LABORATOIRE NO. 2

CONSTRUCTION D'UN PONT DE WHEATSTONE ET UTILISATION D'UN INDICATEUR DE DÉFORMATION

Automne 2012

---

1. Buts

- Mettre en évidence, par construction, les fonctions principales du pont de Wheatstone à lecture directe en tant que conditionneur d'une chaîne de mesure.
- Procéder à l'étalonnage électrique du pont construit et faire des essais de chargement-déchargement avec la jauge simple de la poutrelle.
- Appendre à utiliser un indicateur de déformation (mode ¼ de pont).
- Faire des essais de chargement-déchargement avec les quatre jauges installées sur la poutrelle (incluant l'étalonnage électrique des ponts).
- Interpréter et comparer les résultats obtenus.

2. Appareillage

- Poutrelle avec jauge simple et rosette du laboratoire no. 1
- Plaque pour le montage d'un pont de Wheatstone
- Bloc d'alimentation Agilent E3620A
- Multimètre Agilent 34405A
- Résistances de 120 Ω (±1%) et résistances diverses
- Résistances de précision pour l'étalonnage (±0.01%)
- Fer à souder et fils de connexion
- Deux cales métalliques et une serre pour fixer la poutre en porte-à-faux
- Plateau et poids de 0.5, 1.0 et 2 Kg

3. Construction d'un pont de Wheatstone

Construire le pont de Wheatstone pour la lecture directe de la jauge simple de la poutrelle. La configuration utilisée est le quart de pont sur lequel est branchée une jauge à l'aide d'un système à trois fils. Le schéma de la plaque de montage est donné à la figure 2.1. Le pont comprend quatre résistances dont l'une est la jauge et les trois autres sont fixes. Des résistances de 120 Ω sont disponibles pour compléter votre pont. Choisir et brancher les résistances R_a et R_b[1] permettant l'équilibrage initial du pont. Consulter l'annexe 1 pour le choix de ces résistances.

Une fois le montage complété, mesurer la résistance entre les bornes du pont (P^+- P^-, S^+ - S^-, etc.). Si les résistances mesurées sont normales, faire approuver le pont par le technicien. Calculer le voltage d'alimentation maximal du pont (ne pas dépasser 10V). Régler le voltage de sortie du bloc d'alimentation puis le brancher au pont. À l'aide des deux cales métalliques et de la serre, fixer la poutrelle en porte-à-faux sur le bord de la table. Accrocher le plateau à poids à la poutrelle. Vérifier ensuite si l'équilibrage du pont s'effectue normalement avec le potentiomètre R_b.

[1] R_b est fixé à 10 KΩ dans le montage utilisé

Essais

Faire un essai de chargement-déchargement avec la poutrelle fixée en porte-à-faux. Commencer l'essai en équilibrant le pont (ΔE_m=0) puis appliquer graduellement par incrément de 0.5 Kg, une charge variant de 0 à 2.5 Kg (séquence de chargement). Réduire ensuite de 2.5 à 0 Kg avec le même incrément (séquence de déchargement). Répéter l'essai trois fois. Ne pas oublier de noter l'output du pont à charge nulle.

Choisir une résistance[2] d'étalonnage R_C de façon à simuler une déformation proche de la déformation maximale obtenue lors de l'essai de chargement-déchargement. Effectuer un étalonnage électrique à la jauge et aussi dans toutes les autres branches du pont. Mesurer et noter le signal ΔE_{mc} obtenu dans chaque cas.

Interprétation des résultats

- Résumer et justifier le choix des éléments importants du pont de Wheatstone
- Présenter et analyser les résultats des essais. Calculer les déformations moyennes de la jauge simple obtenues lors des essais.
- Calculer les constantes d'étalonnage obtenues (K) avec chaque branche du pont. Comparer avec la valeur théorique.

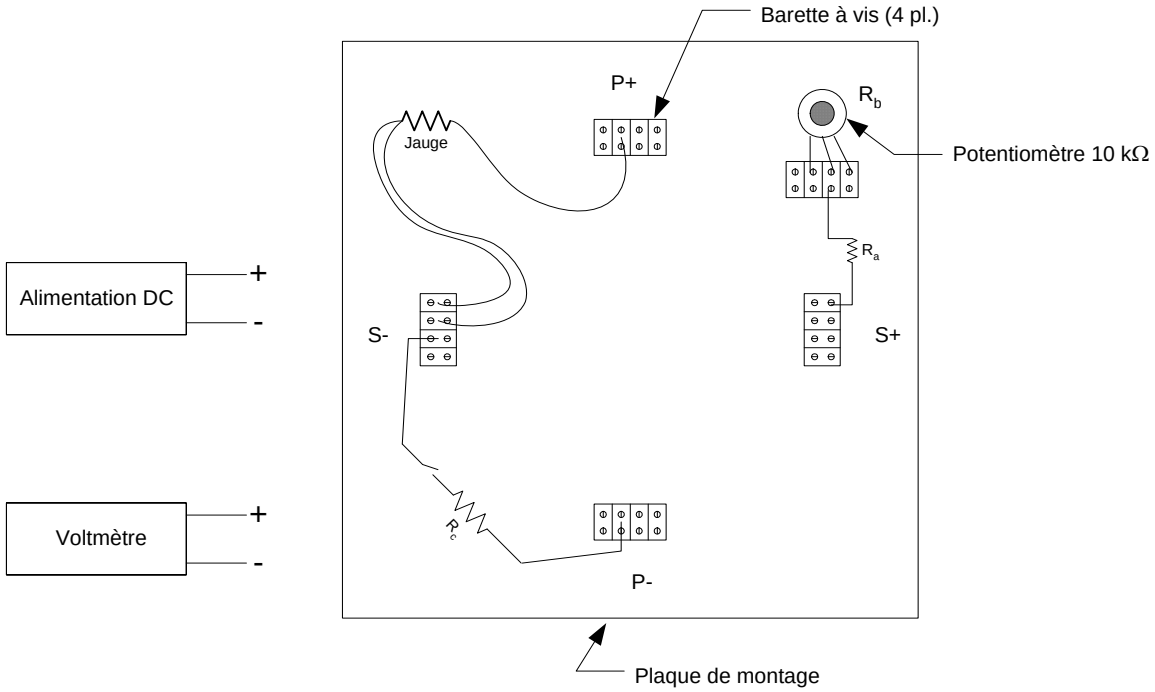


Figure 2.1 – Schéma de la plaque de montage pour la construction du pont de Wheatstone. Dans ce schéma, le pont de Wheatstone n'est pas complet. Une jauge est placée dans la branche 1 et une résistance d'étalonnage dans la branche 4.

[2] Au besoin, combiner deux ou trois résistances pour obtenir la valeur désirée.

4. Chaîne de mesure avec un indicateur de déformation

Appareillage supplémentaire

- Indicateur de déformation Vishay modèle P-3500
- Boîtier de commutation et d'équilibrage à 4 canaux modèle SE-4
- Plaque pour la connexion des jauges à la boîte de commutation

Essais

Relier les quatre jauges de la poutrelle au boîtier de commutation et d'équilibrage SE-4 par l'intermédiaire de la plaque de connexion (Fig. 2.2). Chaque jauge est montée dans un pont de Wheatstone de la façon suivante. En premier lieu, la jauge et une résistance fixe de 120 Ω qui se trouve sur la plaque de connexion (Fig. 2.2) sont combinées ensemble pour former un demi-pont (Fig. 2.3). Ce demi-pont est ensuite connecté temporairement à un autre demi-pont commun[3] lors de la commutation de façon à former un pont de Wheatstone complet comme on peut le voir à la figure 2.3. Ce pont de Wheatstone complet est relié à l'indicateur P-3500 pour faire la mesure de la déformation de la jauge. L'alimentation du pont est fournie par le boîtier SE-4.

Pour les essais, fixer la poutrelle en porte-à-faux sur le bord de la table et y accrocher le plateau à poids. Exécuter ensuite les étapes suivantes:

a) S'assurer que le P-3500 fonctionne en mode plein pont (Full Bridge)
b) Sur le P-3500, dans la zone "balance", tourner le bouton de gauche à zéro et ajuster le potentiomètre de droite à 5.00 (équivaut à un équilibrage neutre)
c) Ajuster le facteur de jauge du P-3500 à la valeur de la rosette
d) Équilibrer (mise à zéro) les quatre ponts à l'aide des potentiomètres situés sur la boîte d'équilibrage et de commutation
e) Effectuer l'étalonnage électrique de chaque pont à l'aide d'une résistance de précision
f) Faire trois essais de chargement-déchargement identiques à ceux effectués lors de l'étape 3 du laboratoire. À chaque niveau de charge, enregistrer les déformations des quatre jauges[4]. Ne pas oublier d'enregistrer aussi les déformations à la charge nulle.
g) Ajuster le facteur de jauge sur le P-3500 à 4.000. Faire un essai de chargement-déchargement dans lequel vous enregistrez uniquement les mesures de la jauge simple. Ces mesures seront comparées avec celles obtenues lors de l'étape 3.

Analyse des résultats

- Calculer et comparer les constantes d'étalonnage (K) des quatre ponts
- Comparer la constante d'étalonnage du pont de la jauge simple avec celle obtenue à la partie 3 du laboratoire.
- Déterminer par régression linéaire la pente (sensibilité) de la courbe déformation-charge de chaque jauge. Calculer le coefficient de corrélation R^2. Analyser la répétabilité et la linéa-

[3] Le demi-pont commun est formé de deux résistances fixes de 350Ω et se trouve dans le boîtier SE-4.
[4] Puisque la jauge simple et la rosette n'ont pas le même facteur de jauge, vous devrez corriger vos lectures de déformation de la jauge simple après l'essai.

rité des résultats.

- Comparer les déformations apparentes des jauges avec celles calculées analytiquement (poutre en flexion). Pour vos calculs, supposez que l'acier de la poutrelle a un module de Young de 200 GPa et un coefficient de Poisson de 0.285. Pour l'orientation des jauges, utiliser l'angle d'orientation de la rosette qui a été mesuré directement sur la poutrelle.
- TRÈS IMPORTANT. Expliquer les causes possibles des différences qui existent entre les résultats théoriques et expérimentaux. Validez vos hypothèses à l'aide de calculs typiques.
- Comparer les résultats obtenus avec la jauge simple et un facteur de jauge de 4.000 (g), avec ceux obtenus à l'étape 3 du laboratoire.

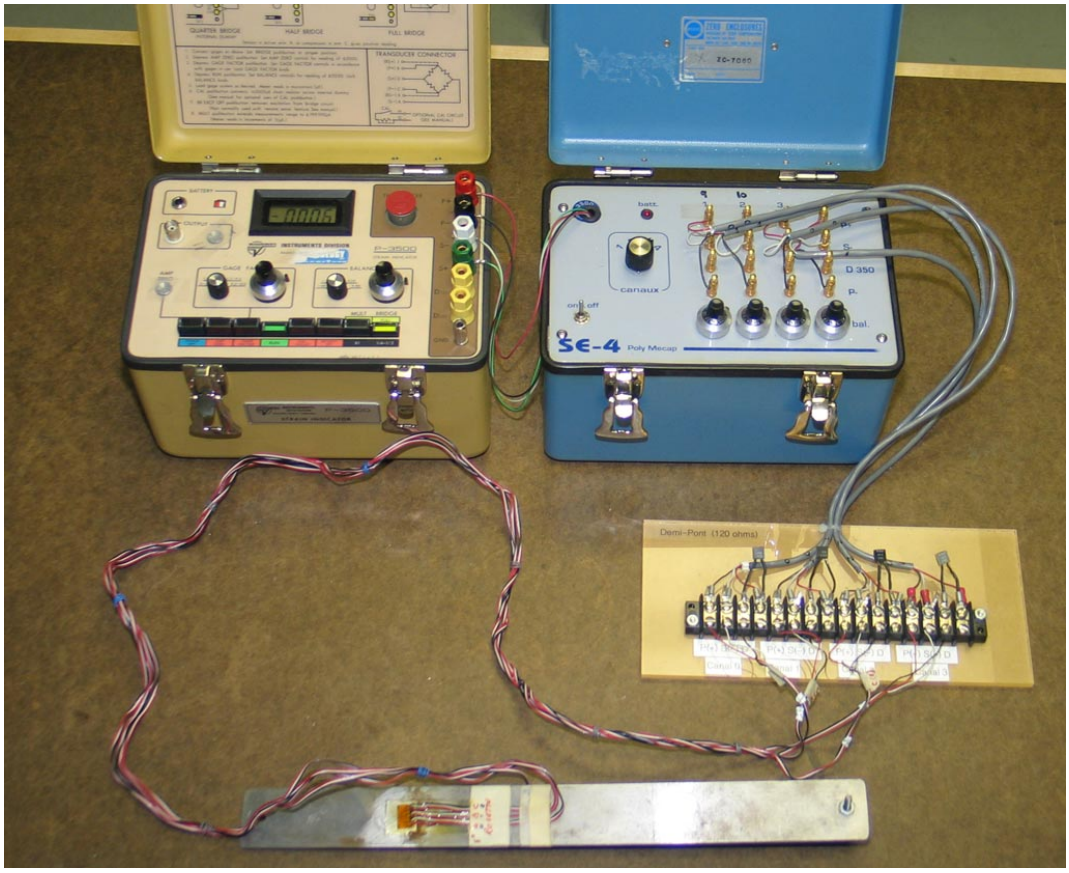


Figure 2.2 – Photo de la chaîne de mesure montrant le P-3500 (en haut, à gauche), le boîtier de commutation et d'équilibrage SE-4 (en haut, à droite), la plaque de connexion (centre droit) avec les résistances fixes de 120 Ω, et la poutrelle avec les jauges.

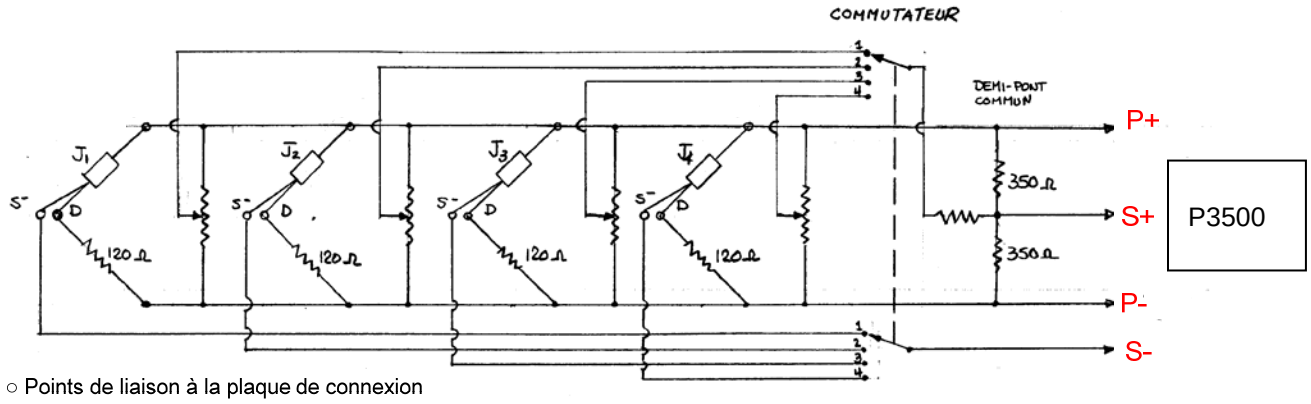


Figure 2.3 – Schéma électrique simplifié de la connexion des jauges et des résistances externes de 120 Ω à la boîte de commutation et d'équilibrage SE-4. La jauge se trouve dans la branche 1 (positive) du pont et la résistance de 120 Ω dans la branche 4 (négative).

Luc Marchand
Professeur
15 août 2012

ANNEXE 1 - CHOIX DES RÉSISTANCES R_c, R, ET R_b

Choix de la résistance d'étalonnage R_c

$$|\delta_{1C}| = \frac{1}{1 + R_C / R_1} \qquad R_C = R_1 \left(\frac{\delta_{1C} + 1}{\delta_{1C}} \right)$$

- Déterminer la valeur requise de δ_{1c} à partir du facteur de jauge et de la déformation maximale prévue lors de l'essai
- Choisir une valeur nominale de R_c (voir l'annexe 2)
- Mesurer avec précision R_c et R_1, et calculer la valeur exacte de $| \delta_{1c} |$

Choix de R_a et R_b (voir figure A-1)

R_a empêche de court-circuiter R; sa valeur est déterminée par la tolérance de précision des résistances du pont (jauges et résistances fixes).

R_b permet un ajustement de zéro lorsque les résistances du pont varient à l'intérieur de leur tolérance. Dans le présent laboratoire, la valeur maximale du potentiomètre a été fixée à 10 KΩ. En pratique, on peut choisir R_b en dessous de la valeur donnée dans la figure A-1.

N.B.: Ne pas oublier que de petites valeurs de R_a et R_b, bien que commodes pour donner une bonne latitude, changent de façon significative la résistance des branches 2 ou 3 du pont, ce qui affectera la précision des mesures de déformation faites à partir de jauges placées dans ces branches.

Voltage maximum d'alimentation (V constant)

La source d'alimentation est à courant continu. Le choix du voltage d'alimentation V, dépend de la capacité de dissipation thermique de la jauge qui peut être calculée avec la formule suivante:

$$V = 2\sqrt{R \times P_D \times A}$$

Où R = Résistance nominale de la jauge, Ω
A = Aire de la grille (longueur active x largeur de la jauge), cm^2
P_D = Puissance recommandée, W/cm^2 (voir tableau A-2)

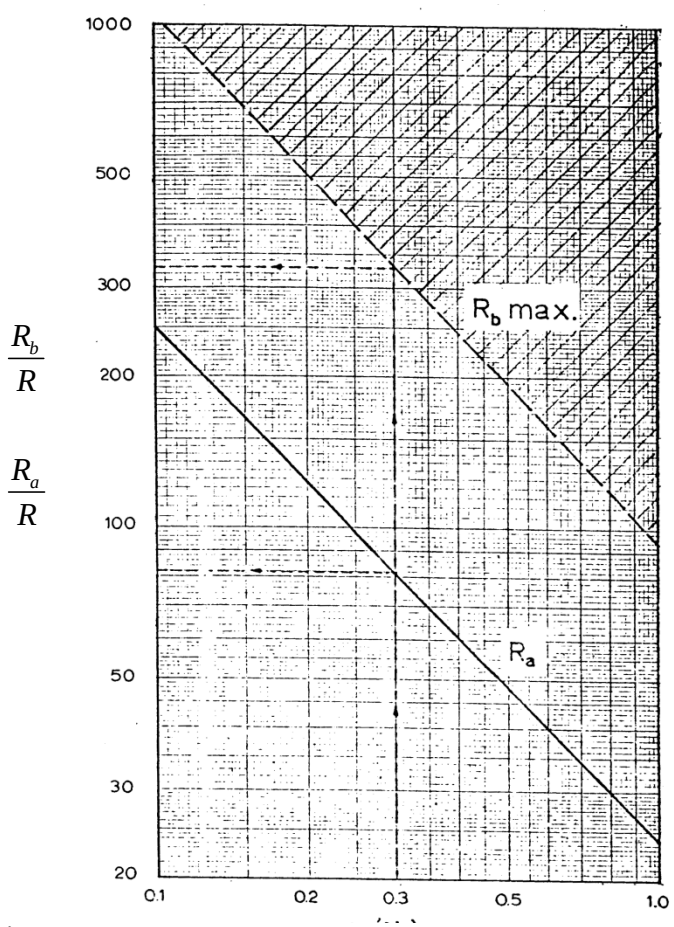


Figure A-1 – Valeurs maximales de R_a et R_b en fonction de la tolérance des résistances η (%).
Extrait de "On the initial balance of Wheatstone bridge", par A. Bazergui, "Strain", Vol. 7, No. 1, 1971.

Tableau A-2 - Puissances recommandées en watt/cm^2

DISSIPATION DE LA CHALEUR	PRÉCISION REQUISE					
	STATIQUE			DYNAMIQUE		
	ÉLEVÉE	MOYENNE	BASSE	ÉLEVÉE	MOYENNE	BASSE
Excellente. Grosses pièces d'aluminium ou de cuivre	0,30 à 0,75	0,75 à 1,5	1,5 à 3	0,75 à 3	1.5 à 3	3 à 8
Bonne. Grosses pièces d'acier	0,15 à 0,30	0,30 à 0,75	0,75 à 1,5	0,75 à 1.5	1,5 à 3	3 à 8
Moyenne. Tôles minces d'inox ou de titane	0,08 à 0,15	0,15 à 0,30	0,30 à 0,75	0,30 a 1.5	0,75 à 1,5	1,5 à 3
Mauvaise. Plastiques chargés, verre époxy	0,01 à 0,03	0.03 à 0,08	0.08 à 0.1 5	0,08 à 0.1 5	0,15 a 0,30	0,1 5 à 0.75
Très mauvaise. Plastiques non chargés par exemple, acryliques ou polystyrène	0,001 à 0,003	0,003 à 0,008	0,001 à 0.03	0,001 à 0.008	0,003 à 0,01 5	0,03 à 0.08

Extrait de "Encyclopédie Vishay d'analyse des contraintes", par Jean Avril, Vishay Micromesures

ANNEXE 2 - RÉSISTANCES DISPONIBLES AU LABORATOIRE

1/2 W ± 1% 120 Ω

1/4 W ± 5% 10 Ω - 100 Ω - 470 Ω -1 KΩ - 2.2 KΩ, 4.7 KΩ, 10 KΩ, 27 KΩ, 47 KΩ, 100 KΩ, 270 KΩ, 470 KΩ

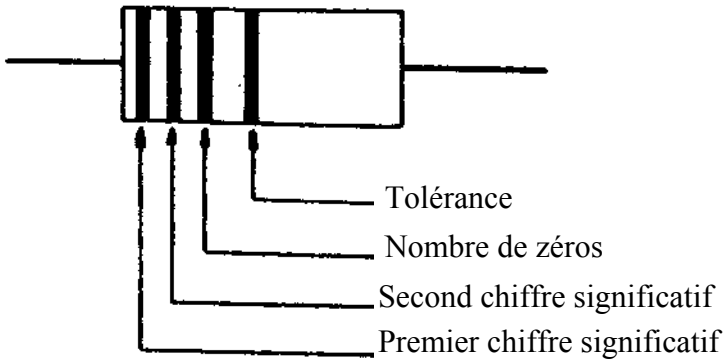
Code de couleur

des résistances

0 noir
1 brun
2 rouge
3 orange
4 jaune
5 vert
6 bleu
7 violet
8 gris
9 blanc

Tolérance

± 20% rien
± 10% argent
± 5% or



Exemples

(1) Rouge - brun - noir - or = 21 Ω ± 5%
(2) Rouge - rouge - rouge - argent =2200 Ω ± 10%
(3) Blanc - brun - jaune = 910000 Ω ± 20%