

**POLYTECHNIQUE
MONTREAL**

LE GÉNIE
EN PREMIÈRE CLASSE



RAPPORT – LABORATOIRE 2

**HOUDE ALEXANDRE
M.T. HESSOU AUREL**

DÉPARTEMENT DE GÉNIE PHYSIQUE

**DANS LE CADRE DU COURS
PHS1102 – CHAMPS ÉLECTROMAGNÉTIQUES**

MERCREDI 5 MARS 2014

1 TABLE DES MATIERES

2	Introduction	3
3	Méthodologie expérimentale	3
3.1	Appareils utilisés	3
3.2	Mesure	4
3.3	Formules générales	5
4	Présentation des résultats	6
5	Discussion des résultats	9
6	Conclusion	10
7	Annexe : calculs d'incertitudes	11
7.1	Force magnétique induite à une fréquence constante	11
7.2	Force magnétique induite au champ B constant	11
7.3	Rendement	12
Figure 1. Schéma de montage pour la mesure de l'induction magnétique		4
Figure 2. Schéma de montage pour mesurer la puissance dissipée sur une résistance RCH		5
Tableau 1. ϵ à une fréquence constante ($f = 2400\text{rpm} = 40\text{Hz}$)		6
Tableau 2. ϵ au champ B constant ($I_1 = 3.0\text{A}$)		7
Tableau 3. Le rendement pour $I_1 = 3.0\text{A}$ et $f = 40\text{Hz} = 2400\text{rpm}$		8
Graphique 1. Variation de l'induction électromotrice en fonction du champ magnétique		7
Graphique 2. Variation de l'induction électromotrice en fonction de la fréquence de rotation		8

2 INTRODUCTION

Dans ce laboratoire, nous avons étudié l'induction électromagnétique qui est la transformation de l'énergie électrique en énergie mécanique (moteur) et de l'énergie mécanique en énergie électrique (générateur). Ce phénomène physique est employé dans de nombreuses applications : bobines, transformateurs, alternateurs, lampes à induction, plaques à induction, etc. Plus précisément, au cours de notre expérience, nous avons observé l'induction d'une force électromotrice dans une bobine en rotation dans un champ magnétique en faisant varier, dans un premier temps, l'intensité du courant parcourant le montage et, dans un deuxième temps, la fréquence de rotation de la bobine en contrôlant le voltage appliqué au moteur.

3 MÉTHODOLOGIE EXPÉRIMENTALE

3.1 APPAREILS UTILISÉS

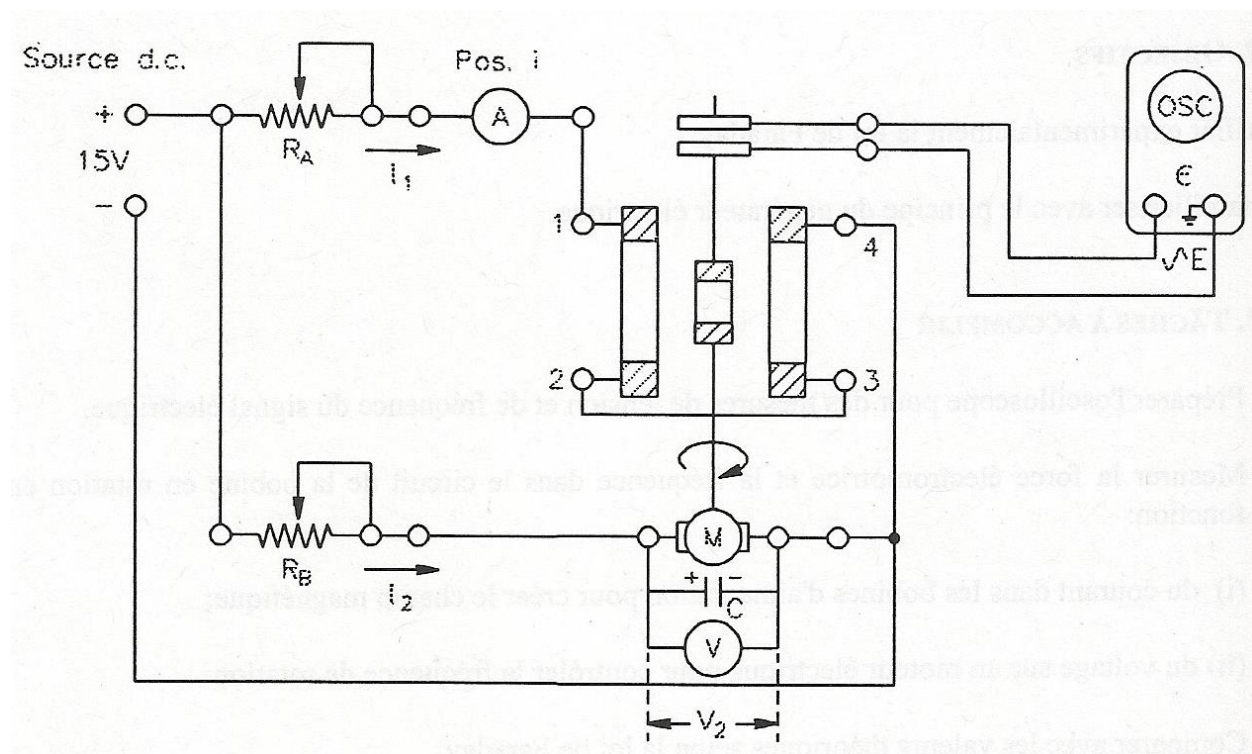
Les appareils utilisés au cours de ce laboratoire sont les suivants :

- Oscilloscope GDS-1102A-U (voir manuel page 61)
- Source d'alimentation d.c. PS-1850 (voir manuel page 57)
- Ampèremètre DM-8034 (voir manuel page 54)
- Voltmètre DM-351 (voir manuel page 51)
- Montage avec les bobines d'Helmholtz aux caractéristiques suivantes :
 - Rayon moyen de la bobine d'aimantation, $R = 100 \pm 2\text{mm}$;
 - Nombre de tours de fil de la bobine d'aimantation, $N = 100$;
 - Rayon moyen de la bobine de détection, $r = 15 \pm 1\text{mm}$;
 - Nombre de tours de fil de la bobine de détection, $n = 1000$;
 - Distance entre les bobines d'aimantation, $2a = R$
- Plaquette avec la résistance $RCH = 100 \pm 1 \Omega$
- Résistances variables $RA (10-22\Omega)$ et $RB (44-90\Omega)$

3.2 MESURE

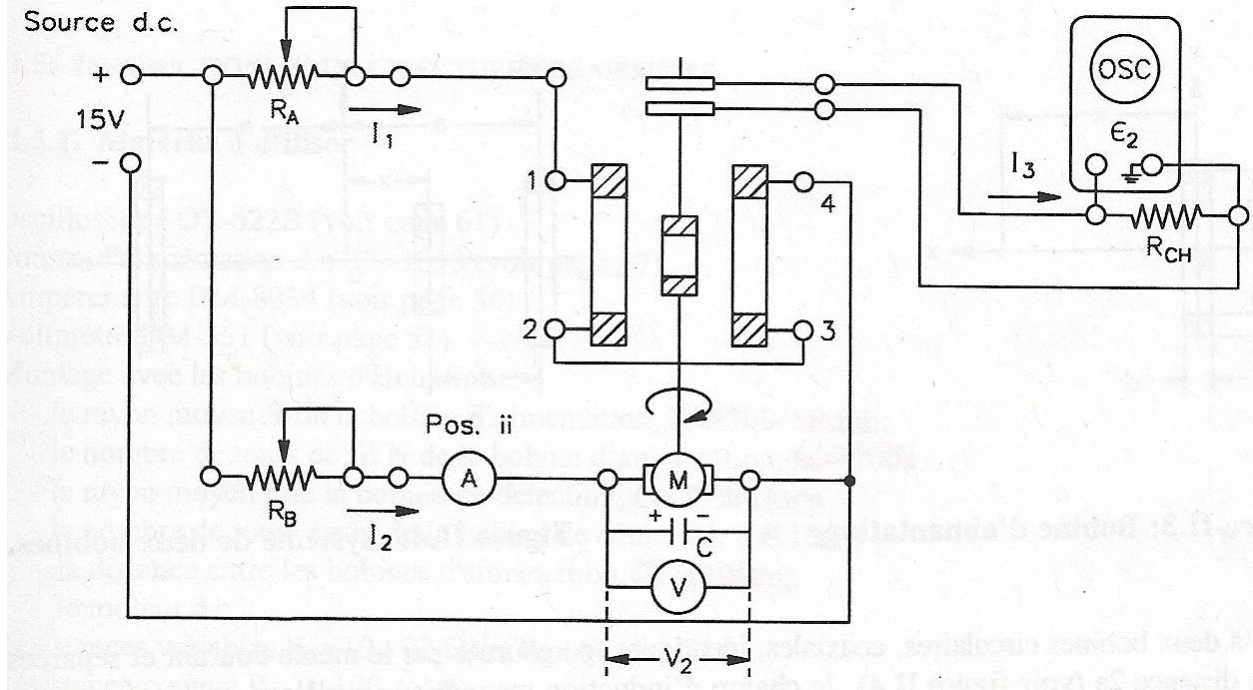
Dans la première partie du laboratoire, le montage de la figure 1 était déjà réalisé et les appareils étaient déjà ajustés à leurs valeurs désirées. La source d'alimentation a été réglée à 15V avec une limite de courant fixé à 5A et R_B est ajusté pour avoir à l'écran de l'oscilloscope $f = 2400\text{rpm} = 40\text{Hz}$. D'une part, nous avons mesuré le champ magnétique en fonction du courant dans les bobines d'aimantation (tableau 1), ainsi qu'en fonction de la fréquence de rotation (tableau 2).

Figure 1. Schéma de montage pour la mesure de l'induction magnétique



D'autre part, nous avons mesuré le rendement du système (tableau 3) à l'aide du montage de la figure 2. En mesurant V_2 , I_2 , V_3 et I_3 , on peut exprimer l'efficacité de transformation d'énergie comme le rapport entre la puissance P_3 produite dans le circuit de la bobine d'induction et la puissance P_2 pour la rotation du moteur.

Figure 2. Schéma de montage pour mesurer la puissance dissipée sur une résistance RCH



Il est à noter que pour les mesures de force magnétique induite (ϵ) dans le premier montage sont des tensions maximum, tandis que pour le rendement du système il s'agit de tension efficace.

3.3 FORMULES GÉNÉRALES

Champ d'induction magnétique: $B = 0.72\mu_0 \frac{NI}{R}$ [T] avec

$\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$ [H/m]

$N = 100$ [tours]

$R = 0.1 \pm 0.002$ [m]

Force magnétique induite: $\varepsilon = n\omega AB$ [V] avec

$n = 1000$ [tours]

$\omega = 2\pi f$ [Hz]

$A = \pi r^2$ [m²]

$r = 0.015 \pm 0.001$ [m]

Efficacité de transformation d'énergie : $\eta = P_3/P_2 \times 100$ [%] avec

$P_3 = \frac{V_3^2}{R_{CH}}$ [W]

$R_{CH} = 100 \pm 1$ [Ω]

$P_2 = V_2 I_2$ [W]

*Voir annexe pour exemple de calcul avec incertitude.

4 PRÉSENTATION DES RÉSULTATS

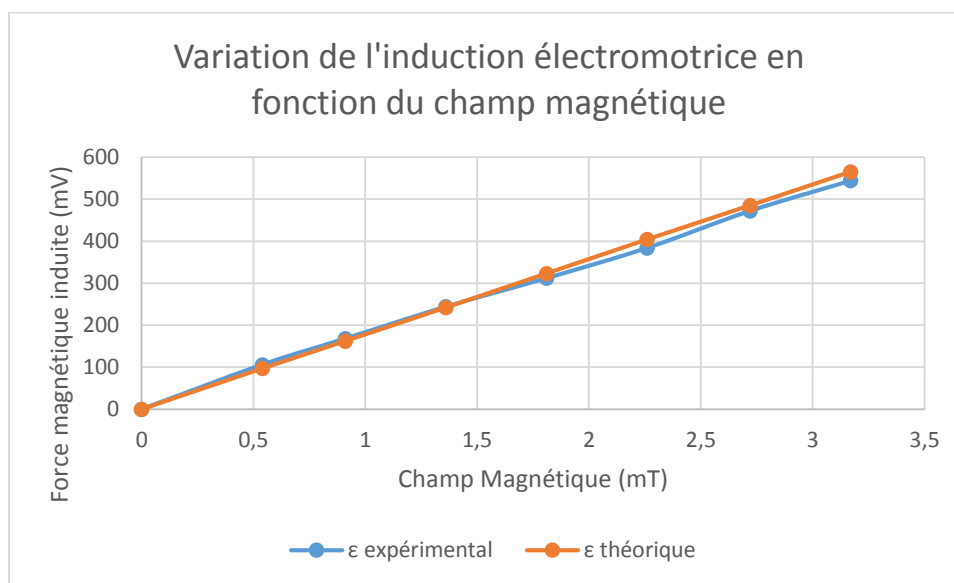
Le premier tableau présente les mesures et calculs théoriques du champ magnétique en fonction du courant dans les bobines d'aimantation.

Tableau 1. ε à une fréquence constante ($f = 2400\text{rpm} = 40\text{Hz}$)

$I_1 \pm \Delta I_1$ (A) échelle : 20A	$B \pm \Delta B$ (mT)	$\varepsilon_{\text{exp.}} \pm \Delta \varepsilon_{\text{exp.}}$ (mV)	$\varepsilon_{\text{théor.}} \pm \Delta \varepsilon_{\text{théor.}}$ (mV)
0	0	0	0
$I_{\text{min}} = 0.60 \pm 0.01$	0.54 ± 0.02	106 ± 10	97 ± 13
1.00 ± 0.01	0.91 ± 0.03	168 ± 10	162 ± 21
1.50 ± 0.01	1.36 ± 0.04	244 ± 20	242 ± 32
2.00 ± 0.01	1.81 ± 0.05	312 ± 20	323 ± 43
2.50 ± 0.01	2.26 ± 0.05	384 ± 40	404 ± 54
3.00 ± 0.01	2.72 ± 0.06	472 ± 40	485 ± 64
3.50 ± 0.01	3.17 ± 0.07	544 ± 40	565 ± 75

Pour bien illustrer la relation entre les diverses données du tableau ci-dessus, un graphique a été tracé.

Graphique 1. Variation de l'induction électromotrice en fonction du champ magnétique



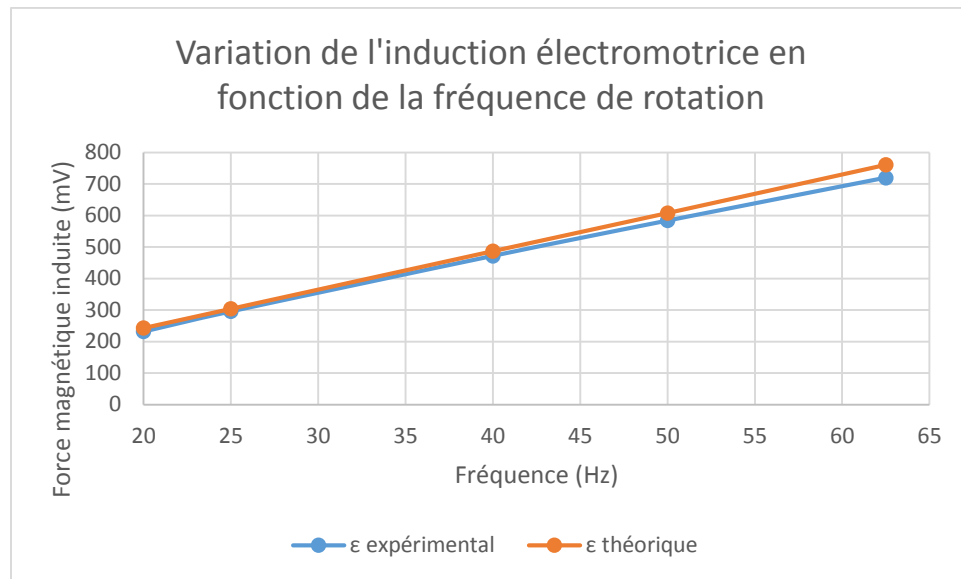
Le second tableau présente les mesures et calculs théoriques du champ magnétique en fonction de la fréquence de rotation.

Tableau 2. ϵ au champ B constant ($I_1 = 3.0A$)

Fréquence de rotation $f \pm \Delta f$ (Hz)	Période $P \pm \Delta p$ (ms)	$\epsilon_{\text{exp.}} \pm \Delta \epsilon_{\text{exp.}}$ (mV)	$\epsilon_{\text{théor.}} \pm \Delta \epsilon_{\text{théor.}}$ (mV)
20.0 ± 0.4	50.0 ± 1.0	232 ± 20	243 ± 38
25.0 ± 0.6	40.0 ± 1.0	296 ± 20	304 ± 47
40.0 ± 0.8	25.0 ± 0.5	472 ± 40	487 ± 75
50.0 ± 1.3	20.0 ± 0.5	584 ± 40	608 ± 94
62.5 ± 3.9	16.0 ± 0.5	720 ± 40	761 ± 117

Afin de bien illustrer la relation qui existe entre l'induction électromotrice et la fréquence de rotation de la bobine de détection, le graphique suivant a été tracé à partir des données du tableau ci-dessus.

Graphique 2. Variation de l'induction électromotrice en fonction de la fréquence de rotation



Le dernier tableau présente le rendement du système pour un courant et une fréquence donnée.

Tableau 3. Le rendement pour $I_1 = 3.0A$ et $f = 40Hz = 2400rpm$

$V_2 \pm \Delta V_2$ (V)	$I_2 \pm \Delta I_2$ (mA)	$P_2 \pm \Delta P_2$ (W)	$V_3 \pm \Delta V_3$ (V)	$P_3 \pm \Delta P_3$ (W)	$\eta \pm \Delta \eta$ (%)
1.70 ± 0.01	440 ± 1	0.748 ± 0.006	0.192 ± 0.010	$3.7 \times 10^{-4} \pm 4.2 \times 10^{-5}$	0.050 ± 0.006

5 DISCUSSION DES RÉSULTATS

Pour commencer, les valeurs recueillies semblent cohérentes puisqu'on obtient une corrélation directe entre les valeurs théoriques et les valeurs mesurées. En comparant les deux graphiques $\epsilon(B)$ et $\epsilon(f)$, on voit qu'ils ont une tendance linéaire. Ceci s'explique par la loi de Faraday puisque cette dernière indique que la force électromotrice induite dans une bobine dans un champ magnétique est égale au produit du nombre de tours de la bobine de détection, de la pulsation, de l'aire de la bobine de détection et du champ magnétique.

Pour le premier graphique, l'écart entre les valeurs théoriques et expérimentales augmente très légèrement lorsque le champ magnétique augmente. On a le même scénario lorsque la fréquence augmente dans le second graphique, ceci peut s'expliquer être expliqué par le fait que, en pratique, il y a des pertes d'énergie à travers tout le circuit. De plus, l'incertitude de nos mesures augmente plus la fréquence ou le champ magnétique augmente.

Pour ce qui est du rendement, on remarque qu'il est très faible ($< 0.1\%$). Ce résultat se justifie tout d'abord par les pertes d'énergies dans le circuit. De plus, le champ magnétique agit tout autour de lui, pas uniquement pour faire tourner le moteur. Il y a aussi des pertes d'énergie en friction dues à la rotation du moteur.

L'une des principales causes d'erreurs qui ont pu entacher nos résultats est le bruit que le moteur provoque sur les différents instruments de mesure. Ce problème fait en sorte que certaine mesure, principalement sur l'oscilloscope, était plus difficile à prendre puisque le signal était difficile à stabiliser. Pour les lectures à l'oscilloscope, il fallait soit compter les cases ou utiliser les curseurs ce qui peut évidemment occasionner des erreurs de lecture.

6 CONCLUSION

Pour conclure, on peut dire que nous avons atteint le but de notre expérience, qui était de démontrer la loi de Faraday en étudiant la variation de l'induction électromotrice en fonction du champ magnétique et de la fréquence. Ce laboratoire nous a également permis de voir que lorsque nous sommes en présence d'un circuit avec un moteur, le bruit que ce dernier provoque rend les lectures difficiles à prendre. Pour ce qui est du rendement qui est excessivement faible, c'est pourtant normal pour ce type de système puisque l'énergie est perdue de toute sorte de façon. Puisqu'on sait d'où la plus grande partie de l'énergie est perdue, les ingénieurs d'aujourd'hui ont pu développer des systèmes avec des rendements bien supérieurs.

Bibliographie

- L. Martinu, D. Simon, J. Cerny. Champs électromagnétiques 4ème édition : Manuel de laboratoire N 6542. Presses Internationales Polytechnique. Montréal. 2012

7 ANNEXE : CALCULS D'INCERTITUDES

Nous calculons l'erreur par la méthode générale de l'incertitude absolue.

7.1 FORCE MAGNÉTIQUE INDUITE À UNE FRÉQUENCE CONSTANTE

Exemple pour $I = 1A \pm 0.01A$:

$$B_{max} = 0.72 \times 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{N \times I_{max}}{R_{min}} = 2.88\pi \cdot 10^{-7} \frac{100 \times 1.01}{0.098} = 0.93mT$$

$$B_{min} = 0.72 \times 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{N \times I_{min}}{R_{max}} = 2.88\pi \cdot 10^{-7} \frac{100 \times 0.99}{0.102} = 0.88mT$$

$$B = \frac{B_{max} + B_{min}}{2} = \frac{0.93 + 0.88}{2} = 0.91mT$$

$$\Delta B = \frac{B_{max} - B_{min}}{2} = \frac{0.93 - 0.88}{2} = 0.03mT$$

$$\varepsilon_{max} = n\omega\pi r_{max}^2 B = 1000 \times 2\pi 40 \times \pi 0.016^2 \times 0.91 = 183mV$$

$$\varepsilon_{min} = n\omega\pi r_{min}^2 B = 1000 \times 2\pi 40 \times \pi 0.014^2 \times 0.91 = 140mV$$

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_{max} + \varepsilon_{min}}{2} = \frac{183 + 140}{2} = 162mV$$

$$\Delta\varepsilon = \frac{\varepsilon_{max} - \varepsilon_{min}}{2} = \frac{183 - 140}{2} = 21mV$$

7.2 FORCE MAGNÉTIQUE INDUITE AU CHAMP B CONSTANT

Exemple pour $f = 20Hz \pm 0.4Hz$:

$$\varepsilon_{max} = n\omega\pi r_{max}^2 B = 1000 \times 2\pi 20.4 \times \pi 0.016^2 \times 0.91 = 281mV$$

$$\varepsilon_{min} = n\omega\pi r_{min}^2 B = 1000 \times 2\pi 19.6 \times \pi 0.014^2 \times 0.91 = 205mV$$

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_{max} + \varepsilon_{min}}{2} = \frac{281 + 205}{2} = 243mV$$

$$\Delta\varepsilon = \frac{\varepsilon_{max} - \varepsilon_{min}}{2} = \frac{281 - 205}{2} = 38mV$$

7.3 RENDEMENT

V_2 , I_2 et V_3 sont mesurés et leurs incertitudes sont données par la précision de l'appareil de mesure.

$$P_{2max} = V_{2max} \times I_{2max} = 1.71 \times 0.441 = 0.754W$$

$$P_{2min} = V_{2min} \times I_{2min} = 1.69 \times 0.439 = 0.742W$$

$$P_2 = \frac{P_{2max} + P_{2min}}{2} = \frac{0.754 + 0.742}{2} = 0.748W$$

$$\Delta P_2 = \frac{P_{2max} - P_{2min}}{2} = \frac{0.754 - 0.742}{2} = 0.006W$$

$$P_{3max} = \frac{V_{3max}^2}{R_{min}} = \frac{0.202^2}{99} = 0.000412W$$

$$P_{3min} = \frac{V_{3min}^2}{R_{max}} = \frac{0.182^2}{101} = 0.000328W$$

$$P_3 = \frac{P_{3max} + P_{3min}}{2} = \frac{0.000412 + 0.000328}{2} = 3.7 \times 10^{-4}W$$

$$\Delta P_3 = \frac{P_{3max} - P_{3min}}{2} = \frac{0.000412 - 0.000328}{2} = 4.2 \times 10^{-5}W$$

$$\eta_{max} = \frac{P_{3max}}{P_{2min}} \times 100 = \frac{0.000412}{0.742} \times 100 = 0.056\%$$

$$\eta_{min} = \frac{P_{3min}}{P_{2max}} \times 100 = \frac{0.000328}{0.754} \times 100 = 0.044\%$$

$$\eta = \frac{\eta_{max} + \eta_{min}}{2} = \frac{0.056 + 0.044}{2} = 0.050\%$$

$$\Delta \eta = \frac{\eta_{max} - \eta_{min}}{2} = \frac{0.056 - 0.044}{2} = 0.006\%$$