

Fiche pédagogique

PROFILOMETRIE PAR PROJECTION DE FRANGES - MOIRE

Niveau :

1^{ère} année de BTS systèmes photoniques.

Objectifs:

En possession des documents et des informations techniques complémentaires nécessaires, l'élève doit être capable de mettre en œuvre un système de contrôle dimensionnel par caméra intelligente et de déterminer le cadencement maximal des mesures.

- → Compétence C1.5 : Simuler et valider les solutions techniques
- \rightarrow Compétence C3.2 : Valider un système
- → Compétence C2.3 : Régler le système
- \rightarrow Compétences C3.1: Mettre en œuvre un système optique.

Forme :

TP de 6 heures, par binôme ou trinôme.

Pré-requis :

- Lecture de dossiers ressources.
- Connaissance en mathématiques, optique, mécanique, informatique et électronique.

Méthode :

On donne :	On demande :	On évalue :
 Un sujet de T.P., Un dossier technique. Les logiciels associés au TP Tout le matériel nécessaire à la mise en œuvre du système. 	 De faire l'analyse fonctionnelle du système. De mettre en œuvre le système. D'analyser les performances du système. 	 La compréhension du principe des images phasées. La mise en œuvre du sys- tème. L'analyse des résultats obte- nus lors de la mise œuvre du système. L'attitude, l'autonomie. Le résultat obtenu. Le respect des règles de sé- curité La présentation du compte rendu.



Profilométrie par projection de franges - Moiré

1 Élémente à votre disposition	Liste du matériel
1. Elements a volre disposition	Objets à étudier
1.1. Matériel Voir liste du matériel.	Réglet Ecran Éléments mécaniques de liaison (noix, blocs magnétiques, support 3D) Lentille objecti (f = 16 mm) Séparatrice Laser He-Ne λ = 632.8 nm Miroir
1.2. Logiciels Voir liste des logiciels.	Platine de translation à déplacement piézo-électrique Alimentation pour piézo Caméra CCD avec objectif Système range Vision Spectrum Micro-ordinateur

1.3. Documentation

Voir liste de la documentation.

Liste des logiciels VisulmLV 2 ScanCenter NG Excel

Liste de la documentation Vidéo spectrum-3d-scanner-calibration.mp4 Dossier technique

2. Présentation du contexte

Mesurer sans contact la forme d'un objet existant présente un grand intérêt, aussi bien en ingénierie que dans d'autres secteurs d'activité (médecine, arts, biens de consommation, contrôle de qualité, topographie, fabrication, archéologie etc.). En effet, cela permet d'effectuer des mesures rapides sans endommager ni déformer l'objet à mesurer.

L'objectif de ce TP est de mesurer la forme d'un objet, sans contact, pour obtenir les coordonnées tridimensionnelles d'un grand nombre de points.

Le relief de l'objet est une fonction décrivant l'altitude z = f(x,y) du point de la surface. Pour ce faire, on projette des lignes sur la surface à étudier. La façon dont elles sont déformées par cette surface permet d'en déduire le relief.

Problématique :

Il s'agira, à la fin du TP, de numériser le visage en plâtre mis à votre disposition et d'en déterminer la distance entre les deux yeux.

3. Analyse du système :

3.1. Comparaison de systèmes industriels existants :

- Optosurf de EOtech
- 🜲 3Dskin de BioPhyMED
- Range vision spectrum
- Symcad de Telmat





Dans *le dossier technique*, consulter la documentation des constructeurs Eotech, BioPhyMED, Range Vision, Telmat.

Renseigner le tableau comme sur l'exemple donné dans la dernière colonne du Tableau 1.

En profilométrie par la technique de projection de franges, quel critère oblige, selon vous, à utiliser un interféromètre plutôt qu'un vidéo projecteur ? Expliquer la réponse.

	Microscope interféro- métrique	Microscope à projec- tion de franges	3D Skin Analyzer	Range Vision Spec- trum	Symcad
Entreprise	Eotech	Eotech	BioPhyMED	Range vision	Telmat
Source lumière					Sources blanches
Champ de mesure					2mX2m
Mesurandes ; ap- plications					Métrologie du corps humain
Résolution en z					0,1 mm

Tableau 1 : caractéristiques de quelques systèmes industriels

3.2. Projection de franges

Dans la mise en œuvre, nous utiliserons un **interféromètre**. Les lignes seront alors des franges au profil d'énergie sinusoïdal dont on pourra choisir le pas (interfrange) p_0 lorsqu'elles sont reçues sur un plan perpendiculaire à la direction de projection.

Projetées avec une incidence θ sur un plan de référence, les lignes dessineront un réseau de pas p :

$$p = \frac{p_0}{\cos \theta}$$

Les franges sont observées par une caméra CCD dans une direction perpendiculaire au plan de référence.

Projetées sur l'objet d'étude, les franges seront déformées par le relief.

3.2.1. L'interféromètre

Le faisceau laser arrive sur une séparatrice placée sur une platine Pi. L'incidence est de 45°.

La séparatrice Sp et le miroir Mi donnent deux faisceaux formant entre eux un petit angle α .

La lentille objectif de focale f forme dans son plan focal deux sources S_1 et S_2 distantes de a = α f.

A distance D sur un écran on obtient des franges rectilignes de pas p₀ (interfranges) : $p_0 = \frac{\lambda D}{\alpha f}$

Remarque : On peut aussi considérer que les deux faisceaux forment des franges d'interfrange $i = \frac{\lambda}{2}$. La

lentille objectif réalise ensuite un grandissement transversal $|G| = \frac{D}{f}$.

On utilise un objectif de focale 16 mm. De quelle distance D disposez-vous sur votre plan de travail ? Quel grandissement pouvez-vous obtenir? On veut obtenir des franges de pas $p_0 \approx 1,5$ mm, quel angle α faut-il choisir?

On dispose de 350 mm entre Sp et Obj, à quelle distance de la séparatrice faut-il placer le miroir Mi? (La longueur d'onde est $\lambda = 0.63 \mu m$).



cadre 1 : Principe du montage.

3.2.2. Le décalage des franges

Les chemins optiques SpS_1 et $SpMiS_2$ sont différents. Les sources S_1 et S_2 sont donc déphasées.

Lorsqu'on déplace la séparatrice Sp d'une distance x par la platine à déplacement piézo-électrique (voir le schéma du

cadre 3), le chemin optique SpS_1 reste inchangé mais le chemin $SpMiS_2$ est modifié.

Cette variation du chemin SpMiS₂ est due au petit angle β entre la direction de déplacement de la platine et celle du plan de Sp.

Compléter le schéma du Cadre 4 présentant les positions finale et initiale de Sp. Tracer les rayons réfléchis et transmis par Sp en position Sp2 et indiquer sur le schéma la variation de chemin optique δ lorsque le déplacement de la platine est x.

On démontre que $\delta = \sqrt{2} x \sin(\beta)$. On choisit un angle $\beta = 5^{\circ}$. Quel déplacement x faut-il réaliser pour obtenir $\delta = 0,63 \,\mu\text{m}$? On suppose que le déplacement x est produit par une variation de tension U imposée au cristal piézo-électrique. Le cristal se déplace de 25 μ m pour une tension de 100V.

Quelle variation de tension est nécessaire si le déplacement x est fonction linéaire de U ?



cadre 2 : L'interféromètre à deux ondes.



Cadre 3 : Schéma à compléter : représenter les rayons transmis et réfléchis lorsque la séparatrice, après déplacement x, est en position Sp2. Marquer en couleur la variation de chemin δ .



cadre 4 : Montage interférométrique.

3.2.3. Projection des franges sur un profil

Pour déterminer le relief d'un objet, on compare la forme des franges sur sa surface à la forme des mêmes franges sur un plan de référence.

Sur le plan de référence, l'intensité au point d'abscisse x (le long d'une ligne perpendiculaire au franges) est I=I₀(1 + C*cos($\varphi_{réf}$)) où I₀ est l'intensité moyenne, C le contraste des franges et $\varphi_{réf}=2\pi x/p$ est la phase sur le plan de référence, avec p=p₀/cos(θ).

Sur l'objet dont on veut mesurer la hauteur du profil z, la phase est $\phi_{obj}=2\pi(x+z^*tan(\theta))/p$.

La différence des phases de l'objet et de la référence est proportionnelle à la hauteur du relief :

 $\Phi_{obj}-\phi_{ref}=2\pi z^{tan}(\theta)/p.$

Comment varie le pas des franges vues par la caméra dans le cas d'un profil de pente positive (1) ou de pente négative (2) ?

Calculer p pour $p_0 = 1,50$ mm et $\theta \approx 20^\circ$.

Calculer le changement d'altitude Δz qui provoque un déphasage de 2π .

3.3. Le décalage de phase

Nous avons vu dans la partie précédente que pour déterminer le profil z d'une surface, il faut mesurer φ_{obj} - $\varphi_{réf}$. Pour cela, il faut mesurer chaque phase séparément, puis faire la soustraction. Malheureusement, on ne peut pas déduire la valeur de la phase à partir d'une seule image des franges. La technique que nous allons utiliser à besoin de quatre images, décalées d'un quart de frange l'une par rapport à l'autre. Pour décaler les franges, il suffit de déplacer la lame séparatrice à l'aide de son support piézoélectrique.

Les intensités des quatre images ont pour expression : $I_{00} = I_0 \big(1 + C \cos(\phi(x,y)) \big)$

$$I_{90} = I_0 \left(1 + C \cos \left(\phi(\mathbf{x}, \mathbf{y}) + \frac{\pi}{2} \right) \right)$$
$$I_{180} = I_0 \left(1 + C \cos \left(\phi(\mathbf{x}, \mathbf{y}) + \pi \right) \right)$$
$$I_{270} = I_0 \left(1 + C \cos \left(\phi(\mathbf{x}, \mathbf{y}) + \frac{3\pi}{2} \right) \right)$$

Il s'agit d'un système de quatre équations dont on peut déduire la phase $\phi(x,y)$ en tout point de la surface (modulo 2π).

L'opération $\varphi^{*255/2\pi}$ donne l'**image phasée** où l'éclairement de chaque point est l'image de sa phase (exprimée en niveaux de gris NG modulo 256).

La différence des images phasées $\varphi_{Obj} - \varphi_{Réf}$ permet d'obtenir le profil de l'objet (en NG modulo 256). La démodulation permet d'obtenir le profil en NG.

L'étalonnage permet d'obtenir le profil z en µm.

cadre 5 : Projection de franges



cadre 6 : Projection de franges sur un plan



3.4. Emploi du logiciel VisulmLV2

La manipulation suivante a pour but de vous familiariser avec VisulmLV2.

Nous supposons que l'on projette des franges (à profil sinusoïdal) sur un plan horizontal (Image 1) puis sur le même plan incliné (Image 2) – cadre ci-contre.

- Ouvrir le fichier VisuimLV2
- Génération d'une image phasée (image de référence) :

Faire IMAGES/Générer 4 mires sinusoïdales, sélectionner un pas de <u>20 pixels</u>, m=1 et Imoy = 127 puis valider les paramètres.

Cela simule quatre images de référence décalées.

Faire IMAGES/Calculer l'image phasée manuellement pour calculer l'image phasée sans filtrer le numérateur et le dénominateur de l'atan, la sauvegarder sous *XXImPhas20.jpg* en cliquant sur FICHER/Enregistrer une Image.

Fermer les images I0, I90, I180 et I270.

• Génération d'une image phasée *ImPhas25* (plan incliné par rapport au plan de référence : image objet) :

Faire IMAGES /Générer 4 mires sinusoïdales, sélectionner un pas de <u>25 pixels</u> m=1 et Imoy = 127 puis valider les paramètres.

Cela simule 4 images objet (objet = plan incliné) décalées.

Faire IMAGES/Calculer l'image phasée automatiquement pour calculer l'image phasée sans filtrer le numérateur et le dénominateur de l'atan, la sauvegarder sous *XXImPhas25.jpg* en cliquant sur FI-CHER/Enregistrer une Image.

Fermer les images 10, 190, 1180 et 1270.

• Calcul de la différence des images :

Sous OPERATION SUR LES IMAGES/Opérations mathématiques/Soustraction modulo 256, faire la soustraction modulo 256, la sauvegarder sous *XX* soustraction25_20.jpg en cliquant sur FICHER/Enregistrer une Image.

• Démodulation de l'image :

Sous OPERATION SUR LES IMAGES/Démoduler, démoduler l'image. La sauvegarder sous XXImDemodM7.jpg en cliquant sur FICHER/Enregistrer une Image.

• Conclusions :

Sur les images *XX*soustraction25_20.jpg et *XXImDemodM7.jpg*, tracer un profil horizontal avec la souris en cliquant sur OPERATION SUR LES IMAGES/Profil d'une image. En analysant l'image *XX*soustraction25_20.jpg, donner la signification du paramètre M = 7 affiché lors de la démodulation. Conclure.

À partir du document technique, répondre aux questions suivantes :

Comment sont représentées les valeurs de $\varphi = \frac{2\pi\delta}{\lambda} = \frac{4\pi x}{\lambda}$

• sur l'image **XX**soustraction25_20.jpg ?

• sur l'image XXImDemodM7.jpg?

Faire appel à un professeur pour expliquer vos conclusions.



Moiré

3.5. Analyse fonctionnelle

Diagramme de cas d'utilisations :



Compléter le diagramme de blocs :





4. Mise en œuvre du système :

4.1. Montage à réaliser



cadre 7 : Le montage

Disposer les éléments du montage conformément au cadre ci-dessus. On veillera à respecter les consignes suivantes :

- L'écran ou l'objet d'étude sera placé à distance D ≈ 1,50 m de l'objectif de focale 16 mm.
 - La séparatrice, placée sur la platine piézo sera disposée à environ 350 mm de l'objectif. Elle reçoit le faisceau à l'incidence 45°.
 - L'angle entre le plan de la séparatrice et la direction de déplacement est petit $\beta \approx 5^{\circ}$
 - Le miroir Mi est proche de Sp : Sp-Mi ≈ 10 à 15 mm.
 - L'écran sur lequel est fixé l'objet est placé sur un support à déplacement micrométrique.
 - La caméra observe l'écran dans une direction normale au plan de l'écran et faisant un angle θ ≈ 20° par rapport à la direction de projection des franges.
 - Compléter votre montage par les liaisons au micro-ordinateur de l'alimentation du piézo et de la caméra CCD.
 - Vérifier que l'alimentation du piezo est en mode LINE

Ouvrir le logiciel *VisuImLV2*, choisir la caméra utilisée. Il permet le pilotage de la tension d'alimentation du piézo, l'acquisition et le traitement des images puis l'interprétation des résultats.

Montrer le montage à un professeur.

4.2. Décalage de phase

Dans DEPLACEMENT MANUEL/Piezo alimentation 0-100 ou 500V, choisir le port série sur lequel est branchée l'alimentation du piezo. Cliquez sur le bouton TRACER LA COURBE : Luminance = f(Upiezo). (Le logiciel va faire varier la tension de 0 à 5V et calculera en même temps la luminance d'une partie de l'image en fonction de cette tension). Chaque maximum de la courbe correspond au sommet d'une frange. Déterminer la tension U_{piézo} en V correspondant au à quelques interfranges. Complétez le tableau 2.

Moiré

Recommencer 2 fois en recliquant sur le bouton TRACER LA COURBE : Luminance = f(Upiezo). En déduire la variation de tension U nécessaire pour passer d'une frange à la suivante puis sortir.

Mesure n°	1	2	3	Моу.
N (interfranges)				
U (V)				

tableau 2 : décalage de phase

Déduire du tableau 2 la variation de tension qui permet un déphasage de $\pi/2$; π ; $3\pi/2$. Enregistrer votre tableau 2 sous *moire2.xls*.

4.3. Acquisition d'une image phasée. Profil.

Dans IMAGES choisir Capturer 4 images

Introduire les paramètres permettant d'obtenir les déphasages de $\pi/2$ entre images successives.

Calculer l'image phasée en cliquant sur IMAGES/Calculer l'image phasée automatiquement.

Enregistrer l'image phasée sous : XX*Réf_phasée.jpg* cliquant sur FICHER/Enregistrer une Image.

Placer l'objet sur le plan de référence et réaliser l'image phasée de l'objet en utilisant le même mode opératoire et enregistrer l'image sous XX*Obj_phasée.jpg*.



cadre 9 : Mesure de p ; étalonnage en xy.

Cliquez sur Soustraction modulo 256 dans OPERATION SUR LES IMAGES/Opérations mathématiques pour soustraire XXObj_phasée.jpg - XXRéf_phasée.jpg.

Enregistrer sous XX*DifPhase.jpg*. <u>C'est l'image soustraction qui nous intéresse maintenant</u>. Fermer toutes les autres images.

Sous OPERATION SUR LES IMAGES/Créer un masque pour la démodulation, dessiner à la souris une zone rectangulaire qui contient la zone intéressante de l'image (pyramide, sphère, ...).voir *cadre ci-contre*.

Poursuivre par OPERATION SUR LES IMAGES/Démoduler.

Noter le nombre de sauts de phase M calculé par le logiciel (c'est la valeur juste après le M dans la barre du nom de l'image (Imagedemod_M « nombre de saut de phase »_X).

Enregistrer l'image démodulée sous XXdémod.jpg en cliquant sur FICHER/Enregistrer une Image.

Faire une visualisation 3D cliquant sur OPERATION SUR LES IMAGES / Visualisation 3D.

Montrer à un professeur.

5. Analyse des performances du système :

5.1. Etalonnage en x et y

Dans ACQUISITION/Live, placer le réglet pour qu'il soit dans le champ de la caméra puis sortir (voir cicontre).

Sous OPERATION SUR LES IMAGES/ Etalonner

/ En x et y, capturer une nouvelle image, tracer une ligne horizontale sur une largeur connue puis indiquer sa valeur en mm, reporter l'échelle calculée.



cadre 8 : Masque rectangulaire sur DifPhase.jpg

5.2. Etalonnage en z

Dans ACQUISITION/Live, placer le curseur de la souris sur une frange. Déplacer le plan de référence à l'aide de la vis micrométrique. Evaluer la valeur du déplacement qui a permis d'atteindre la frange suivante : cela correspond à un déplacement Δz (un tour du micromètre = 0.5 mm). Refaire cette opération 5 fois pour compléter le tableau.

_						
9	Mesure n°	1	2	3	4	5
l à	Δz					
-	∆z moyen =		n	nm		
	∆z calculé =	=	. mm			



Sous OPERATION SUR LES IMAGES/ Etalonner / En z choisir MOIRE puis choisir Δz connu, rentrer

la valeur mesurée, cliquer sur OK pour calculer l'échelle en z. Complétez le tableau ci-contre. Faire plusieurs essais.

Compléter le tableau :

Calculer $\Delta z = \frac{p}{\tan(\theta)}$ en utilisant votre valeur de θ . Vérifier l'accord entre la valeur mesurée et calculée.

5.3. Mesure de l'altitude

Ouvrir sous VisuimLV2 votre image "démodulée.jpg ". Sous FICHIER/ Lire une image sélectionner l'image dé-

modulée XXdémod.jpg. Entrer la valeur de M puis sortir.

Sous OPERATION SUR LES IMAGES/Etalonner/En Z choisir Moiré puis entrer Δz puis sortir.

Sous OPERATION SUR LES IMAGES/Profil d'une

image mesurer l'altitude du sommet de la pyramide ou d'autres points connus (compléter le tableau ci-dessus). Enregistrer votre tableau sous moire2.xls. Rappelez la valeur de M et de Δz.

Point choisi	Sommet Pyramide	Sommet Petite Sphère	Sommet Grande Sphère
Altitude du			
point (mm)			
Tableau 3	: altitude d	le unelune	s noints

Tableau 3 : altitude de quelques points

5.4. Numérisation du visage :

A l'aide du même montage, remplacer la pyramide par le visage puis numériser celui-ci. Quelle est la distance entre les deux yeux ?

5.5. Résolution, fiabilité

Lorsque le relief est très accentué, des zones d'ombre peuvent apparaître faisant disparaître les franges (C = 0). Cette ombre apparaîtra sur toutes les images I_0 , I_{90} , I_{180} , et I_{270} de l'objet.

Comment peut-on agir sur l'angle θ de projection pour éviter cette ombre totale ? Quel inconvénient cette solution entraîne-t-elle ?

5.6. Système industriel Range vision spectrum

Le système est composé de deux caméras et d'un vidéoprojecteur (pour faire les franges) :



Pour utiliser ce système, il faut commencer par faire une calibration.

Visualiser la vidéo spectrum-3d-scanner-calibration.mp4 dans le zip des fichiers nécessaires pour le TP et donner les grandes étapes de la calibration.

La calibration pouvant être longue, celle-ci a déjà été faite.

Démarrer le logiciel Scan Center NG et vérifier que les caméras, le projecteur, la clé de licence, le support rotatif soient bien installés (ils ne doivent pas être grisés) et que la calibration avec la zone S a été effectuée sinon appeler un professeur.

Rangevision Calibrated for scanning Spectracion Calibrated for scanning Hardware status Configure for new area Calibrate Calibrate Calibrate Calibrate Precise current calibration Precise current calibration Date 2021-08-09 Time 16:46:08 Plate name Plate 8 Plate size Plate size
Hardware status Configure for new area With markers Image: Cameras Calibrate Image: Cameras Image: Cameras Image: Projector Date 2021-08-09 Recent projects Image: License key Plate name Plate S Renard 2021-08-11
Hardware status Configure for new area Image: Cameras Calibrate Image: Projector Precise current calibration Image: Projector Date 2021-08-09 Image: License key Plate name Plate S Image: Plate s Of 500 mm 001
Calibrate With a turntable Calibrate With a turntable Calibrate With a turntable Calibrate Open project Precise current calibration Open project Projector Date 2021-08-09 Time 16:46:08 Plate name Plate S Recent projects 2021-08-11
Image: Cameras Precise current calibration Image: Open project Image: Projector Date 2021-08-09 Recent projects Image: License key Plate name Plate S Image: Renard 2021-08-11
Projector Date 2021-08-09 Recent projects Time 16:46:08 Enard 2021-08-11 License key Plate name Plate S E Renard 2021-08-11
License key Plate name Plate S Renard 2021-08-11
License key Plate name Plate S Renard 2021-08-11
Dista size 04 500 mm 201
Plate size 94.509 http; 22 ↓ Turntable Plate material AL composite ◆ tests 2021-08-09 Temperature 24*
Precision 0.076 pix
C Update Scan counter 45 Scan mode

Sélectionner New Project With a turntable



Placer le renard à scanner au milieu du plateau tournant et déplacer le tout si nécessaire afin qu'il soit en entier et au milieu de l'image de chaque caméra.

Entrer le nom de projet Renard_nom, choisir le répertoire de stockage en cliquant sur Browse puis continue.



Cliquer sur Stripes afin d'afficher des franges sur le renard puis régler l'ouverture de chaque caméra afin d'être à la limite de saturation (apparition de zones rouges si saturation) puis la netteté de chaque image en réglant la mise au point. Cliquer sur Turnable pour définir le pas angulaire de scann.



Nous allons faire 8 acquisitions soit une tous les 45° pour cela mettre 8 dans Positions et cliquez sur Scanning.



Démarrer le scanning en cliquant sur Start Scanning.



On peut obtenir plusieurs nuages séparés, il faut les fusionner, il faut aller dans Processing puis Registration.



Cliquer sur Manually

Sélectionner dans l'arbre avec la souris, shift et bouton gauche les éléments fixes (Target) puis valider par confirm selection (ils sont bleus dans l'arbre et afficher dans la scène de gauche)

Sélectionner dans l'arbre avec la souris, shift et bouton gauche les éléments à déplacer (Moved) puis valider par confirm selection (ils sont affichés dans la scène de droite)



A l'aide de la souris et de la touche Alt sélectionner un point commun dans la scène de gauche puis dans celle de droite trois fois. On constate en bas que les nuages se combinent correctement. Valider par register all.

Pour affiner ce recalage, cliquer sur Global Registration .

Reste à supprimer le bruit. Pour cela sélectionner Cleaning, choisir 10 pour la taille des éléments à supprimer puis Sélectionner dans l'arbre tous les nuages de points (surligné en rose) puis Remove puis save.



S.T.S Systèmes Photoniques - Lycée Jean Mermoz - 68300 SAINT-LOUIS 13/18





Création du modèle, pour cela sélectionner Model, n'activer aucune option puis GENERATE MODEL











Sélectionner l'option, Fill hole with plane et sélectionner trois points dans la scène à l'aide de la touche Alt et le bouton gauche de la souris puis cliquer sur Trim.







Faut inverser, pour sélectionner la partie inférieure à supprimer puis Remove. Puis sélectionne YZ et Align.



Maintenant nous pouvons mesurer des distances sur la pièce. Pour cela, il faut commencer par créer un point puis un plan. Choisir l'onglet Measurement.



Choisir le point, cliquer avec la touche Alt enfoncé et le bouton gauche de la souris, le point dans la scène puis Dectect (il apparait en rouge dans la scène)



S.T.S Systèmes Photoniques - Lycée Jean Mermoz - 68300 SAINT-LOUIS 16/18 TP2D



Moiré



Choisir le plan, cliquer avec la touche Alt enfoncé et le bouton gauche de la souris, les 3 points dans la scène puis Dectect (il apparait en rouge dans la scène).





Sélectionner Measure puis distance point/plan et sélectionner dans l'arbre le plan et le point puis Measure





On obtient : Faire une capture de votre résultat.



5.7. Problématique du TP

A l'aide du même montage, remplacer le renard par le visage puis numériser celui-ci. Quelle est la distance entre les deux yeux ? Comparer celle-ci à la question 5.4.

5.8. Pour aller plus loin

Numériser la pyramide avec les deux sphères ? Mesurer l'altitude des différents points et comparer les à la question 5.3.