163

ORIENTATION ELEMENTS AND THEIR STAND.DEVIATIONS

PHOTO NO	X0	Y0	Z0	OMEGA	PHI	KAPPA
49	301746.59	45145.59	1484.17	.739	1.474	66.861
	.26	.37	.21	.015	.010	.008
50	301500.08	44748.57	1484.78	.785	1.360	67.925
	.26	.37	.22	.015	.011	.008

ONE STEP ORIENTATION BY LEAST SQUARES ADJUSTMENT

STEP	ONE
NORMALIZED STD.DEV.	1.3
REDUNDANCY	22

1	C0010001	302311.327	44448.230	12.840*	5
2	C0010002	302311.316	44448.248	12.925	5
3	C0010003	302311.240	44448.395	13.020	5
4	C0010004	302311.316	44448.248	13.020	5
5	C0010005	302311.226	44448.336	13.077	5
6	C0010006	302311.140	44448.323	13.162	5
7	C0010007	302311.388	44448.292	13.029	5
8	C0010008	302311.223	44448.350	13.086	5
9	C0010009	302311.246	44448.389	13.048	5
10	C0010010	302311.195	44448.412	13.209	5
11	C0010011	302311.246	44448.389	13.247	5
12	C0010012	302311.121	44448.402	13.247	5
13	C0010013	302311.214	44448.389	13.200	5
14	C0010014	302311.305	44448.321	13.020	5
15	C0010015	302311.195	44448.412	13.219	5
16	C0010016	302311.261	44448.393	13.228	5
17	C0010017	302311.361	44448.230	13.039	5
18	C0010018	302311.246	44448.279	13.200	5
19	C0010019	302311.208	44448.415	13.285	5
20	C0010020	302311.272	44448.375	13.181	5
21	C00 0001	302282.988	44438.470*	12.868	5
22	C00 0002	302283.067	44438.633	12.717	5
23	C00 0003	302282.980	44438.708	12.972	5
24	C00 0004	302282.970	44438.693	12.906	5
25	C00 0005	302283.113	44438.671	12.935	5
26	C00 0006	302283.061	44438.658	12.935	5
27	C00 0007	302282.933	44438.615	13.058	5
28	C00 0008	302283.090	44438.733	12.972	5
29	C00 0009	302283.024	44438.581	12.944	5
30	C00 0010	302282.946	44438.563	12.802	5
31	C00 0011	302282.993	44438.711	12.906	5
32	C00 0012	302283.056	44438.651	12.792	5
33	C00 0013	302282.994	44438.622	13.039	5
34	C00 0014	302282.933	44438.704	12.953	5
35	C00 0015	302282.892	44438.674	13.010	5
36	C00 0016	302282.913	44438.582	13.115	5
37	C00 0017	302282.983	44438.696	13.200	5
38	C00 0018	302282.914	44438.817	13.304*	5
39	C00 0019	302282.810*	44438.848*	13.124	5
40	C0020020	302283.014	44438.654	12.953	5
41	C0030001	302254.180*	44430.035	12.572	5
42	C0030002	302253.993*	44430.043	13.247*	5
43	C0030003	302254.051	44429.973	13.039	5
44	C0030004	302254.040	44429.992	12.897	5
45	C0030005	302254.117	44430.044	13.029	5
46	C0030006	302254.181	44430.004	13.001	5
47	C0030007	302254.181	44430.004	12.622*	5
48	C0030008	302254.112	44430.036	13.058	5
49	C0030009	302254.221	44429.924	12.802	5
50	C0030010	302254.168	44429.946	12.859	5
51	C0030011	302254.184	44429.935	12.953	5
52	C0030012	302254.143	44429.960	12.963	5
53	C0030013	302254.151	44430.045	13.048	5
54	C0030014	302254.164	44429.959	12.840	5
55	C0030015	302254.194	44429.952	12.707	5
56	C0030016	302254.225	44429.966	12.868	5
57	C0030017	302254.164	44429.959	12.918	5
58	C0030018	302254.174	44429.975	12.802	5
59	C0030019	302254.199	44429.960	12.811	5
60	C0030020	302254.166	44429.980	13.067	5

PT.1

PT.2

PT.3

## MESURES EFFECTUEES SUR LE MODELE COULEUR (BC-I DE WILD:OPERATEUR R)

MASS POINTS

PROJ.NAME: K03

UNITS: METRES

FEAT.CODE	X	Y	H	PEN CODE	
61	C0040001	302260.586	44456.149	13.039	5
62	C0040002	302260.579	44456.209	13.077	5
63	C0040003	302260.505	44456.144	13.143	5
64	C0040004	302260.463	44456.113	13.020	5
65	C0040005	302260.514	44456.160	12.982	5
66	C0040006	302260.473	44456.219	13.039	5
67	C0040007	302260.386*	44456.151	13.228	5
68	C0040008	302260.447	44456.303*	13.352*	5
69	C0040009	302260.570	44456.159	12.925	5
70	C0040010	302260.468	44456.211	13.067	5
71	C0040011	302260.569	44456.194	13.058	PT.4 5
72	C0040012	302260.429	44456.202	13.105	5
73	C0040013	302260.532	44456.260	13.143	5
74	C0040014	302260.470	44456.233	13.124	5
75	C0040015	302260.559	44456.177	12.972	5
76	C0040016	302260.550	44456.217	13.124	5
77	C0040017	302260.480	44456.159	13.247	5
78	C0040018	302260.463	44456.203	13.238	5
79	C0040019	302260.502	44456.157	13.200	5
80	C0040020	302260.501	44456.192	13.115	5
81	C0050001	302312.840	44477.357	13.124	5
82	C0050002	302312.799	44477.337	13.238*	5
83	C0050003	302312.614	44477.362	13.276*	5
84	C0050004	302312.998	44477.280	13.058	5
85	C0050005	302312.857	44477.323	12.944	5
86	C0050006	302312.560	44477.416	12.953	5
87	C0050007	302312.913	44477.377	12.830	5
88	C0050008	302312.765	44477.570*	13.043	5
89	C0050009	302312.772	44477.365	12.878	5
90	C0050010	302312.877	44477.176	13.023	PT.5 5
91	C0050011	302312.972	44477.184	12.849	5
92	C0050012	302312.850	44477.294	12.935	5
93	C0050013	302313.002	44477.143	13.029	5
94	C0050014	302312.861	44477.186	13.067	5
95	C0050015	302312.681	44477.310	13.124	5
96	C0050016	302312.582	44477.438	12.932	5
97	C0050017	302312.704	44477.328	12.953	5
98	C0050018	302312.835	44477.269	12.925	5
99	C0050019	302312.838	44477.257	12.925	5
100	C0050020	302313.003	44477.289	13.001	5

N.B. UN \* A LA SUITE D'UNE MESURE INDIQUE QU'ELLE A ETE REJETE

MASS POINTS MESURES EFFECTUEES SUR LE MODELE COULEUR (BC-I DE WILD)  
 PROJ.NAME: K02 UNITS: METRES OPERATEUR A  
 FEAT.CODE X Y H PEN CODE

FEAT.CODE	X	Y	H	PEN CODE	
1	00110001	302311.022	44448.329	13.390	0
2	00110002	302311.047	44448.513	13.532	0
3	00110003	302311.096	44448.539	13.475	0
4	00110004	302311.081	44448.515	13.523	0
5	00110005	302311.106	44448.499	13.551	0
6	00110006	302311.160	44448.444	13.542	0
7	00110007	302311.073	44448.519	13.494	0
8	00110008	302311.031	44448.434	13.551	0
9	00110009	302311.069	44448.567	13.599	0
10	00110010	302311.088	44448.399	13.513	0
11	00110011	302311.027	44448.336	13.475	PT.1
12	00110012	302311.087	44448.343	13.523	0
13	00110013	302311.109	44448.452	13.494	0
14	00110014	302311.103	44448.423	13.475	0
15	00110015	302311.093	44448.407	13.494	0
16	00110016	302311.136	44448.449	13.447	0
17	00110017	302311.016	44448.499	13.523	0
18	00110018	302311.150	44448.338	13.371 *	0
19	00110019	302311.066	44448.490	13.523	0
20	00110020	302311.094	44448.423	13.513	0
21	00120001	302282.844	44439.026	13.523	0
22	00120002	302282.504 *	44439.036	13.551	0
23	00120003	302282.768	44439.029	13.475	0
24	00120004	302282.594	44439.125	13.551	0
25	00120005	302282.646	44439.049	13.580	0
26	00120006	302282.773	44439.037	13.580	0
27	00120007	302282.733	44439.117	13.561	0
28	00120008	302282.692	44439.087	13.561	0
29	00120009	302282.749	44438.963	13.561	0
30	00120010	302282.714	44439.051	13.542	0
31	00120011	302282.667	44439.047	13.636	PT.2
32	00120012	302282.708	44439.022	13.532	0
33	00120013	302282.652	44438.967	13.542	0
34	00120014	302282.693	44438.903	13.523	0
35	00120015	302282.683	44439.126	13.655 *	0
36	00120016	302282.810	44439.025	13.523	0
37	00120018	302282.694	44439.108	13.613	0
38	00120019	302282.755	44439.026	13.570	0
39	00120020	302282.681	44439.105	13.589	0
40	00120017	302282.684	44438.914	13.494	0
41	00130002	302253.874	44430.171	13.532	0
42	00130003	302253.825	44430.201	13.513	0
43	00130004	302253.809	44430.301 *	13.523	0
44	00130005	302253.809	44430.212	13.475	0
45	00130006	302253.820	44430.193	13.504	0
46	00130007	302253.809	44430.212	13.599	0
47	00130008	302253.746	44430.162	13.570	0
48	00130009	302253.778	44430.142	13.523	0
49	00130010	302253.799	44430.196	13.570	0
50	00130011	302253.858	44430.181	13.523	0
51	00130012	302253.829	44430.244	13.561	PT.3
52	00130013	302253.708 *	44430.263	13.561	0
53	00130014	302253.825	44430.201	13.532	0
54	00130015	302253.814	44430.075	13.504	0
55	00130016	302253.877	44430.158	13.494	0
56	00130017	302253.873	44430.116	13.532	0
57	00130018	302253.783	44430.205	13.570	0
58	00130019	302253.899	44430.122	13.494	0
59	00130020	302253.974 *	44430.098	13.589	0
60	00130021	302253.874	44430.082	13.580	0

## MESURES EFFECTUEES SUR LE MODELE COULEUR (BC-I DE WILD:OPERATEUR A)

MASS POINTS		UNITS: METRES			
PROJ.NAME:	K02	X	Y	H	PEN CODE
FEAT.CODE					
61	00140001	302260.180	44456.266	13.608	0
62	00140002	302260.282	44456.359	13.589	0
63	00140003	302260.279	44456.317	13.646	0
64	00140004	302260.231	44456.402	13.437 *	0
65	00140005	302260.310	44456.241	13.466	0
66	00140006	302260.257	44456.319	13.523	0
67	00140007	302260.327	44456.287	13.570	0
68	00140008	302260.275	44456.275	13.542	0
69	00140009	302260.197	44456.401	13.608	0
70	00140010	302260.174	44456.382	13.608	0
71	00140011	302260.235	44456.355	13.485	PT.4
72	00140012	302260.264	44456.348	13.589	0
73	00140013	302260.282	44456.269	13.466	0
74	00140014	302260.320	44456.402	13.475	0
75	00140015	302260.282	44456.359	13.570	0
76	00140016	302260.220	44456.420	13.599	0
77	00140017	302260.210	44456.404	13.636	0
78	00140018	302260.199	44456.333	13.608	0
79	00140019	302260.238	44456.342	13.608	0
80	00140020	302260.121 *	44456.459	13.523	0
81	00150001	302312.696	44477.443	13.580	0
82	00150002	302312.696	44477.443	13.580	0
83	00150003	302312.869	44477.537	13.580	0
84	00150004	302312.876	44477.388	13.532	0
85	00150005	302312.800	44477.390	13.589	0
86	00150006	302312.812	44477.428	13.570	0
87	00150007	302312.632	44477.461	13.633	0
88	00150008	302312.694	44477.400	13.504	0
89	00150009	302312.720	44477.496	13.608	0
90	00150010	302312.705	44477.471	13.608	PT.5
91	00150011	302312.770	44477.432	13.638	0
92	00150012	302312.770	44477.432	13.627	0
93	00150013	302312.683	44477.184 *	13.627	0
94	00150014	302312.708	44477.403	13.693	0
95	00150015	302312.704	44477.272	13.684	0
96	00150016	302312.591	44477.342	13.703	0
97	00150017	302312.553 *	44477.388	13.608	0
98	00150018	302312.673	44477.347	13.532	0
99	00150019	302312.845	44477.319	13.655	0
100	00150020	302312.725	44477.415	13.618	0

N.B. UN \* A LA SUITE D'UNE MESURE INDIQUE QU'ELLE A ETE REJETE

## BIBLIOGRAPHIE

- ANDERSON, N.M., *Color and infrared Photography as a tool for Hydrographers*. Proceedings, 10th Annual Hydrographic Conference, 1971.
- BERRY, J.L., C.L. RUDDER, *Aerial Photography for Nearshore Water Depth Penetration*. Proceedings of 1972 Fall Convention, ASP, pp. 293-409.
- BONNOT, J.F., *Levés photo-bathymétriques et restituteurs analytiques*. Le Géomètre, No 10, 1983, pp. 51-55.
- BONNOT, J.V., *Contribution made by aircraft and photogrammetry towards the solving of common hydrographic and cartographic problems*. International Hydrographic Review, Monaco, LIX (2), July 1982, pp. 124-142.
- CURRENT, I.B., *A Blue-insentive Anschrome Aerial Film*. Proceedings of 35th Annual Meeting, ASP, pp. 43-54.
- DOYLE, F.J., *Digital Terrain Models; An Overview*. PE, Vol. 44, No. 12, Dec. 1978, pp. 1481-1485.
- FRITZ, L.W., C.S. SLAMA, *Future NOS Analytical Instruments for Photo-bathymetry*. Proceedings of Coastal Mapping Symposium, 1978, pp. 89-96.
- FRITZ, L.W., *NOSAP, a Unique Analytical Plotter*. ASP/ACSM Annual Convention, Washington D.C., 1978.
- GHOSH, S.K., P. PELLETIER, *La Photogrammétrie appliquée à l'hydrographie*. Rapport de Recherche, Département de photogrammétrie, Université Laval, mars 1984.
- HÖHLE, J., *Methoden and Instruments der Mehrmedien Photogrammetrie*. Invited Paper, Comm. II, 12th ISP Congress, Ottawa, 1972.
- HELEGESON, G.A., *Water Depth and Distance Penetration*. P.E., Feb. 1970, Vol. XXXVI, No. 2.
- KELLER, M., *A Study of Applied Photogrammetric Photo-bathymetry in the National Oceanic and Atmospheric Administration*. Proceedings of Coastal Mapping Symposium, 1978, pp. 45-54.
- KELLER, M., G.C. TEWENKEL, *Block Analytic Aerotriangulation*. ESSA Technical Report, CEGS 35, NOS, Rockville Md. 20852.

- KODAK DATA FOR AERIAL PHOTOGRAPHY, Publication M-29 de la Eastman Kodak Company, 5e édition, 1982.
- KREILING, W., *Einfache Auswertung von Zweimedien - Bildpaarern in Doppel - Projektoren*. Bul, Nov. 1970.
- LEUPIN, M., *La densification du réseau géodésique au Québec par photogéodésie*. Rapport de recherche, Département de photogrammétrie, Université Laval.
- LOCKWOOD, H.E., P. LINCOLN, G.H. SAVER, *Water Depth Penetration Film Test*. PE, Vol. XL, No. 11, Nov. 1974.
- MASRY, S.E., G. KONECNY, *New Programs for the Analytical Plotter* PE, Vol. XXXVI, No. 12, Dec. 1970, pp. 1269-1276.
- MASRY, S.E., *Measurement of Water Depth by the Analytical Plotter*. International Hydrographic Review, 1975.
- MASRY, S.E., S. MacRITCHIE, *Different Considerations in Coastal Mapping*. PE., Vol. 46, No. 4, April 1980, pp. 521-528.
- MASRY, S.E., *Coastal Mapping from a Sterio Model Established Using Inertial Platform Data: Error Analysis*. Dept. of Surveying Engineering, UNB, Technical Report No. 49, Dec. 1977.
- MASRY, S.E., J. GIBSON, A. D'AOUST, B. REID, *Application of Inertial Mapping to Coastal Mapping*. Proceedings of Coastal Mapping Symposium, Aug. 1978, pp. 17-34.
- MCCURDY, P.G., *Manual of Coastal Delineation from Aerial Photographs*. Hydrographic Office, U.S. Navy (1947).
- MEIJER, J.G., *Formula for Conversion of Stereoscopically Observed Depth of Water to true Depths, Numerical Examples and Discussion*. PE., Vol. XXX, Nov. 1964, pp. 1037-1045.
- OKAMOTO, A., *Wave Influences in Two Media Photogrammetry*. PE., Vol. 48, No. 9, Sept. 1982, pp. 1487-1499.
- RINNER, K., *Problems of Two-Medium Photogrammetry*. PE., Vol. XXXV, No. 3, March 1969, pp. 275-282.
- REID, D.B., S.E. MASRY, J. GIBSON, *An Inertially Aided Photo-bathymetry System*. First International Symposium on Inertial Technology for Surveying and Geodesy, 1977.
- SCHUT, G.H., *Review of interpolation methods for digital terrain models*. Invited paper, Commission III, ISP, Helsinki, 1976.

- SHMUTTER, B., L. BONFIGLIOLI, *Orientation Problems in Two-Medium Photogrammetry*. PE, Vo. 33, 1967, pp. 1421-1428.
- SWANSON, L.W., *Photogrammetric Surveys for Nautical Charting, use of color and infrared Photography*. (IV-3), International Archives of Photogrammetry, Vol. XIII, Part 5, Comm. III and IV.
- SCHALLOCK, G.W., *Metric Tests for Color Photography*. PE, October 1968, pp. 1063-1066.
- SLAMA, C.S., *Computer Aided Photobathymetry*. Proceedings of Coastal Mapping Symposium, 1978, pp. 97-106.
- TEWINKEL, G.C., *Water Depths form Aerial Photographs*. PE, Vol. XXIV, No. 6, Nov. 1963, pp. 1037-1042.
- UMBACH, M.J., *Color for Metric Photogrammetry*. PE, March 1968, pp. 265-272.
- VAN WIJK, M.C., *Discussion on Water Depths form Aerial Photographs*. PE, Vol. 30, No. 4, 1964, p. 647.
- VANDERHAVEN, G., *Data Reduction and Mapping for Photo-bathymetry*. Proceedings of Coastal Mapping Symposium, 1978, pp. 69-88.
- VARY, W.E., *A New Non-blue Sensitive Aerial Color Film*. Seminar Proceedings, New Horizons in Color Photography, ASP, 1969.
- WENDEROTH, S., *Hydrographic and Oceanographic Applications of Multispectral Color Aerial Photography*. Seminar Proceedings, New Horizons in Color Photography, 1969, pp. 115-126.

### 3.24 L'approche française

Le Service Hydrographique et Océanographique de la Marine française (SHOM) utilise, dans le cadre de son programme de cartographie côtière, l'équipement suivant : le stéréorestituteur analytique TRASTER T2 de Matra Optique piloté par un petit calculateur 64K, SOLAR 16 de la SEMS.

C'est en tenant compte des possibilités de pilotage en temps réel de la configuration qu'a été établi le modèle de restitution en milieux d'indices différents. Il n'était en effet pas question d'assurer simultanément les différentes tâches de contrôle du logiciel de base (voir EGELS et KIRSNER "Le logiciel TRASTER de l'Institut Géographique National") et le calcul en tout point des coordonnées-images corrigées des effets de réfraction au passage à travers la surface marine (cas d'un levé hydrographique).

C'est donc en collaboration avec l'Institut Géographique National (IGN) qu'une solution a été développée en reprenant l'idée de base de M.G. de Masson d'Autume (voir de Masson d'Autume "Le traitement géométrique des images de télédétection"). Ainsi au lieu de calculer en temps réel les coordonnées-images d'un point de l'espace par les formules exactes (formules qui sont différentes d'une géométrie à l'autre et qui - pour certaines d'entre elles - ne sont pas calculables dans un temps compatible avec le cycle des servo-moteurs du TRASTER) on interpole la fonction d'image dans une grille tridimensionnelle. On conçoit donc qu'un logiciel ainsi conçu permette de restituer des images dans une géométrie quelconque : il suffit alors d'écrire un modèle de programme calculant, pour chaque point objet de la grille, les coordonnées-images correspondantes. Il s'agit d'une approche très générale. En hydrographie, la solution consiste à préparer un couple formé, en lui associant au-dessus de la surface de la mer une grille de déformations dans laquelle seront interpolées

les corrections à appliquer. Le calcul de la grille se fait suivant la formulation de M.G. de Masson d'Autume avant la restitution proprement dite et non plus en temps réel. Dans la phase exploitation, l'opérateur se déplace librement dans le modèle mis en place, sans correction au-dessus du seuil d'altitude fixé, avec correction au-dessous. Ainsi la correction apportée à un point situé dans l'eau se calcule par interpolation linéaire entre les 8 points de la grille entourant le point considéré.

Un essai de simulation d'un couple à deux milieux au 1:10 000, focale 150 mm, a été effectué. On a donc pu comparer le résultat des formules rigoureuses avec l'interpolation dans une grille donnée. Les calculs ont montré que l'on conservait des écarts inférieurs à 4  $\mu\text{m}$  jusqu'à 62 m de profondeur avec la grille suivante : 8 x 8 en 4 niveaux séparés de 25 m (-50, -25, 0 et 25 m) les deux niveaux supérieurs ayant pour correction 0. A noter que les formules utilisées permettent l'extrapolation linéaire lorsqu'on sort du volume de la grille. Le modèle ainsi formé donne évidemment une correction nulle hors de l'eau (restitution des zones émergées). Les résultats obtenus sont donc pleinement satisfaisants (la grille occupe 4 K mots).

Le développement d'un modèle dérivé de l'approche française apparaît donc très intéressante. En effet, la simplicité du modèle ainsi que sa facilité de programmation le font ressortir comme étant une solution élégante au problème de la photo-bathymétrie.

On pourrait donc penser à un développement en deux parties :

- la première partie impliquerait la conception d'un programme qui permettrait la création de la grille tri-dimensionnelle d'interpolation. Plusieurs paramètres pourraient être introduits

ici : la tolérance requise en ce qui concerne la précision des profondeurs, l'indice de réfraction de l'eau, la hauteur de vol, etc. Ainsi selon les paramètres introduits par l'utilisateur, le programme créerait automatiquement une grille aux dimensions nécessaires à la satisfaction des exigences requises. C'est-à-dire que les distances entre les points varieraient selon les tolérances. Ainsi, dès la formation d'une telle grille, ses données seraient stockées sur le disque dur du stéréorestituteur analytique.

- la deuxième partie serait l'imbrication de la grille d'interpolation dans le programme en temps réel de compilation du stéréorestituteur. Du moment que la marque se trouve sous l'eau, il y aurait branchement à la sous-routine d'interpolation qui ferait appel à la grille formée en première partie pour calculer les corrections à apporter à la profondeur apparente du point situé sous l'eau.

Nous osons donc espérer que de tels développements informatiques fassent l'objet d'un prochain contrat de recherche du Service Hydrographique du Canada.