

Fiche pédagogique

Déplacement d'un miroir par effet Piézo-électrique

Niveau :

2^{ème} 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.

- C1.1 : Analyser un cahier des charges
- C1.2 : Définir l'architecture fonctionnelle d'un système
- C1.3 : Proposer des solutions techniques
- C1.5 : Simuler et valider les solutions techniques
- C2.1 : Assembler les composants
- C2.3 : Régler le système
- C3.1 : Mettre en œuvre un système optique
- C3.2 : Valider un système
- C5.3 : Synthétiser des données techniques.

Forme :

TP de 8 heures, par binôme ou trinôme.

Pré-requis :

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

Méthode :

On donne :

- Un sujet de T.P.,
- Un dossier technique.
- Les logiciels associés au TP
- Tout le matériel nécessaire à la mise en œuvre du système.

On demande :

- De faire l'analyse fonctionnelle du système.
- De mettre en œuvre le système.
- D'analyser les performances du système.

On évalue :

- La compréhension du fonctionnement d'un piezo asservi.
- La mise en œuvre du système.
- L'analyse des résultats obtenus lors de la mise œuvre du système.
- L'attitude, l'autonomie.
- Le résultat obtenu.
- Le respect des règles de sécurité
- La présentation du compte rendu.

SYSTÈME DE MESURE INTERFÉROMÉTRIQUE

1. ANALYSE FONCTIONNELLE DU SYSTÈME

1.1. Éléments à votre disposition

- 1.1.1. Matériel
- 1.1.2. Documentation
- 1.1.3. Logiciels

Liste du matériel

Interféromètre de Michelson sur microbanc constitué de :

- Laser He-Ne + aliment.
- Miroir
- Cubes séparateurs
- Lentille $f' = 20$ mm
- Lames $\frac{1}{4}$ onde
- Polariseurs
- Éléments mécaniques de liaison et de réglage

Récepteurs à fibres
Boîtier électronique
Compteur Métrologic
Miroir à déplacement piézo (à étudier) + alimentation + jauge de déformation
Pont extensométrique
Micro-ordinateur
Module USB 6009
Oscilloscope analogique
Imprimante

cadre 1

Liste de la documentation

Dossier technique

cadre 2

Liste des logiciels

Piezo
Labview
Excel

cadre 3

1.2. Introduction - Problématique

On utilise un interféromètre de type Michelson donné **cadre 5** qui permet la mesure de variations de chemins optiques. On le mettra en œuvre pour étudier le déplacement par effet piézo-électrique d'un miroir, puis pour étudier la réponse en tension d'une jauge de déformation.

Nous contrôlerons enfin l'asservissement du déplacement du miroir par la tension de jauge.

Le système est fourni monté (à l'exception du bras de mesure), mais non réglé. Nous étudierons son principe par comparaison au système CSO commercialisé. Sa mise en œuvre nécessite certains réglages fins et raisonnés du montage optique ainsi que du comptage électronique. La commande de la tension d'alimentation de Mpz, l'acquisition de la réponse de la jauge et celle du compteur sont assurés par le logiciel *Michel*, de même que le traitement des résultats et l'asservissement.

Dans la salle B008, nous avons un microscope interférentiel qui permet de mesurer des rayures sur des surfaces polies en mode PSI. La méthode PSI (phase shifting interferometry) s'apparente au Moiré par projection de franges avec décalage de phase. Ce décalage de phase est réalisé à l'aide d'un piézo, le déplacement de celui-ci est de $0.079 \mu\text{m}$ pour chaque déphasage de $\pi/2$.

Est-ce que l'ensemble piézo + système de mesure du TP permettrait de réaliser la fonction du microscope interférométrique? (Réponse à donner en fin de l'étude d'analyse des performances).

1.3. Travail demandé

1.3.1. Analyse fonctionnelle

Diagramme de cas d'utilisation

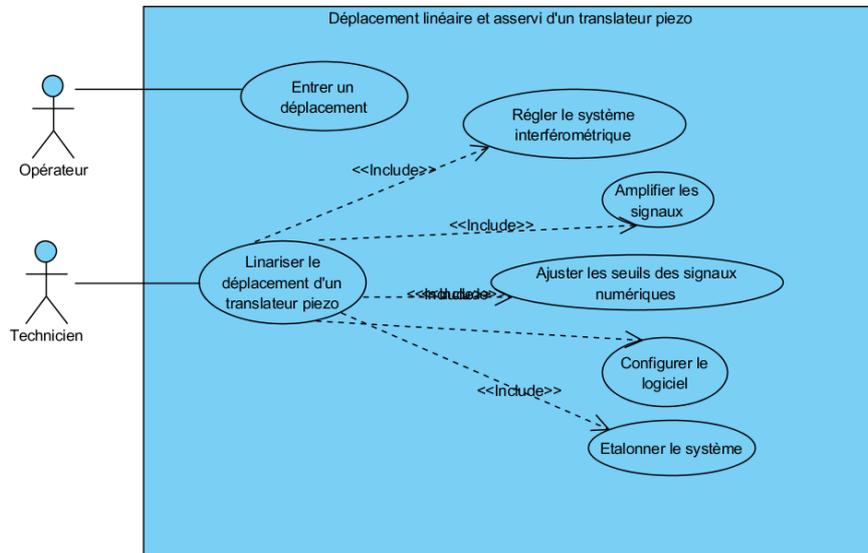
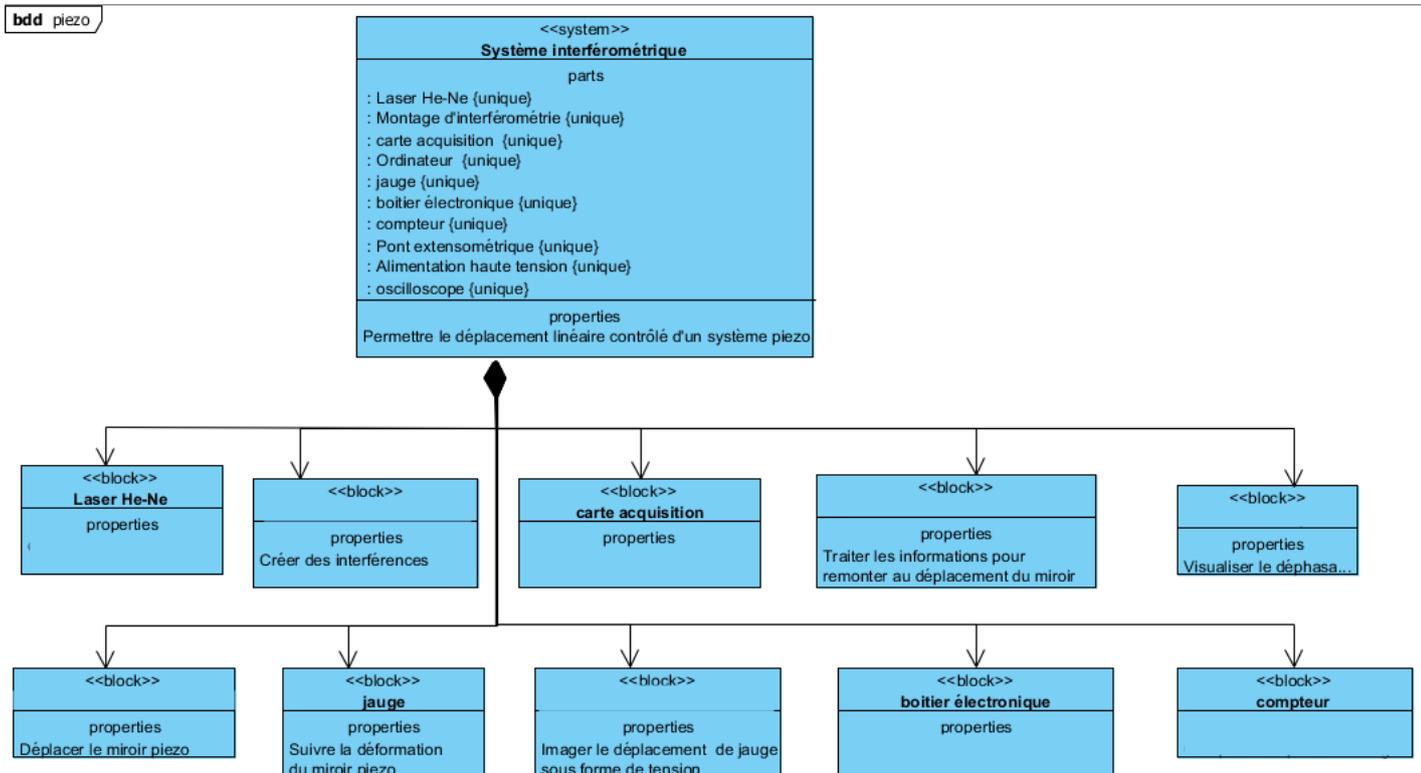


Diagramme de définition des blocs

Compléter le diagramme de blocs (voir synoptique du système cadre 8)



cadre 4 : Diagramme de blocs

1.3.2. Étude du système interférométrique - Principes mis en œuvre

1.3.2.1. Résolution

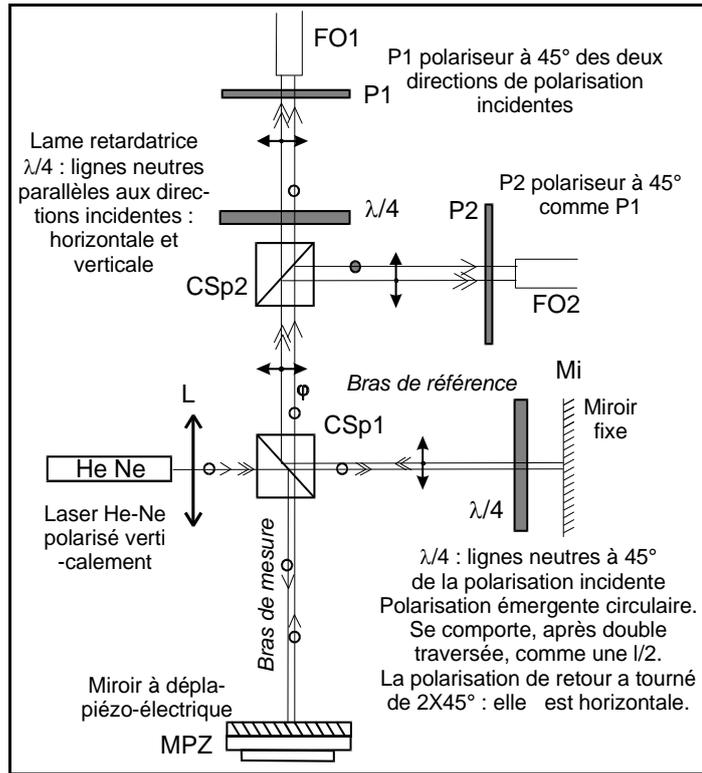
Les bras du Michelson présentent une **différence de chemin optique** δ_0 après réglages. Il sera δ après déplacement x du miroir M_pz du cadre 5.

La variation de chemin optique est donc : $\Delta\delta = 2n x$ (1)

Le compteur Métrologic est incrémenté lors du défilement **d'un quart de frange**. Lorsque N quarts de franges ont défilé, la variation de chemin optique est :

$$\Delta\delta = N\lambda/4$$
 (2)

Quel déplacement minimum du miroir peut-on détecter ? (On suppose $n \approx 1,00028$ et $\lambda_0 = 632,99143$ nm dans le vide). Quel est l'affichage du compteur lorsque le déplacement est de $7,9 \mu m$?



cadre 5 : L'interféromètre.

1.3.2.2. Comptage

On réalise à l'aide de l'interféromètre deux systèmes d'anneaux. Les capteurs à fibres optiques perçoivent les intensités lumineuses derrière les polariseurs :

$$I_1 = I_0 \left(\frac{1 + \cos \varphi}{2} \right) \quad \text{et} \quad I_2 = I_0 \left(\frac{1 + \sin \varphi}{2} \right)$$

Quand le déphasage $\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \delta$ entre les faisceaux varie au cours du temps, les capteurs produisent des tensions électriques s_1 et s_2 proportionnelles aux intensités lumineuses. On ne visualise à l'oscilloscope que les **parties variables** $X(t)$ et $Y(t)$ de ces tensions.

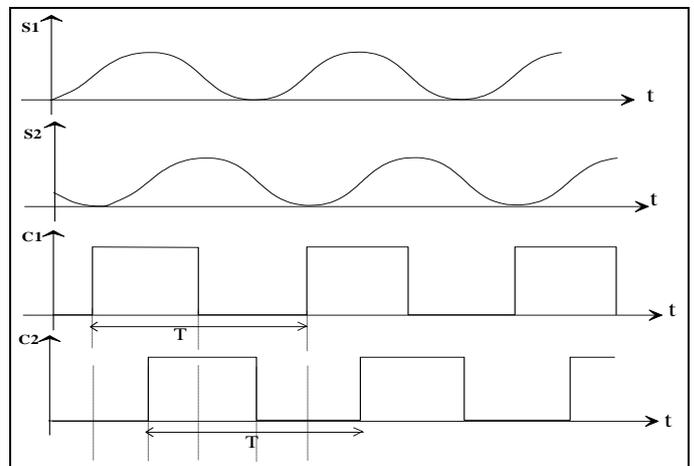
$X(t)$ et $Y(t)$ sont imposées aux deux voies de l'oscilloscope (mode XY), qu'observe-t-on à l'écran ? (Justifier en calculant X^2+Y^2 .)

L'allure des signaux (supposés de période T) issus du boîtier électronique vous est donnée cadre 6 (s_1 , s_2 , c_1 , c_2) :

- s_1 , s_2 représentent les signaux analogiques transmis lors du défilement des franges ;
- c_1 , c_2 représentent les signaux mis en forme, images des franges.

On utilise les 2 signaux c_1 , c_2 déphasés de $T/4$.

- Quelle est la plus petite variation Δt mesurable (en utilisant tous les fronts de c_1 et c_2 pendant une période T de c_1 ?
- Peut-on dans ce cas déterminer le sens de déplacement ? (Justifier.)



cadre 6: Allure des signaux.

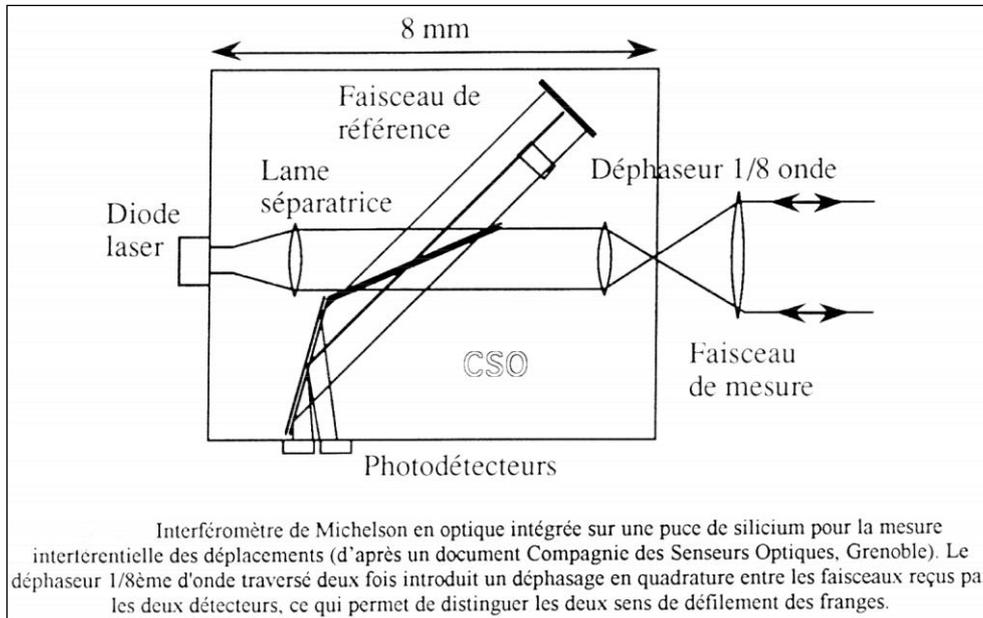
1.3.2.3. Système interférométrique CSO

La société CSO commercialise un capteur interférométrique (voir cadre 7 et cadres 5 et 6 du dossier technique).

- Comparer le circuit optique intégré et le montage

de ce T.P (cadre 5) (points communs; différences).

- Préciser dans le système CSO le rôle de la lame déphasante, de la lame semi-transparente, du miroir séparateur de faisceaux. Quels sont les équivalents dans le montage du TP ?
- Expliquer le rôle des lames $\lambda/4$ dans le montage d'étude.
- Que peut-on dire du principe de traitement utilisé dans les deux systèmes ?



cadre 7: Interféromètre CSO en optique intéarée.

2. MISE EN ŒUVRE DU SYSTÈME

2.1. Travail demandé

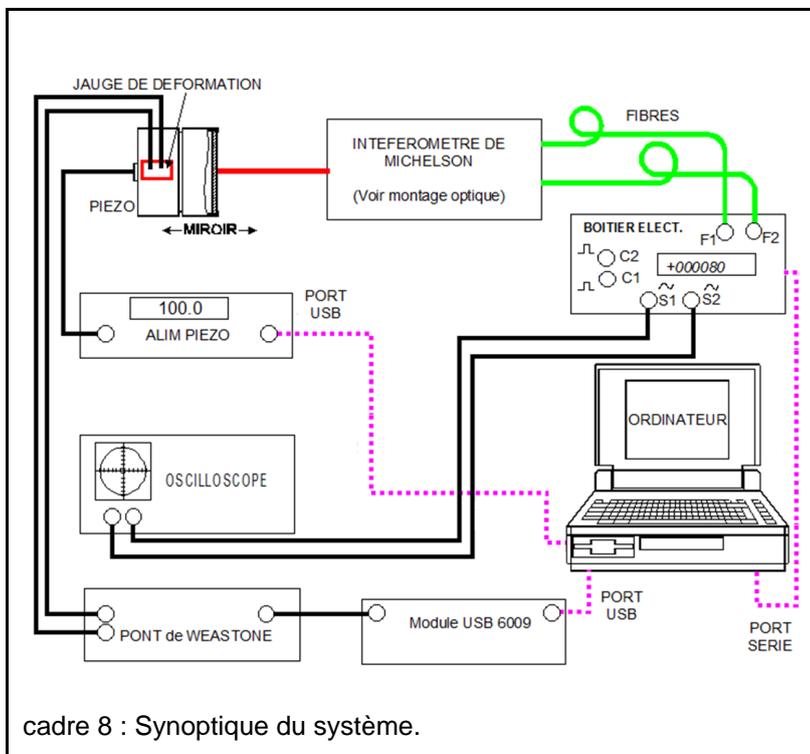
2.1.1. Déplacement piézo-électrique du miroir Mpz

2.1.1.1. Introduction

On se propose d'appliquer une tension U_{Piezo} croissante puis décroissante au translateur piézo-électrique et d'étudier le déplacement du miroir qui lui est solidaire.

2.1.1.2. Réalisation du montage

- Réaliser le montage donné cadre 8
- Placer le miroir Mpz dans le bras de mesure de l'interféromètre (cadre 5). Les traces de faisceaux obtenus à la suite des réflexions multiples doivent être confondus.
- Placer la lentille L. Vous devez observer des anneaux d'interférences sur les deux voies d'analyse. Les centrer sur l'orifice recevant l'extrémité des fibres optiques en retouchant le réglage du miroir Mpz.
- Vérifier l'orientation des polariseurs et des lames $\lambda/4$.
- Placer l'extrémité des fibres au centre des anneaux.
- Ajuster le gain de chaque capteur de façon à obtenir des signaux en quadrature aux sorties analogiques S1 et S2 (le spot de l'oscilloscope doit décrire un cercle en mode XY).
- Observer les signaux aux sorties numériques C1 et C2. Ajuster les seuils pour observer sur l'écran les quatre sommets d'un carré ou les leds s'allument successivement.
- On doit obtenir un comptage lorsqu'on fait varier la tension d'alimentation du piézo (mode manuel).



cadre 8 : Synoptique du système.

Faire vérifier le montage par un professeur.

2.1.1.3. Principe

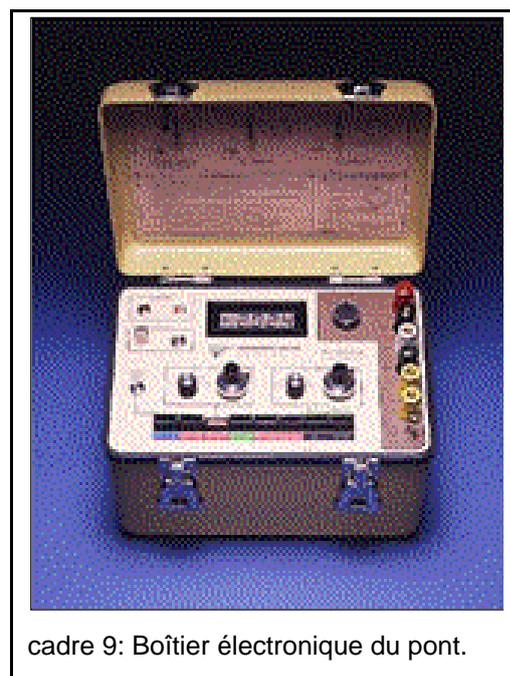
- Ouvrir le logiciel Piezopsoc
- Lorsque le compteur *Métrologic* compte N quarts de franges, le déplacement x du miroir Mpz est :

$$x = \frac{N\lambda_0}{8n} = K \cdot \frac{N\lambda_0}{n} \approx 79,1 \text{ N} \quad (\text{en nm})$$

avec : $n = 1,00028$; $\lambda_0 = 632,9 \text{ nm}$.

2.1.1.4. Connectique compteur et alimentation piézo

- Connecter l'alimentation piézo au micro-ordinateur via le port usb (Pilotage de la tension dans l'intervalle [0, 100 V]).
- Vérifier la communication avec l'alimentation piézo à l'aide de la commande [Paramètres/Alimentation piézo/Transmettre](#).
- Connecter le compteur *Métrologic* au micro-ordinateur (Lecture de la mesure).
- Vérifier la communication avec le compteur à l'aide de la commande [Paramètres/Compteur Métrologic/Lire](#).



cadre 9: Boîtier électronique du pont.

2.1.2. Jauge de déformation

2.1.2.1. Introduction

Une haute tension u imposée au cristal piézo provoque l'extension x du translateur. La déformation alors imposée à la jauge qui lui est solidaire génère après amplification du signal issu d'un pont de Wheastone une tension U qui sera mesurée.

2.1.2.2. Réglage du pont extensiométrique et connectique

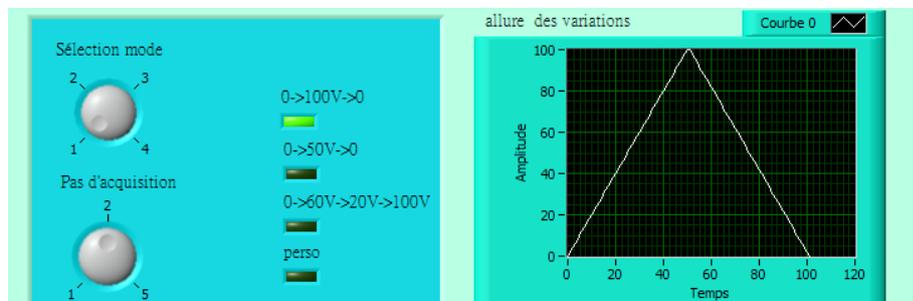
- Mettre le boîtier électronique du pont de Wheastone sous tension (appuyer sur le **bouton orange réglage du facteur de jauge**)
- Vérifier alors que le coefficient de jauge 2 apparait sinon ajuster la valeur de ce coefficient à 2 .
- Appuyer ensuite sur **le bouton vert mesure** .L'électronique est quasiment prête à fonctionner.
- Pour l'équilibrage, vérifier à l'aide d'un ohmmètre que la résistance entre les 2 bornes au niveau de la connexion de la jauge sur le pont de jauge est de 350Ω au besoin **ajuster celle-ci à 350Ω en réglant le potentiomètre accolé au miroir piezo**.
- Ne pas oublier de régler **avant chaque mesure l'équilibrage du pont**. Pour ce faire, l'alimentation piezo étant à 0V, ajuster le potentiomètre 10tr permettant de réaliser l'équilibrage du pont pour que l'afficheur affiche la valeur 0.
- Relier la sortie analogique du pont de Wheaston à l'entrée 0 de la carte USB 6009.
- Vérifier à l'aide de la commande [Paramètres /Carte usb 6009/test](#) que la tension délivrée par le pont de Wheastone est proportionnelle à la valeur de commande de l'alimentation du piezo.

Ne pas oublier à la fin de la manipulation d'appuyer sur le bouton bleu arrêt pour couper l'alimentation interne du pont.

Faire vérifier le montage par un professeur.

2.1.3. Mesures : Étude du déplacement piézo-électrique et étalonnage de la jauge de déformation

- Mettre en œuvre le système de mesures interférométrique pour mesurer l'extension x du translateur.
- Pour chaque valeur de U_{Piezo} , le logiciel lit la valeur N affichée sur le compteur ainsi que la tension U_{Jauge} renvoyée par la jauge.
- En fonction des paramètres introduits dans le logiciel, pour chaque valeur de N on calcule x (x : déplacement du miroir en μm).
- Initialiser le système : Positionner l'alimentation piézo sur 0 V, mettre le compteur Métrologic à zéro.
- Sélectionner sous le menu type d'acquisition (cadre 10) une tension U_{Piezo} : U variant de 0 à 100V puis retour à 0V par pas de 1V
- Régler les paramètres de la carte d'acquisition sous le menu [Carte USB 6009](#) (sélectionner la voie d'acquisition et la valeur du moyennage à 32).



cadre 10 :sélection type d'acquisition

- Utiliser la commande [Mesures/démarrer et sélectionner](#) ensuite démarrer pour lancer la mesure
- Visualiser et éditer sur imprimante(sous labview exporter une image simplifiée)les graphes suivants :
 - $U_{Jauge} = f(U_{Piezo})$;
 - $x = f(U_{Piezo})$;
 - $U_{Jauge} = f(x)$ en ayant préalablement tracé une droite de régression linéaire.
- Sauvegarder vos mesures dans le menu fichier sous mesurejauge « vos initiales »

2.1.4. Étude de l'hystérésis

Observer le graphe $x = f(U)$ et noter les positions x pour $U = 50$ V.

Sous [Type d'acquisition](#) refaire une étude du déplacement du miroir lorsque la tension effectue le chemin 0, 60, 20, 100, 0 Volts en choisissant mode d'acquisition 3.

Quelles sont les positions atteintes par le miroir quand $U = 50$ V ?

Sauvegarder sous *hysteresis* »vos initiales »

Expliquer pourquoi on peut dire que la position atteinte par le miroir dépend du chemin suivi par la tension U_{Piezo} .

3. ANALYSE DES PERFORMANCES DU SYSTÈME

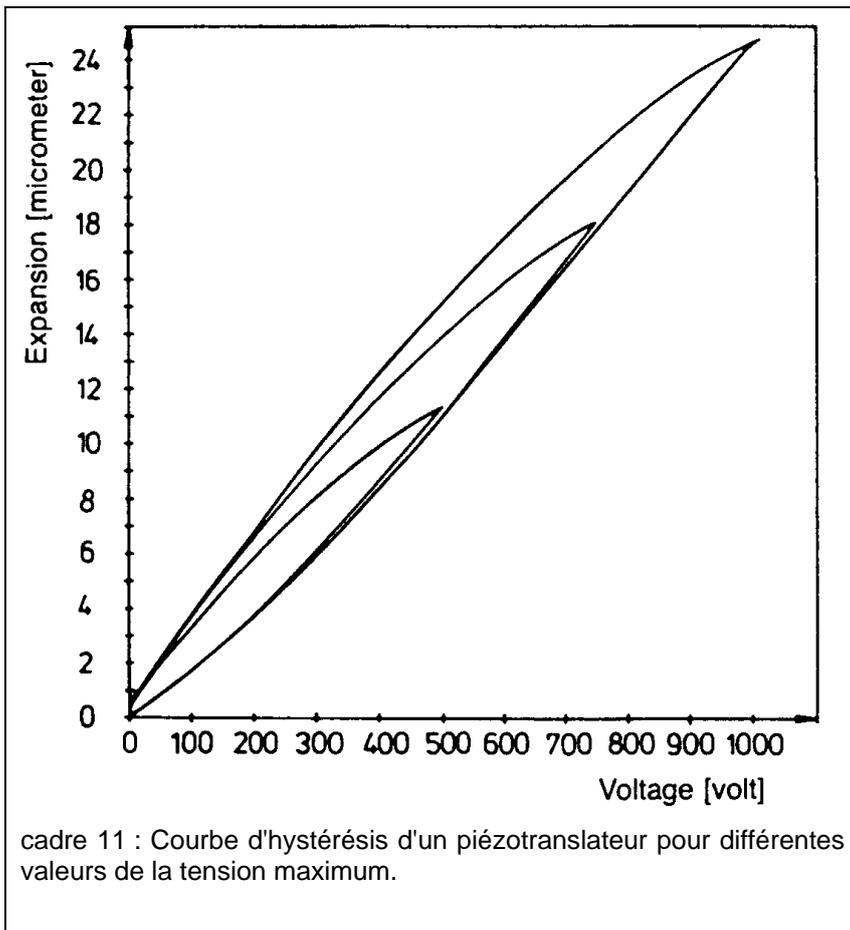
3.1. Travail demandé

3.1.1. Hystérésis

Le déplacement x du piézotranslateur du cadre 11 : Courbe d'hystérésis d'un piézotranslateur pour différentes valeurs de la tension maximum. a été enregistré en fonction de la tension imposée au cristal lors d'un aller (de 0 à U_{MAX}) et retour (de U_{MAX} à 0). Le graphe présente les courbes

obtenues pour 3 valeurs de U_{MAX} (500, 750 et 1000 V).

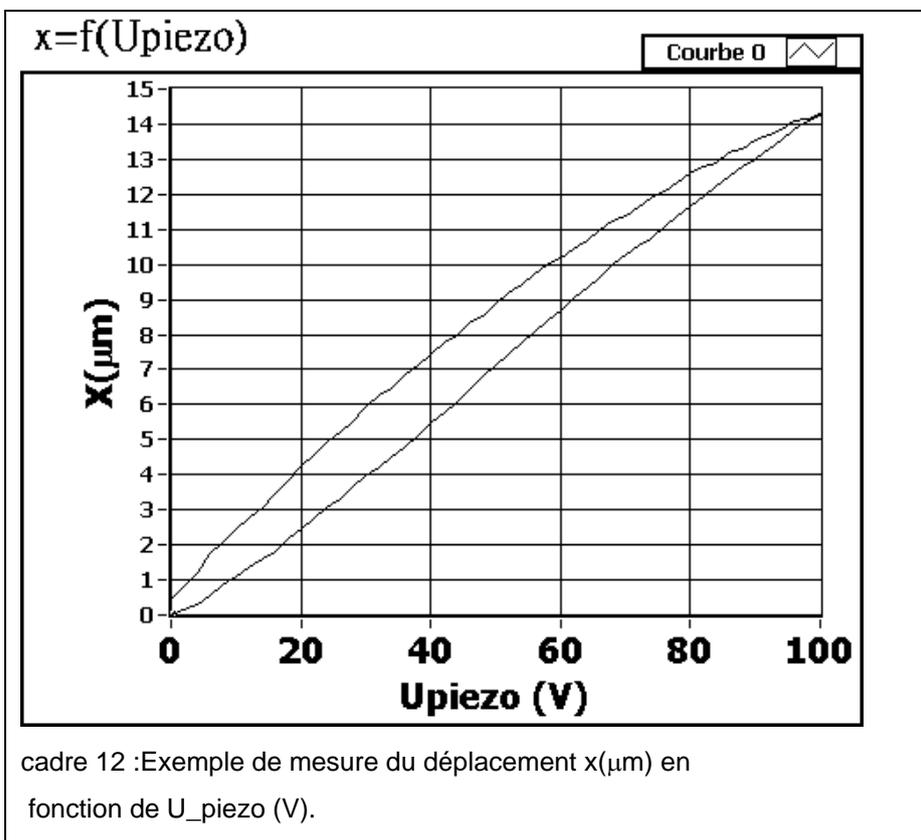
- Pourquoi dit-on qu'il y a hystérésis ?
- Représenter en rouge le graphe du déplacement x pour une tension U variant de 0 à 750 V puis de 750 V à 500 V puis de 500 à 1000 V.

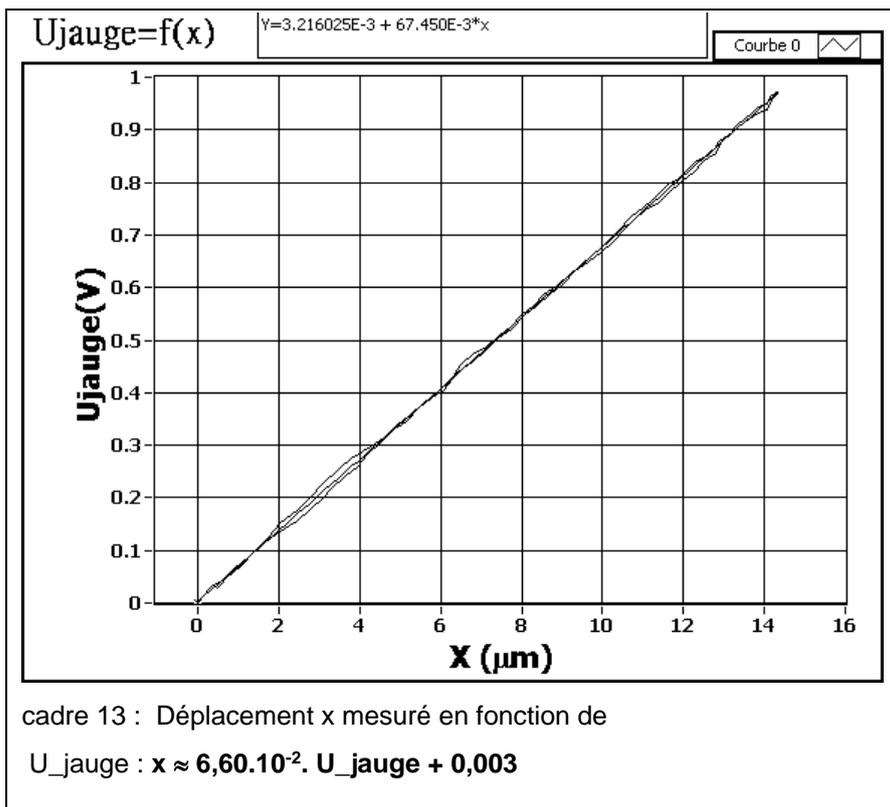


3.1.2. Étude du déplacement piézo- électrique d'un miroir Mpz

En raison de l'hystérésis, la position x du miroir dépend de l'évolution antérieure de la tension. On dit que x dépend du "chemin suivi par la tension U_{Piezo} ".

- Dans le cas du miroir à déplacement piézo électrique (cadre 12 et cadre 13), lorsqu'on a un déplacement de $10 \mu m$, quelle peut être la tension U_{Piezo} imposée au cristal piézo ? Peut-on dire quelle est la tension U_{Jauge} fournie par la jauge de déformation qui lui est solidaire ?
- Quelle tension (U_{Piezo} ou U_{Jauge}) renseigne sur la position x avec la meilleure précision ?
- Noter la valeur de la pente a de la droite de régression linéaire : $a = \text{_____} V/\mu m$ de votre graphe $U_{jauge} = f(\text{Dépl } x)$.

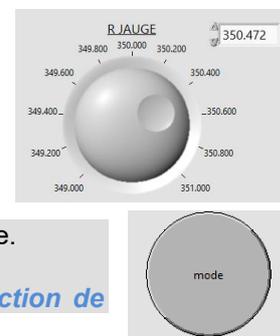




3.1.3. Étalonnage de la jauge de déformation

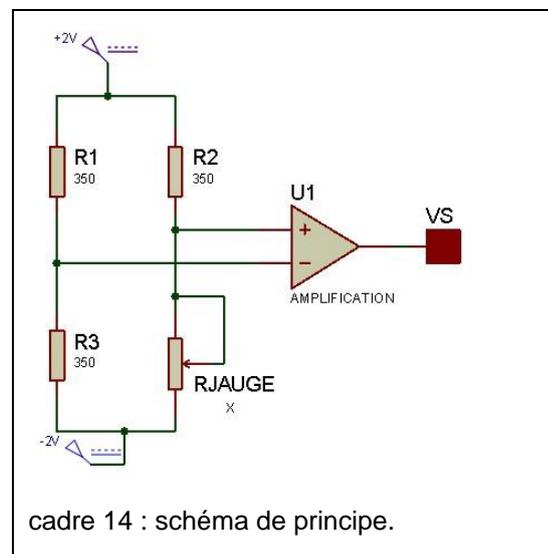
- Charger le fichier Labview [Jauge.vi](#) celui-ci est associé à la dll JAUGE1.DLL simulant le principe de fonctionnement d'un pont de wheaston associé à un amplificateur différentiel (cadre 14).
- La résistance de la jauge vaut 350 Ω au repos.

- Fixer la résistance de Jauge à 350Ω. Deux graphes permettent de retrouver U_{diff} (tension différentielle à l'entrée de l'AOP) et V_S la tension de sortie. Précisez dans ce cas les valeurs U_{diff} et V_S.
- Fixer R_{Jauge} à 350.1 Ω, précisez la valeur de la tension de sortie V_s ainsi que la valeur de la tension différentielle d'entrée U_{diff}. En déduire le coefficient d'amplification de l'ensemble.



- *Le bouton mode permet de montrer l'évolution de la tension de sortie V_s en fonction de R_{jauge}.*

- Sélectionner avec la souris la fonction mode. Lorsque l'on applique une tension piezo égale à 100 V, on trouve en sortie V_s de notre amplificateur différentiel une tension de 40 mV. Retrouver à l'aide du curseur associé au graphe la valeur R de la jauge correspondant à V_s = 40 mV.
- Est-ce qu'un multimètre de précision 0.1 % aurait permis de déterminer la valeur de R correspondant à V_s = 40 mV ?

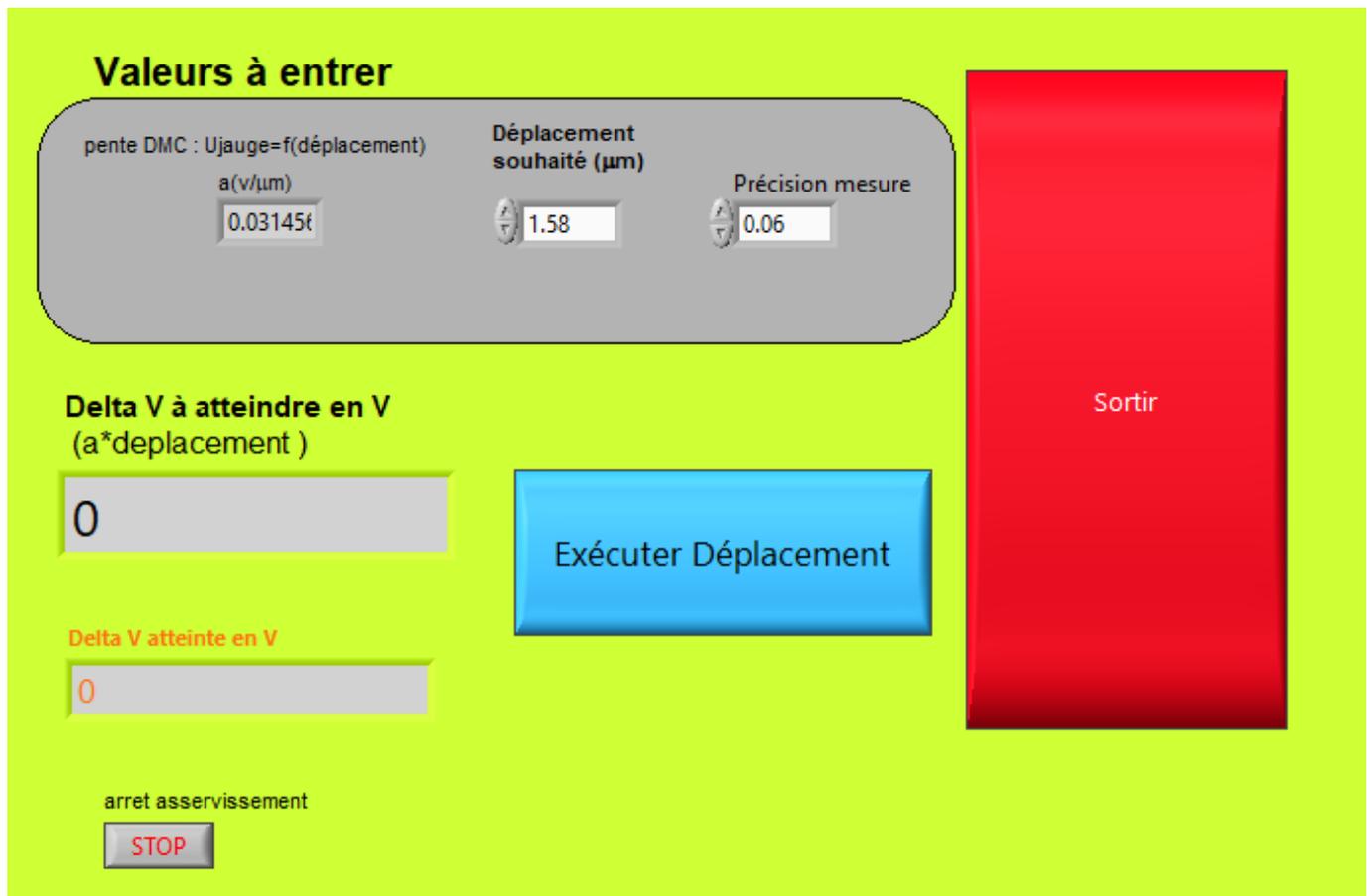


3.1.4. Déplacement asservi du miroir Mpz

Nous allons utiliser maintenant la tension U_{Jauge} pour contrôler le déplacement du translateur piézo. La tension U_{Piezo} imposée au quartz dépendra de la tension de consigne U_{Jauge} fournie par la jauge.

- Sélectionner la commande **Asservissement du programme piézo**.
- Demander un déplacement d'environ $1,58 \mu\text{m}$ en cliquant sur Exécuter le Déplacement.
- Quelle est la valeur N que le compteur *Métrologic* doit afficher en fin de déplacement ?
- Recommencer plusieurs fois pour d'autres déplacements afin de vérifier le bon fonctionnement de l'asservissement.

Faire une démonstration en la commentant à un professeur.



cadre 15 :face avant de la partie asservissement

3.1.5. Problématique

Dans la salle B008, nous avons un microscope interférentiel qui permet de mesurer des rayures sur des surfaces polies en mode PSI. La méthode PSI (phase shifting interferometry) s'apparente au Moiré par projection de franges avec décalage de phase. Ce décalage de phase est réalisé à l'aide d'un piezo, le déplacement de celui-ci est de l'ordre de $0.079 \mu\text{m}$ pour chaque déphasage de $\pi/2$.

Est-ce que l'ensemble piézo + système de mesure du TP permettrait de réaliser la fonction du microscope interférométrique ? Si non, comment améliorer la précision du dispositif de TP (argumenter votre réponse : précision par chaque déphasage et déplacement total= 2π)