

Banc de mesure du champ magnétique d'un rotor de moteur électrique

	Date	Signature
Rédigé par : Ali ABAALI [AA] Ali_Abaali@etu.u-bourgogne.fr El-Mehdi Labnihi [EML] El-Mehdi_Labnihi@etu.u-bourgogne.fr Jean-Luc CHARLES [JLC] Jean-Luc.charles@mailo.com	11 juillet 2024	
Vérifié par : Jean-Luc CHARLES Consultant IA/Data processing Encadrant du projet MiniAPTERROS jean-luc.charles@mailo.com	22 juillet 2024	
Approuvé par : Alph SAGNA alph.sagna@ensam.eu		

HISTORIQUE DES MODIFICATIONS

Édition	Révision	Date	Modification	Visa
1	1	2024-07-08	Version initiale	JLC, AA & EML
1	2	2024-10-10	Mise à jour du document	JLC
1	3	2024-11-19	Ajout chapitre « Évolutions du banc de mesure »	JLC
1	4	2025-06-28	Ajout du schéma électrique Application graphique PyQt pour le traitement des fichiers ROTOR.	JLC

Table des matières

1 Contexte.....	6
2 Cahier des charges.....	6
2.1 Expression des besoins.....	6
2.2 Analyse fonctionnelle.....	7
3 Solution proposée.....	9
3.1 Arbre produit (PBS).....	9
3.2 Système mécanique.....	9
3.3 Système informatique.....	13
3.4 Logiciel de pilotage du banc.....	17
4 Évolutions du banc de mesure.....	30
4.1 Migration RPi4 vers RPi5.....	30
4.2 Ajout de boutons de lancement du logiciel.....	33
4.3 Choix des composantes du champ magnétique à Tracer.....	33
4.4 Tracé des cartes couleur du champ magnétique.....	33
5 Évolutions logicielles.....	34
5.1 Application graphique PyQt pour le traitement des données.....	34
5.2 Utilisation de l'application.....	34
6 Annexes.....	39
6.1 Driver de moteur pas à pas TB6600.....	39
6.2 Driver de moteur pas à pas A4988.....	40
6.3 Capteur de champ magnétique MDT USB25103.....	41
6.4 Commandes du capteur USB25103 via le port série.....	47
6.5 CAL01 :Aimant de calibration du capteur USB25103.....	49
6.6 Dépôt GitHub.....	54

Index des figures

Figure 1: Bête à cornes.....	8
Figure 2: Pieuvre.....	8
Figure 3: Arbre produit du banc de mesure.....	9
Figure 4: Bloc mandrin motorisé et contre-pointe réglable.....	9
Figure 5: Bloc mandrin motorisé.....	10
Figure 6: Bloc contre-pointe.....	10
Figure 7: Platine porte sonde motorisée verticalement.....	10
Figure 8: Mise en plan du banc de mesure.....	11
Figure 9: Châssis du banc de mesure.....	12
Figure 10: Synoptique du système informatique du banc de mesure.....	13
Figure 11: La sonde magnétique USB25103.....	13
Figure 12: Moteur pas à pas NEMA23 de rotation du mandrin.....	14
Figure 13: Moteur pas à pas NEMA14 (déplacement vertical sonde magnétique).....	15
Figure 14: Schéma électrique du banc ROTOR.....	16
Figure 15: Onglet [ROTOR bench] de l'interface graphique.....	17
Figure 16: Onglet [ROTOR bench] de l'interface graphique.....	19
Figure 17: Logigramme du programme stryke.py.....	22
Figure 18: GUI : onglet de tracés des données.....	23
Figure 19: GUI : les 3 types de tracés possible pour un fichier "ROTOR...txt".....	23
Figure 20: Exemple de tracé "Courbe X-Y" du champ magnétique.....	24
Figure 21: Exemple de tracé "PSD" du champ magnétique.....	24
Figure 22: Exemple de tracé "Color Map" du champ magnétique.....	25
Figure 23: GUI : le type de tracés possible pour un fichier "FREE...txt"	25
Figure 24: Exemple de tracé de courbes avec le bouton [Plot FREE data].....	26
Figure 25: Courbes de calibration axiale et transverse du capteur USB25103.....	27
Figure 26: Courbes de vérification de la calibration de la sonde.....	28
Figure 27: Batterie sauvegarde TRC pour RPi5.....	30
Figure 28: Ajout du disque SSD avec la carte NVMe BASE.....	30
Figure 29: Configuration du RPi5.....	31
Figure 30: Réglages de localisation de la RPi5.....	31
Figure 31: GUI : Choix des composantes X,Y ou Z à tracer.....	33
Figure 32: GUI : Bouton "ColorMar ROTOR data".....	33

Index des tableaux

Tableau 1: Principales caractéristiques de la sonde magnétique USB25103.....	14
Tableau 2: Alimentations utilisées pour le banc de mesure.....	15
Tableau 3: Champs de l'onglet [ROTOR bench].....	18
Tableau 4: Format des noms des fichiers pour l'exploration angulaire du champ du rotor.....	18
Tableau 5: Champs de l'onglet [Free recording].....	20
Tableau 6: Format des noms des fichiers pour mesure libre du champ magnétique.....	20
Tableau 7: Commandes ASCII du capteur USB25103 - Lecture/modification des paramètres.....	47
Tableau 8: Commandes ASCII du capteur USB25103 - Lectures des données.....	48
Tableau 9: Format ASCII en sortie du capteur USB25103.....	48

1 Contexte

Le projet de développement d'un banc de mesure du champ magnétique d'un rotor de moteur électrique répond à un besoin exprimé par Alph SAGNA, chercheur au laboratoire I2M (Institut de Mécanique et d'Ingénierie de Bordeaux). Dans le cadre de ses recherches, Alph SAGNA travaille sur l'analyse des performances des moteurs électriques et notamment la caractérisation des aimants permanents du rotor.

Les moteurs électriques jouent un rôle crucial dans de nombreuses applications industrielles et commerciales, et leur bon fonctionnement est souvent dépendant de l'état des aimants permanents intégrés dans le rotor. Ces aimants peuvent subir des dommages dus à des chocs mécaniques ou à une exposition à des températures élevées, ce qui peut entraîner des défauts tels que la démagnétisation partielle ou totale. Ces défauts impactent directement l'efficacité et la fiabilité du moteur.

Pour diagnostiquer ces problèmes, il est essentiel de mesurer avec précision le champ magnétique généré par les aimants permanents. Le banc de mesure permettra d'évaluer les champs magnétiques radiaux et tangents du rotor, fournissant ainsi des données utiles pour déterminer si les aimants sont défectueux ou non. Ce diagnostic est primordial pour identifier les causes des dysfonctionnements et pour proposer des solutions appropriées, que ce soit pour la réparation ou l'amélioration des moteurs électriques.

2 Cahier des charges

2.1 Expression des besoins

Le banc de mesure doit permettre la mesure des composantes radiales et tangentielles du champ magnétique généré par les aimants permanents du rotor. Les caractéristiques spécifiques des mesures sont les suivantes :

- ✓ Nature des mesures : champ magnétique.
- ✓ Dimensions : 3
 - une composante radiale,
 - deux composantes (horizontale et verticale) dans un plan tangent au cylindre constituant l'enveloppe du rotor.
- ✓ Unités : Tesla (T) ou Gauss (G) [rappel : 1 T = 10000 G].
- ✓ Plage de mesure : de 0 à 2 Tesla.
- ✓ Précision visée : ± 5 mT (milli-Tesla).

Protocole de mesure

Le protocole de mesure doit être clairement défini pour garantir des résultats reproductibles et précis. Voici les étapes proposées pour le déroulement de la mesure :

- ✓ Positionnement initial du rotor : le rotor est fixé sur un support permettant une rotation contrôlée et un serrage axial pour éliminer tout jeu axial pendant la rotation.
- ✓ Positionnement du capteur magnétique : le capteur magnétique est monté sur une platine motorisée permettant une translation suivant l'axe vertical (axe Z). Les mesures commencent en position haute du rotor.
- ✓ Rotation du rotor : le rotor tourne de 360° par pas multiple de $1,2^\circ$. La valeur du pas est fixée grâce à une interface GUI.
- ✓ Déplacement du capteur : le système déplace le capteur sur l'axe Z pour prendre des mesures sur un jeu de positions discrètes. Le nombre et la valeur des positions de mesure sont fixés grâce à une interface GUI.

- ✓ Mesure du champ magnétique : à chaque incrément de rotation et à chaque position verticale de mesure, les 3 composantes (1 radiale et 2 tangentialles) du champ magnétique sont mesurées.
- ✓ Stockage des données : les données mesurées sont enregistrées dans un fichier dont le nom inclut les valeurs de tous les paramètres utilisés pour l'expérience.
- ✓ Sauvegarde des paramètres des mesures : tous les paramètres nécessaire à la reproduction de la mesure sont écrits dans l'entête de chaque fichier de données.

2.1.1 Traitements

Après la collecte des données, plusieurs traitements peuvent être effectués pour analyser les résultats :

- ✓ Carte couleur du champ magnétique : génération d'une carte couleur représentant le champ magnétique dans le plan de mesure. Cette carte doit indiquer la variation de l'intensité du champ magnétique en fonction de l'angle de rotation et de la position du capteur.
- ✓ Analyse des anomalies : détection et identification des zones présentant des anomalies ou des défauts magnétiques, potentiellement indiquant des aimants permanents défectueux.
- ✓ Rapports détaillés : production de rapports détaillés incluant les données brutes, les cartes de champ magnétique, et les analyses des anomalies. Ces rapports seront utilisés pour diagnostiquer les problèmes et proposer des solutions de réparation ou d'amélioration des moteurs électriques.
- ✓ Archivage et traçabilité : toutes les données et analyses doivent être archivées de manière à assurer une traçabilité complète et à permettre des comparaisons futures si nécessaire.

2.2 Analyse fonctionnelle

L'analyse fonctionnelle vise à comprendre et décrire les fonctions principales et secondaires du banc de mesure. Elle se décompose en plusieurs étapes et diagrammes :

2.2.1 Diagramme de contexte (Diagramme de « bête à cornes »)

Le diagramme de « bête à cornes » permet de répondre aux questions :

- **À qui le produit rend-il service ?** Chercheur (Alph SAGNA)
- **Sur quoi agit-il ?** Champ magnétique du rotor
- **Dans quel but ?** Déterminer si les aimants permanents sont défectueux

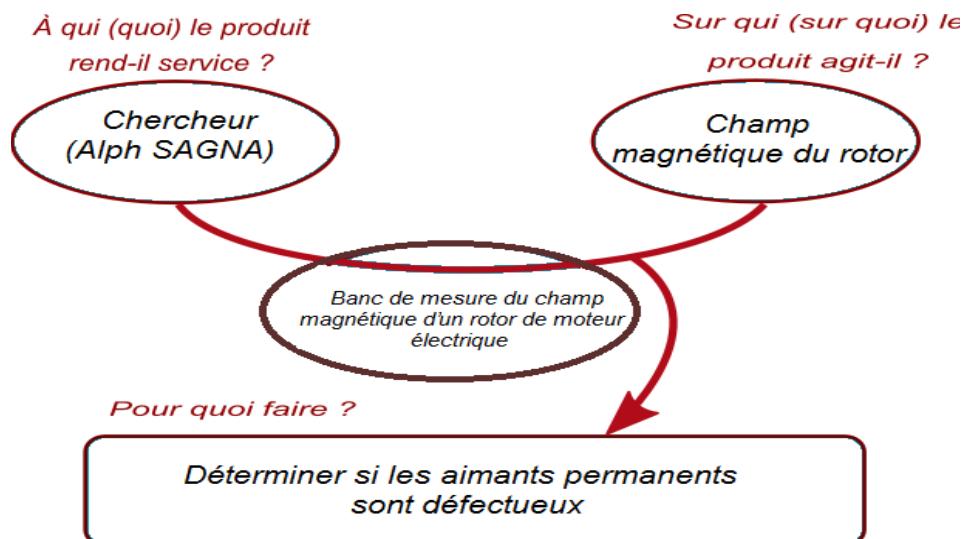


Figure 1: Bête à cornes

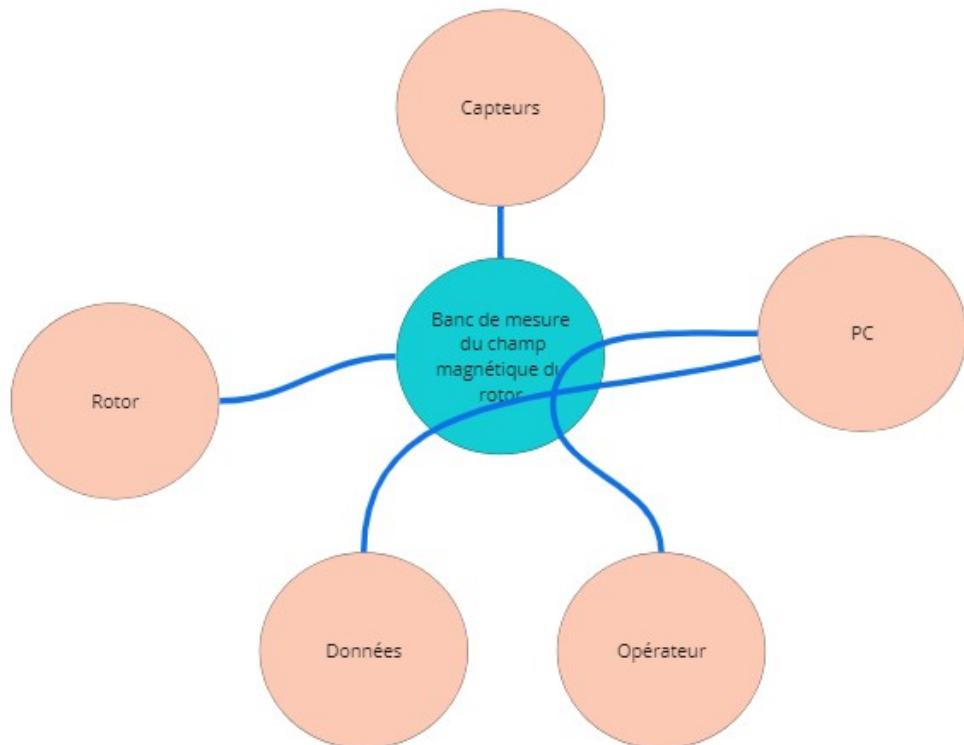


Figure 2: Pieuvre

@Mehdi & @Ali : il faut écrire un paragraphe qui explique la lecture du diagramme pieuvre...

3 Solution proposée

Les paragraphes qui suivent décrivent les architectures mécanique et informatique de la solution proposée pour le « Banc de mesure du champ magnétique d'un rotor ».

3.1 Arbre produit (PBS)

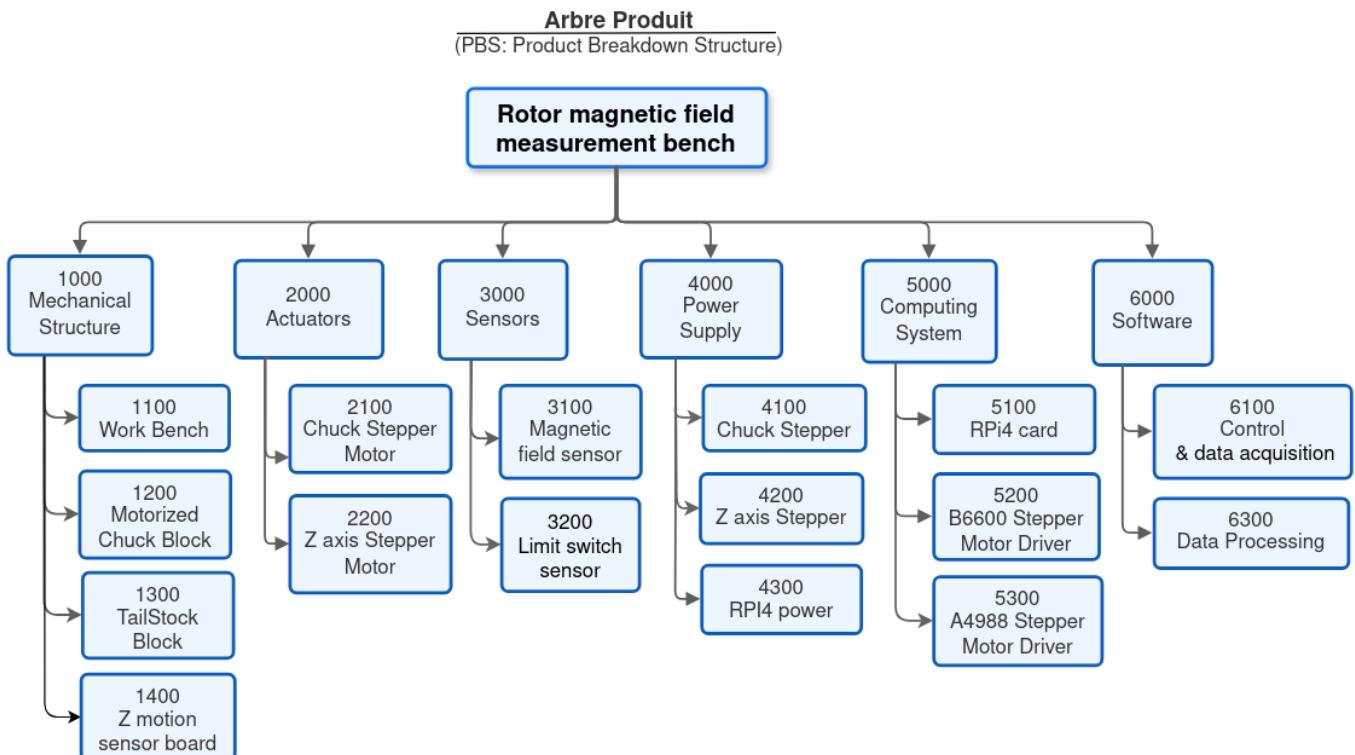


Figure 3: Arbre produit du banc de mesure.

3.2 Système mécanique

3.2.1 Bloc mandrin motorisé / contre-pointe réglable

Le bloc mandrin motorisé avec contre-pointe réglable est un modèle de la marque RATTMOTOR (lien Amazon : <https://www.amazon.fr/dp/B08LPMMNNZ>).

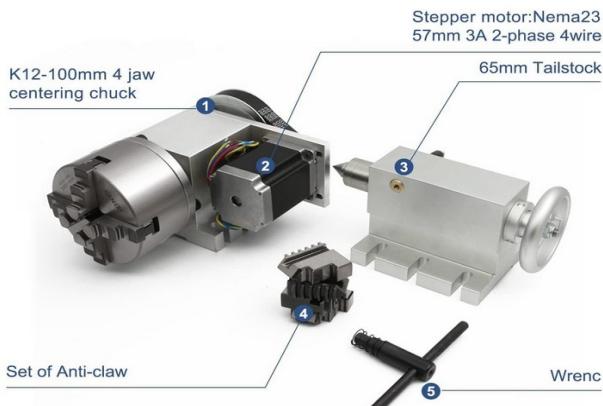


Figure 4: Bloc mandrin motorisé et contre-pointe réglable.

Bloc mandrin motorisé

La figure 5 montre le bloc mandrin motorisé. Il inclut :

- un mandrin de précision, assurant un positionnement précis de l'arbre du rotor,
- un moteur pas à pas qui transmet la rotation au mandrin via un système poulies-courroie de facteur de réduction 1:6.

Les caractéristiques du moteur pas à pas sont présentées au paragraphe 3.3.2 page 14.



Figure 5: Bloc mandrin motorisé.

Caractéristiques du mandrin :

Type de mandrin : mandrin de centrage K12 100 mm 4 mâchoires.

Hauteur totale : 115 mm.

Diamètre de l'arbre de sortie : 25 mm.

Rapport de réduction : 6:1 .

Moteur : pas-à-pas NEMA23.



Figure 6: Bloc contre-pointe.

Bloc contre-pointe

La figure 6 montre le bloc contre-pointe (*tailstock*) du banc de mesure. Il est conçu pour assurer un serrage efficace de l'extrémité de l'arbre du rotor sur le banc de mesure tout en permettant une adaptation à la longueur de l'arbre du rotor.

3.2.2 Platine porte sonde motorisée

Le déplacement vertical de la sonde magnétique est assuré par un « axe numérique » équipé d'un moteur pas à pas NEMA14 et d'une plaque porte sonde en PLA fixée à trois douilles à billes assurant la translation verticale sans jeu de la sonde sur deux axes métallique. La figure 7 montre la platine imprimée par impression additive.

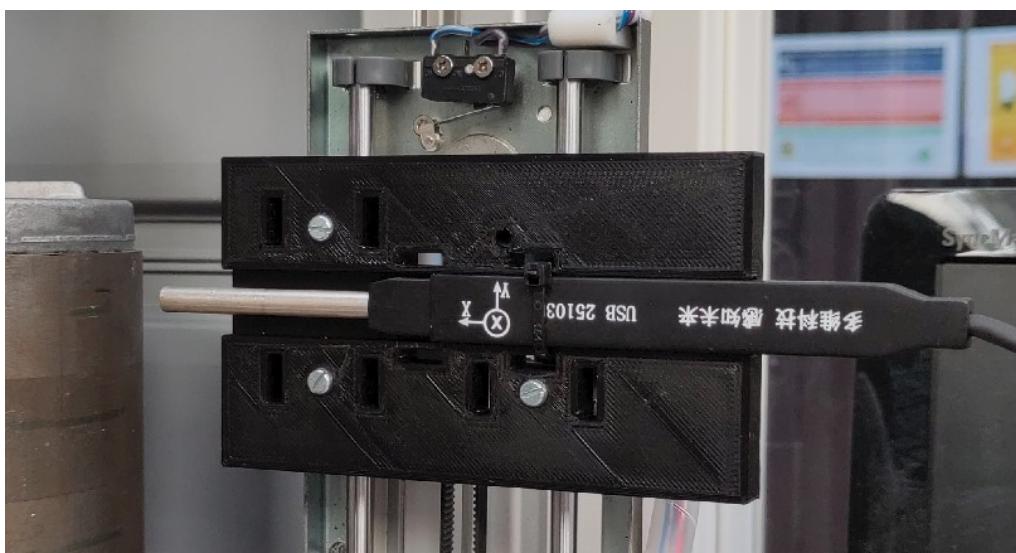


Figure 7: Platine porte sonde motorisée verticalement.

Un capteur fin de course situé à l'extrémité supérieure de la platine permet de référencer le « point haut » de l'axe numérique pour garantir un positionnement correct de la sonde sur les différentes positions de mesure.

3.2.3 Châssis

Le châssis du banc de mesure est conçu pour supporter l'ensemble du système de manière stable et précise. La photo de la figure 8 montre la mise en plan du châssis. Il est fabriqué avec des profilés d'aluminium de 45 x 45 mm, offrant légèreté et robustesse.

Caractéristiques du châssis :

Matériau : Profilés d'aluminium extrudé

Dimensions : Hauteur totale : 740 mm, largeur : 375 mm, profondeur : 320 mm

Points de montage : Intégrés pour le mandrin, la contre-pointe et d'autres composants

Stabilité : Embase élargie pour assurer une bonne stabilité lors des mesures.

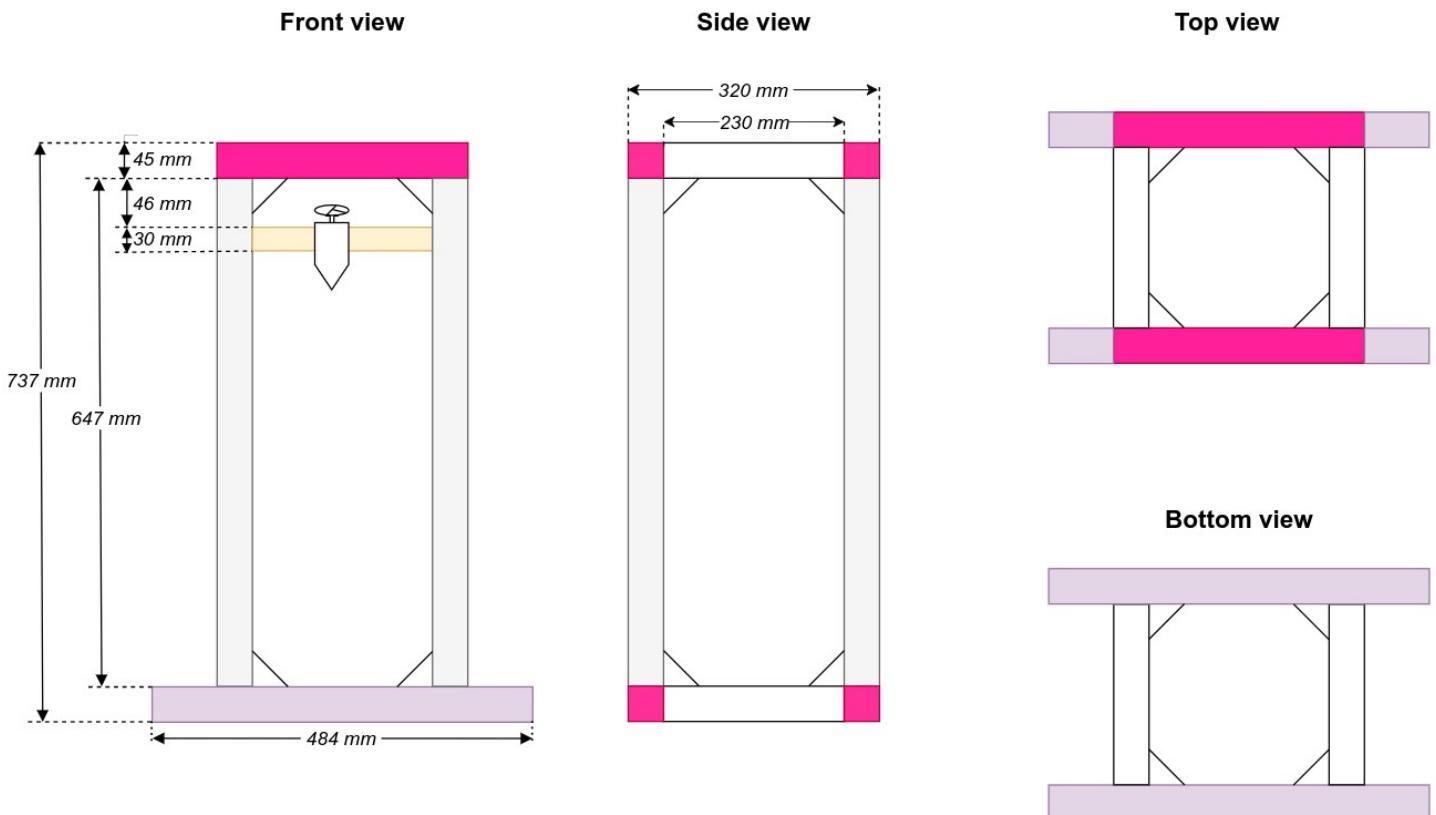


Figure 8: Mise en plan du banc de mesure.

La conception du châssis intègre des points de montage permettant la fixation du mandrin motorisé, de la contre-pointe, et des autres composants mécaniques et électroniques, comme le montre la figure 9.

La contre-pointe est montée sur un support permettant sa translation horizontale, ce qui permet d'ajuster l'alignement vertical avec le mandrin et le rotor. Le volant de la contre pointe permet le positionnement vertical en fonction de la dimension du rotor à tester..

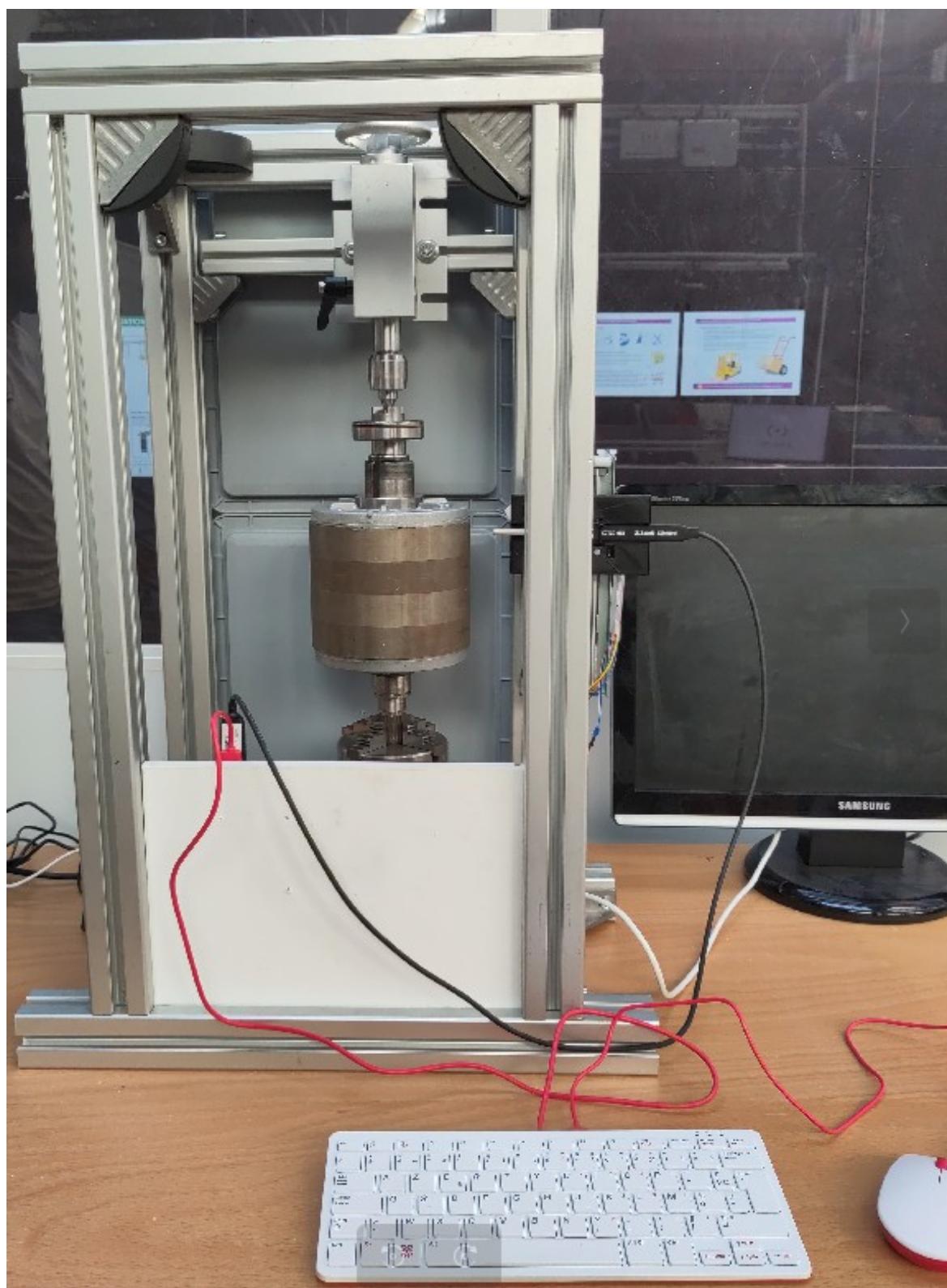


Figure 9: Châssis du banc de mesure.

3.3 Système informatique

Le pilotage du banc de mesure est confié à une carte Raspberry Pi qui possède un port USB host pour la connexion du capteur de champ magnétique. La figure 10 montre le synoptique du système informatique proposé pour le pilotage du banc de mesure. Dans les évolutions de novembre 2024 la RPi4 initialement choisie est remplacée par une RPi5.

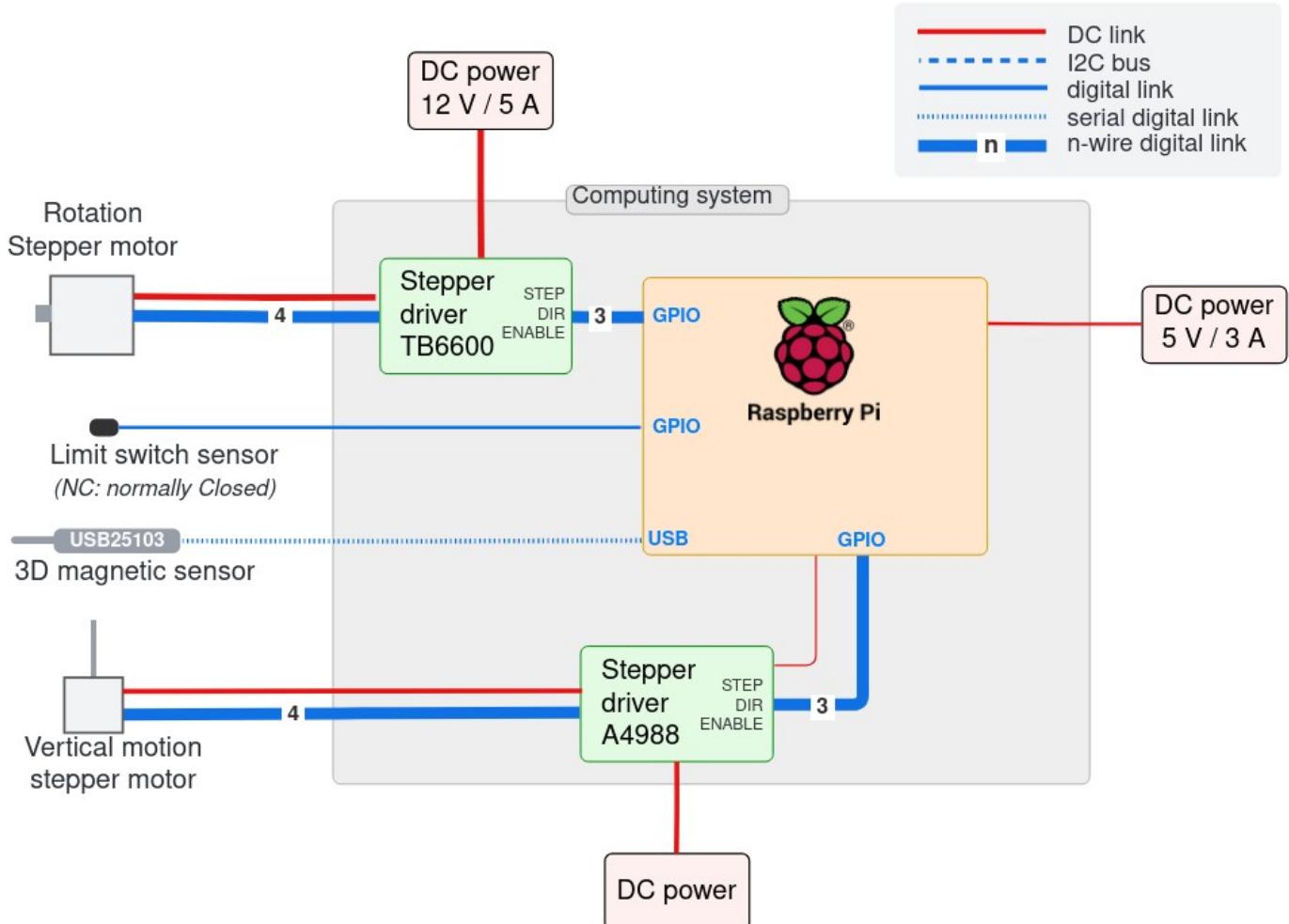


Figure 10: Synoptique du système informatique du banc de mesure

3.3.1 Sonde magnétique

Le champ magnétique du rotor est mesuré à l'aide du capteur USB25103. Les détails de ce capteur sont présentés en . La figure 11 montre les 3 directions selon lesquelles est mesuré le champ magnétiques avec les 3 capteurs équipant la sonde.



Figure 11: La sonde magnétique USB25103

Les principales caractéristiques de la sonde magnétique (tirées de l'annexe au paragraphe 6.3 page 40) sont récapitulées sur le tableau 1.

Tableau 1: Principales caractéristiques de la sonde magnétique USB25103.

Parameter	Comments	Min	Typ	Max	Unit
Supply Voltage	From USB Bus		5		V
Sensing Direction	3D : X/Y/Z				
Hardware Interface	USB 2.0				
GUI Supported Operating Systems	Windows 7, 8, 10 Android				
Custom Program Compatible Operating Systems (2)	Windows, Macintosh, Linux, Android, iOS				
Maximum Field Range		-2	2		T
Low Noise Field Range		-0.22	0.22		T
Uncorrected Nonlinearity	Fit @ $\pm 0.5 \text{ kT}$		2		%FS
RMS Noise	No averaging, Low noise, 16 bits		7.5		nT
Temperature Coefficient of Sensitivity		-0.06			%/ $^{\circ}\text{C}$
ADC Resolution		16			bits
Sampling Frequency	Resolution dependent	200	250		Hz
Orthogonality	Can be software corrected		2		degree

3.3.2 Moteur pas à pas de la rotation du mandrin

Le moteur pas à pas équipant le mandrin motorisé est un NEMA23 dont les caractéristiques sont :

- **Type** : Moteur pas à pas biphasé
- **Modèle** : NEMA23, longueur 76 cm
- **Pas angulaire** : 1.8° (200 pas par tour)
- **Référence** : 57HS76-3004A08-030-04



Figure 12: Moteur pas à pas NEMA23 de rotation du mandrin.

Il est piloté par le driver **TB6600**, dont la fiche technique est reproduite en annexe à la page 38.

3.3.3 Moteur pas à pas du déplacement vertical du capteur magnétique

Le moteur pas à pas équipant le mandrin motorisé est un NEMA23 dont les caractéristiques sont :

- **Type** : Moteur pas à pas biphasé
- **Modèle** : NEMA14
- **Pas angulaire** : 1.8° (200 pas par tour)
- **Référence** : 35HJB428-14

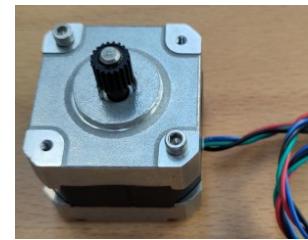


Figure 13: Moteur pas à pas NEMA14 (déplacement vertical sonde magnétique).

Il est piloté par le driver **A4988**, dont la fiche technique est reproduite en annexe à la page 39.

3.3.4 Alimentations électriques

Plusieurs alimentations sont utilisées pour le fonctionnement du banc de mesure :

Tableau 2: Alimentations utilisées pour le banc de mesure

Alimentation	Puissance	Tension / courant
Carte RPi5	25 W	3 V / 5 A
Moteur pas à pas du bloc mandrin	60 W	12 V / 5 A
Moteur pas à pas de l'axe Z	18 W	9 V / 2 A

3.3.5 Schéma électrique

La figure 14 montre le schéma électrique du banc ROTOR.

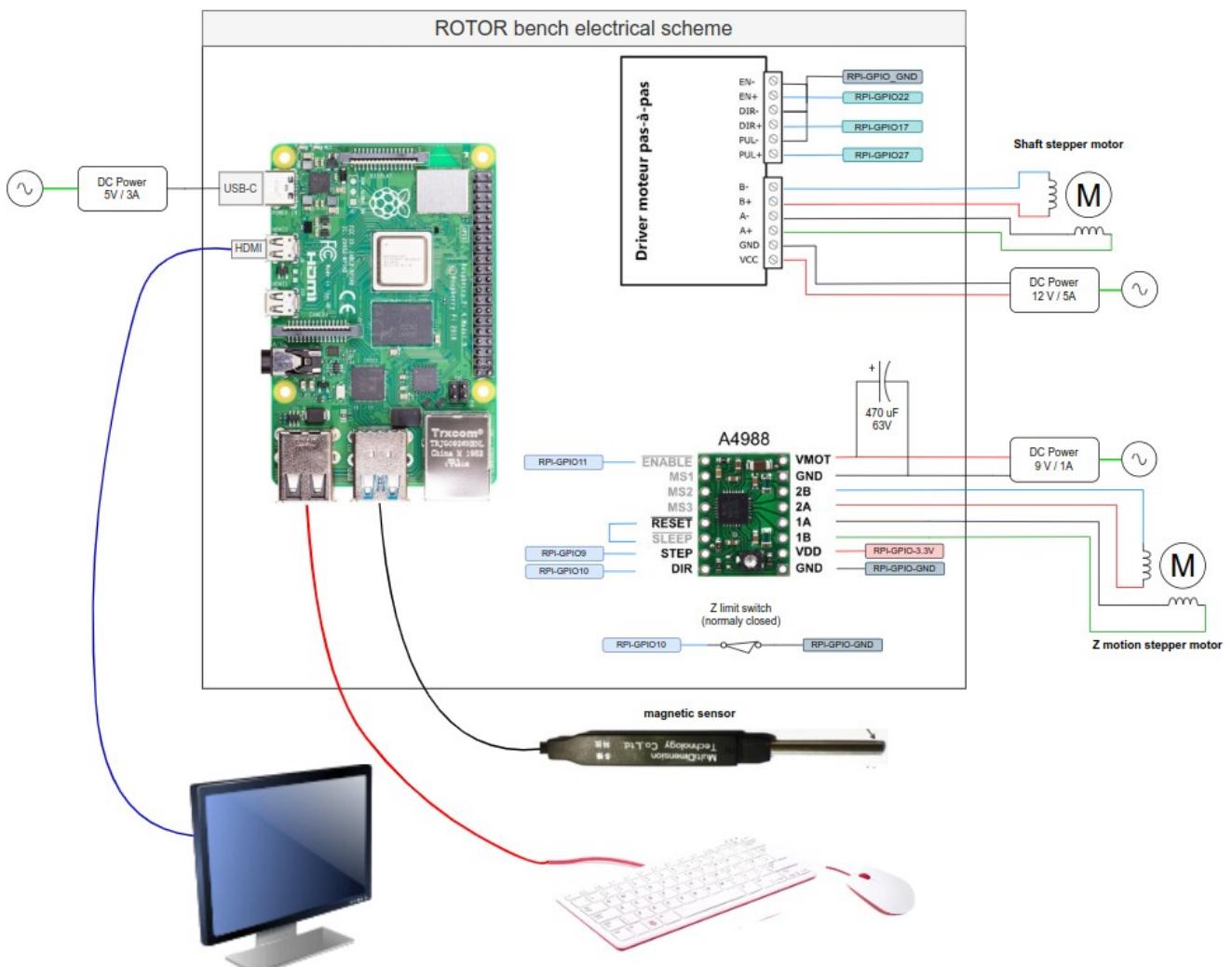


Figure 14: Schéma électrique du banc ROTOR.

3.4 Logiciel de pilotage du banc

Le programme de pilotage du banc de mesure est réalisé en langage Python. Il est exécuté sur la carte RPi5 qui pilote le banc en utilisant un Environnement Virtuel Python, spécialement créé pour le projet, nommé *rotor*. L'interface graphique du logiciel est écrite avec le module PyQt5¹ qui permet de créer des interfaces graphiques basée sur la bibliothèque PyQt. Elle est organisée en onglets permettant d'utiliser les fonctionnalités du logiciel :

- Configuration et lancement d'une séquence de mesures du champ magnétique d'un rotor à différentes positions verticales, avec exploration sur 360°. avec balayage par angle ou par position Z de la sonde
- Enregistrement des mesures de la sonde magnétique libre, avec une fréquence et une durée fixées.
- Tracés :
 - « Courbes X-Y » ou « ColorMap » des 3 composantes du champ magnétique du rotor en fonction de la position angulaire, pour toutes les positions verticales choisies.
 - Les spectres d'amplitude (*PSD : Power Spectral Dendity*) des 3 composantes du champ magnétique.
 - « Courbes X-Y » des 3 composantes du champ magnétique du rotor mesurées par la sonde libre, à intervalle régulier pendant une durée fixée.

3.4.1 Exploration motorisée du champ magnétique d'un rotor

La figure 31 montre le premier onglet nommé **[ROTOR bench]** : il permet de configurer et de lancer l'exploration du champ magnétique d'un rotor.

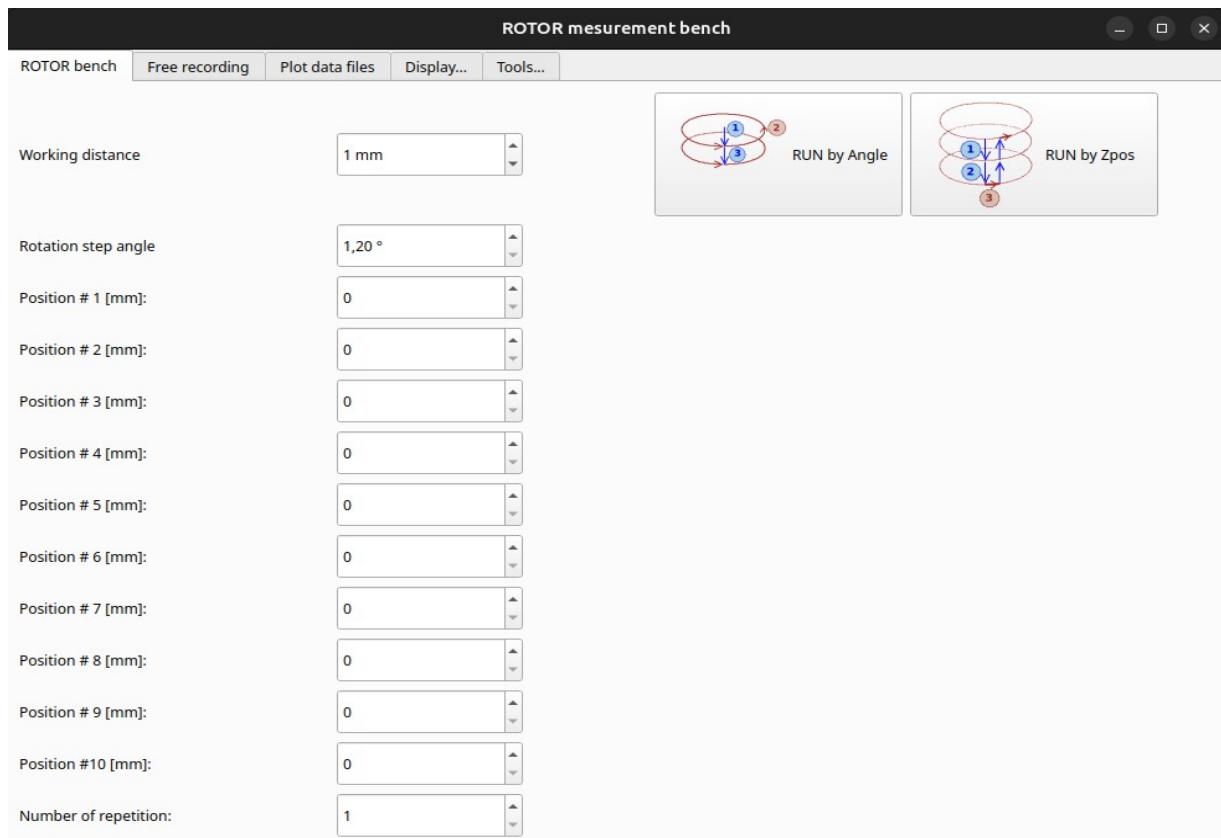


Figure 15: Onglet [ROTOR bench] de l'interface graphique

La signification des champs de cet onglet est donné par le tableau 3 :

1 <https://www.pythonguis.com/installation/install-pyqt5-raspberry-pi/>

Tableau 3: Champs de l'onglet [ROTOR bench]

Champ	signification	Unité
Working distance	Distance entre l'extrémité de la sonde magnétique et le rotor	mm
Rotation step angle	Pas angulaire de rotation du rotor	°
Position #1	Choix de la première position verticale de la sonde pour la mesure du champ magnétique, comptée à partir du haut.	mm
Position #2	Choix de la position verticale n°2 pour la mesure du champ magnétique. L'interface graphique assure que :Position n° i+1 > Position n° i	mm
Number of repetition	Permet de lancer plusieurs fois de suite la même exploration du champ magnétique à des fins d'étude statistique par exemple.	

Fonctionnement des boutons **[RUN by Angle]** et **[RUN by Zpos]** de l'onglet :

- Création d'un fichier /tmp/ROTOR_LAUNCH.txt où sont écrites les données de l'onglet sous la forme d'un dictionnaire Python, avec notamment le champ « **MODE** » pour différencier les 2 boutons :

[RUN by Angle]

```
{"MODE": "ByAngle",
"WORK_DIST": 1,
"ROT_STEP_DEG": 1.2,
"Z_POS_MM": [0],
"NB_REPEAT": 1}
```

[RUN by Zpos]

```
{"MODE": "ByZpos",
"WORK_DIST": 1,
"ROT_STEP_DEG": 1.2,
"Z_POS_MM": [0],
"NB_REPEAT": 1}
```

- Lancement d'un terminal sur la RPi5, qui exécute la commande "python stryke.py" dans l'Environnement Virtuel Python *rotor*. Le logigramme du programme *stryke.py* est donné par la figure 17, page 22.

Les données mesurées par la sonde magnétique lors des explorations angulaire et spatiale (axe Z) du rotor sont stockées dans un fichiers ASCII dont le nom est généré automatiquement suivant le modèle suivant :

Mesure en mode **ByAngle** :

ROTOR_YYYY-MM-DD-hh-mm_WDIST-d_ROTSTEP-angle_Zpos1_..._Zposk_nofN-a.txt

Mesure en mode **ByZPos** :

ROTOR_YYYY-MM-DD-hh-mm_WDIST-d_ROTSTEP-angle_Zpos1_..._Zposk_nofN-z.txt

La signification des différents champs de saisie proposés dans cet onglet est donné par le tableau 4 :

Tableau 4: Format des noms des fichiers pour l'exploration angulaire du champ du rotor.

Symbole	Commentaire	Exemple
YYYY-MM-DD	Année, mois et jour au moment du lancement de la mesure (horodatage)	2024-07-10
hh-mm	Heure et minute au moment du lancement de la mesure (horodatage)	13-55
d	Distance rotor-sonde (mm)	20
angle	Valeur du pas angulaire (en degrés) pour la rotation du rotor (multiple de 1.2°)	2.4
Zpos1	1ère position de mesure (en mm, à partir du haut du rotor)	0
Zposk	k ^{ième} position de mesure	90
n, N	Si l'expérience est répétée N fois, numéro de la répétition (1 ≤ n ≤ N)	1of1 1of3, 2of3, 3of3

Exemple :

Le fichier ROTOR_2024-07-04-15-51_WDIST-10_ROTSTEP-1.2_000_030_060_090_1of1-z.txt correspond à une mesure en mode **By_Zpos**, avec les paramètres :

- mesure effectuée le 4 juillet 2024 à 15 h 51,
- sonde placée à 10 mm de la surface du rotor,
- pas de rotation du rotor de 1.2°,
- 4 positions de la sonde à 0, 30, 60 et 90 mm en descendant depuis le haut du rotor.

3.4.2 Enregistrement à intervalle régulier sur une durée fixée

La figure 16 montre le 2me onglet **[Free recording]** : enregistrement des composantes X, Y et Z du champ magnétique mesuré par la sonde, avec période et durée choisies dans l'interface graphique :

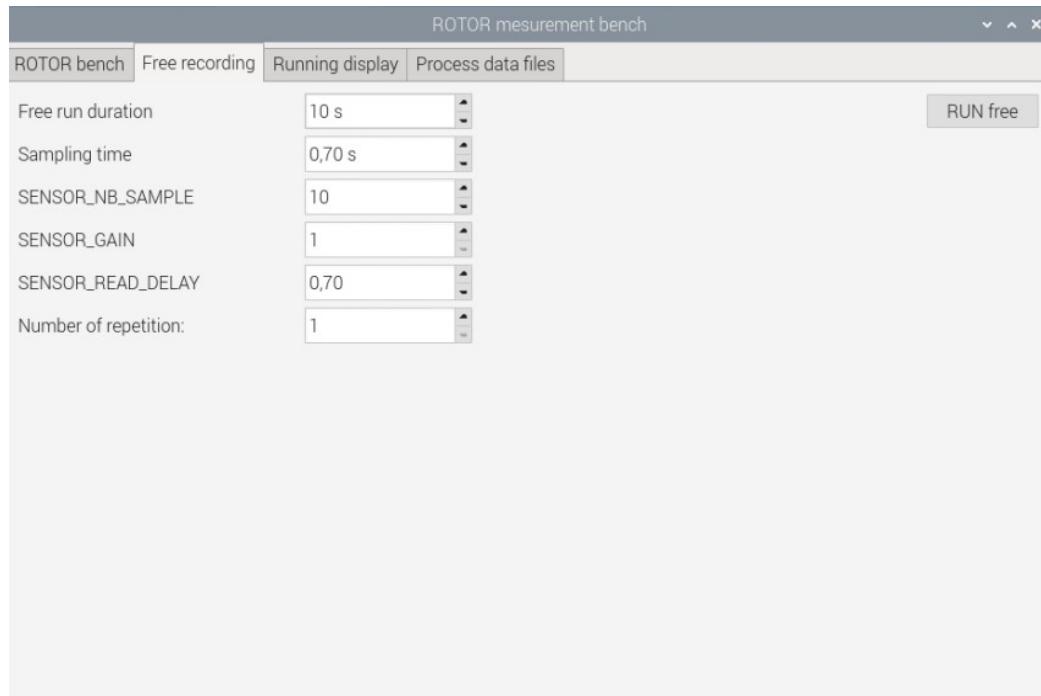


Figure 16: Onglet [ROTOR bench] de l'interface graphique.

La signification des différents champs de saisie proposés dans cet onglet est donné par le tableau 5.

Tableau 5: Champs de l'onglet [Free recording]

Champ	signification	Unité
Free run duration	Durée de l'enregistrement.	mm
Sampling time	Période d'acquisition du champ magnétique	s
SENSOR_NB_SAMPLE	Nombre d'échantillon moyennés pour donner une valeur du champ magnétique.	
SENSOR_GAIN	Gain de la sonde : 1, 2, 4 ou 8.	
SENSOR_READ_DELAY	Temps d'attente avant de lire la valeur moyennées.	s
Number of repetition	Lancer plusieurs fois de suite la même mesure du champ magnétique à des fins d'étude statistique par exemple.	

Fonctionnement du bouton **[RUN Free]** :

- 1 Création d'un fichier /tmp/ROTOR_LAUNCH.txt où sont écrites les données de l'onglet sous la forme d'un dictionnaire Python :

```
{"MODE": "Free",
 "DURATION": 10,
 "SAMPLING": 0.7,
 "SENSOR_NB_SAMPLE": 10,
 "SENSOR_GAIN": 1,
 "SENSOR_READ_DELAY": 0.7,
 "NB_REPEAT": 1}
```

- 2 Lancement d'un terminal sur la RPi5, qui exécute la commande "python stryke.py" dans l'Environnement Virtuel Python rotor. Le logigramme du programme stryke.py est donné par la figure 17, page 22.

Les données mesurées par la sonde magnétique pendant la durée demandée sont stockées dans un fichiers ASCII dont le nom est généré automatiquement suivant le modèle suivant :

FREE_YYYY-MM-DD-hh-mm_SMPL-s_GAIN-g_DELAY-d_noN.txt

La signification des différents champs des noms de fichier donné par le tableau 6 :

Tableau 6: Format des noms des fichiers pour mesure libre du champ magnétique.

Symbol	Commentaire	Exemple
YYYY-MM-DD	Année, mois et jour au moment du lancement de la mesure (horodatage)	2024-07-11
hh-mm	Heure et minute au moment du lancement de la mesure (horodatage)	13-55
s	Nombre d'échantillon moyennés	10

	(valeur du champ SENSOR_NB_SAMPLE)	
g	Valeur du gain de la sonde (valeur du champ SENSOR_GAIN)	1
d	Délais avant de lire la sonde (valeur du champ SENSOR_REDIA_DELAY)	0.7
n, N	Si l'expérience est répétée N fois, numéro de la répétition ($1 \leq n \leq N$)	1of1 1of3, 2of3, 3of3

Exemple :

Le fichier **FREE_2024-07-04-15-51_SMPL-10_GAIN-1_DELAY-0.7_1of1.txt** correspond :

- à une mesure lancée le 4 juillet 2024 à 15 h 51,
- 10 échantillons sont moyennés par la sonde pour fournir la valeur des 3 composantes du champ magnétique,
- le gain de la sonde est fixé à 1,
- un délai de 0.7 s sépare le moment où la demande d'une valeur du champ magnétique est envoyé à la sonde et le moment où la valeur est lue.

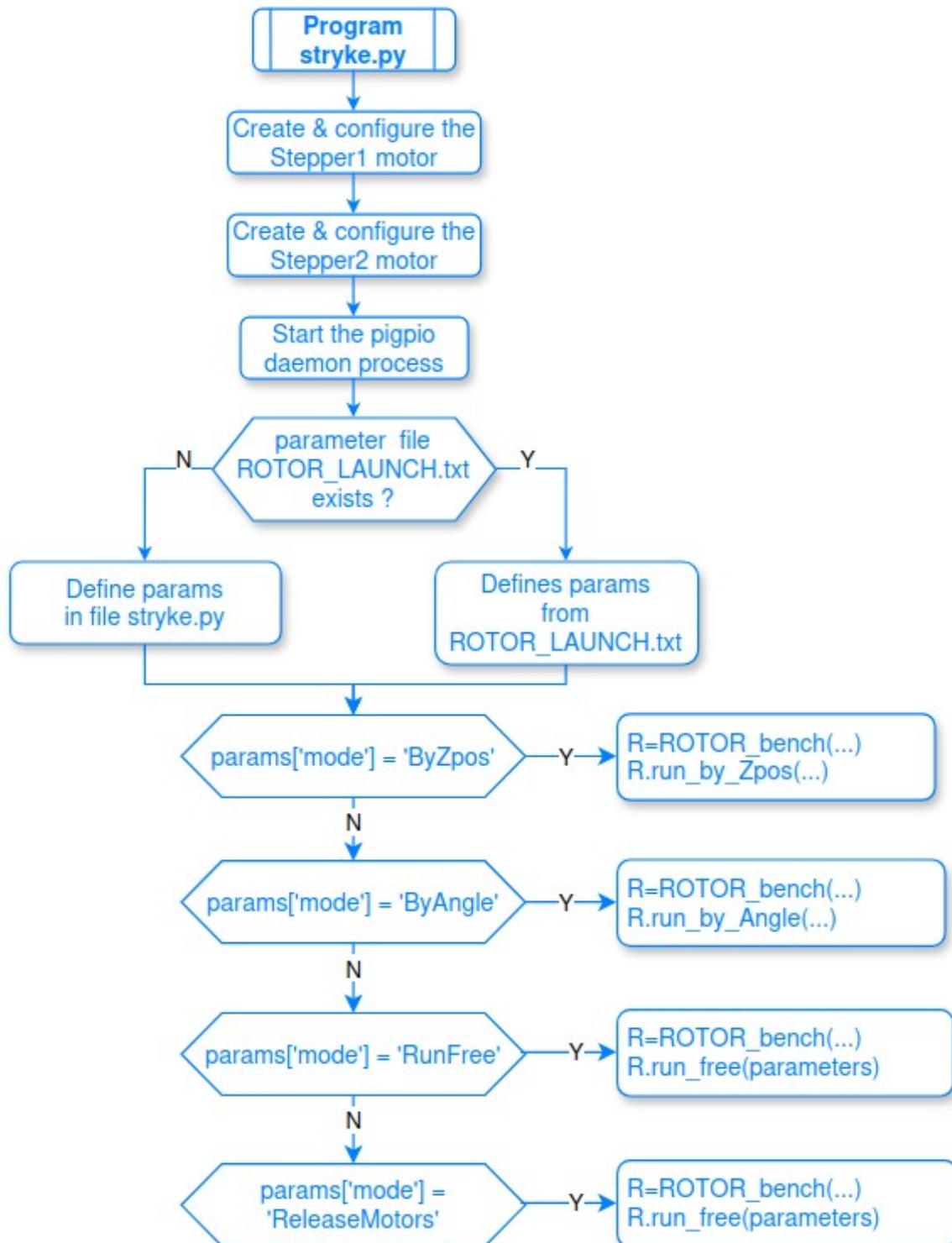


Figure 17: Logigramme du programme stryke.py.

3.4.3 Tracés des données

La figure 18 montre l'onglet [Plot data files] : il permet de tracer les courbes relatives aux fichiers produits par l'onglet [ROTOR bench] ou par l'onglet [Free recording]. Les boutons de tracé sont grisés tant qu'un fichier n'est pas choisi.

Pour tous les fichiers, on peut choisir les composantes X, Y, Z qui seront tracées à l'aide des « cases à cocher » en haut à droite de l'onglet [Plot data files] (cf figure ci-dessus).

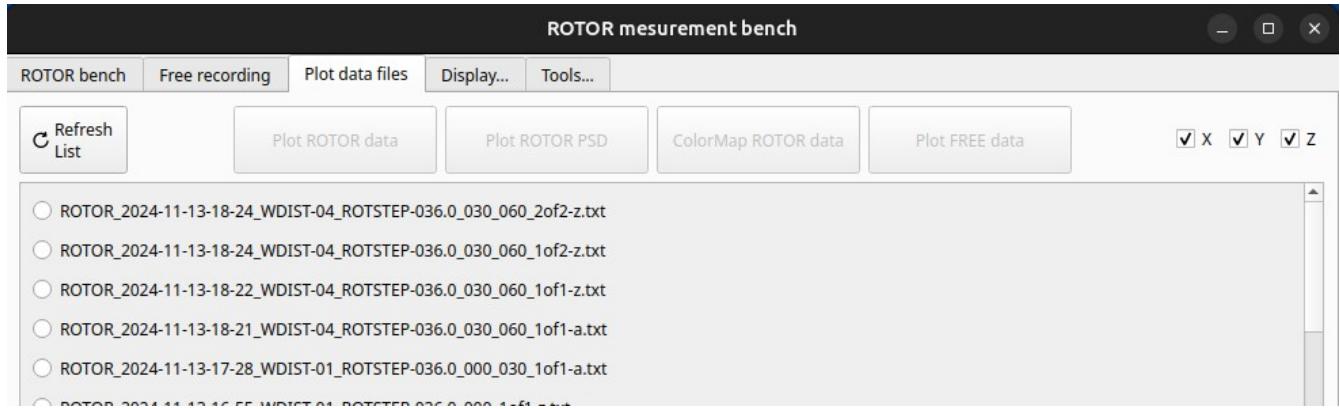


Figure 18: GUI : onglet de tracés des données.

Quand on sélectionne un fichier commençant par ‘ROTOR...’ on peut faire 3 type de tracés :

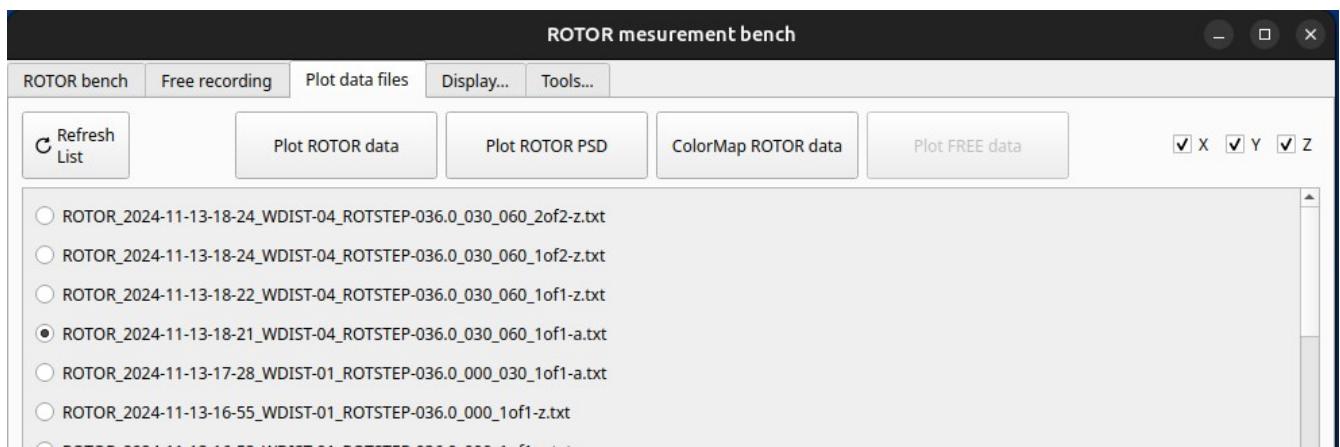
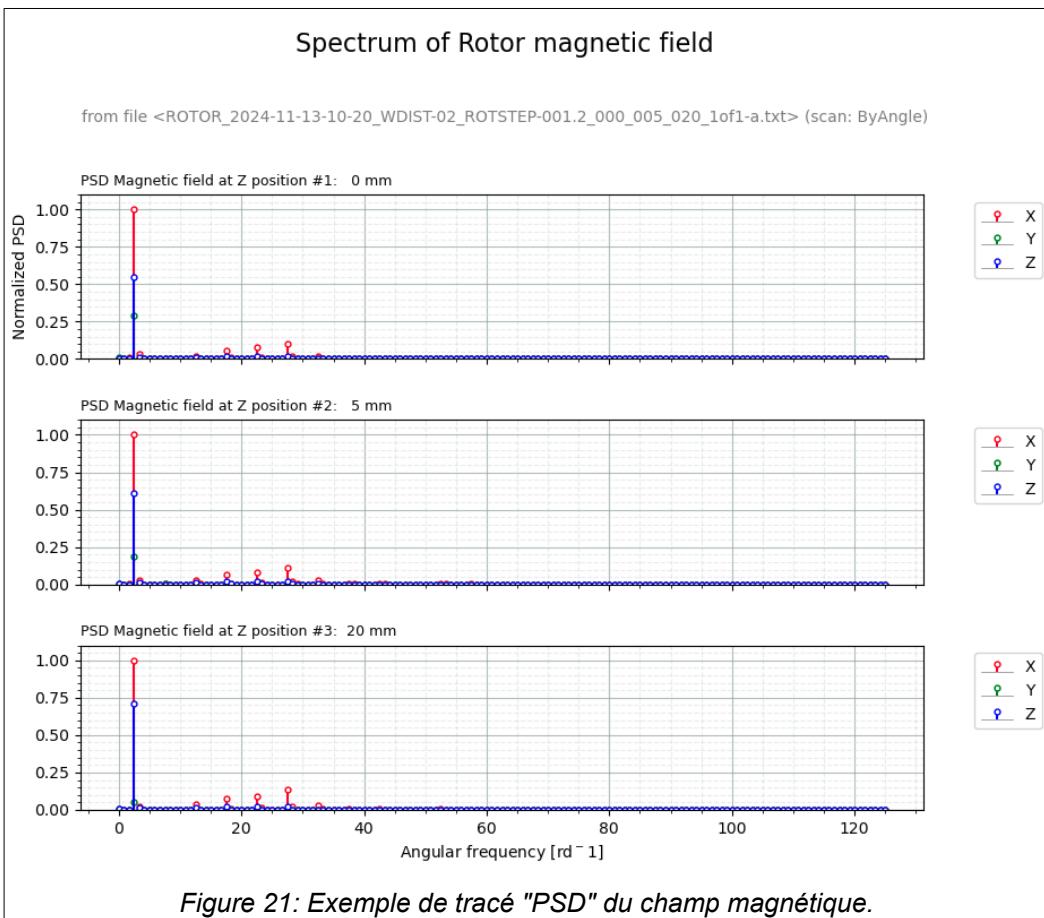
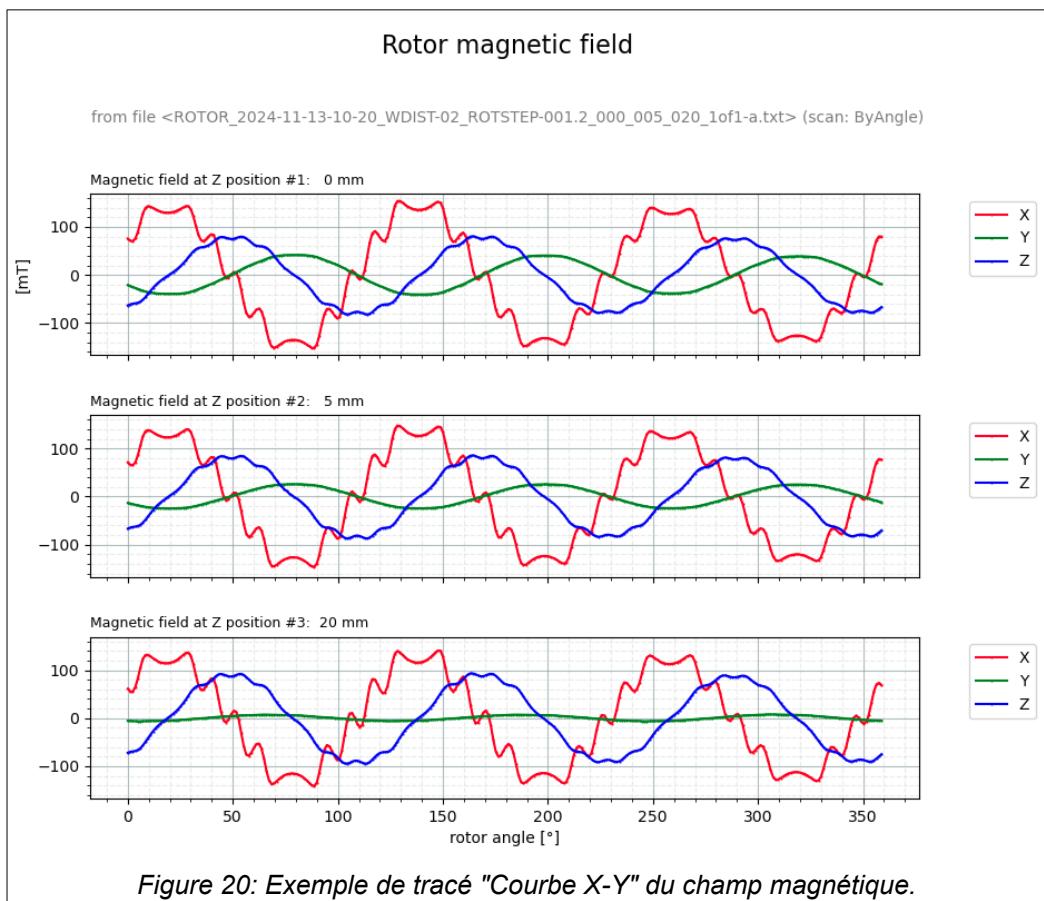
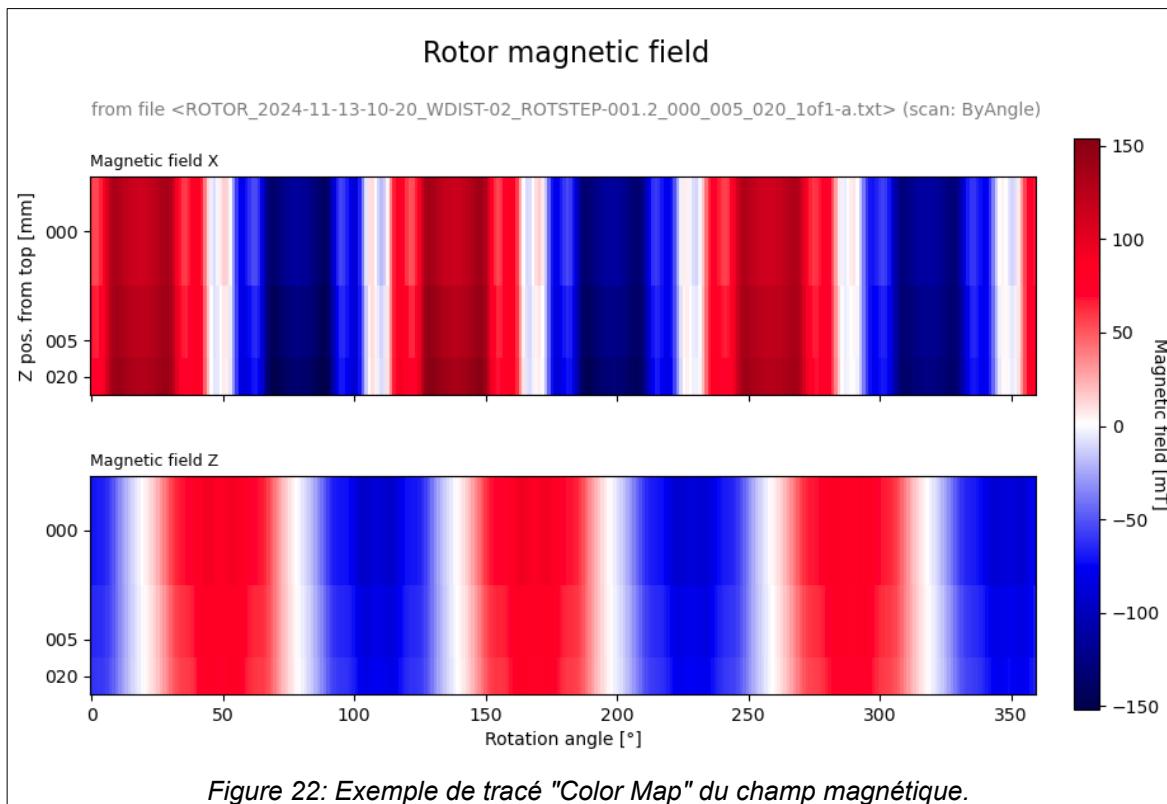


Figure 19: GUI : les 3 types de tracés possible pour un fichier "ROTOR...txt".

1. Bouton [Plot ROTOR data] : « Courbes X-Y » pour chacune des positions de la sonde, les composantes X, Y, Z choisies sont tracée en fonction de l'angle du rotor (figure 20, page 24).
2. Bouton [Plot ROTOR PSD] : Spectre d'amplitude (*Power Spectral Density : PSD*) des composantes X, Y, Z choisies en fonction de la fréquence angulaire (figure 21, page 24).
3. Bouton [ColorMap ROTOR] : Carte de couleur (*ColorMap*) des composantes X, Y, Z choisies en fonction de la position Z de la sonde et de l'angle du rotor (figure 22, page 25).





Quand on sélectionne un fichier commençant par ‘FREE...’ on peut faire 1 type de tracés :

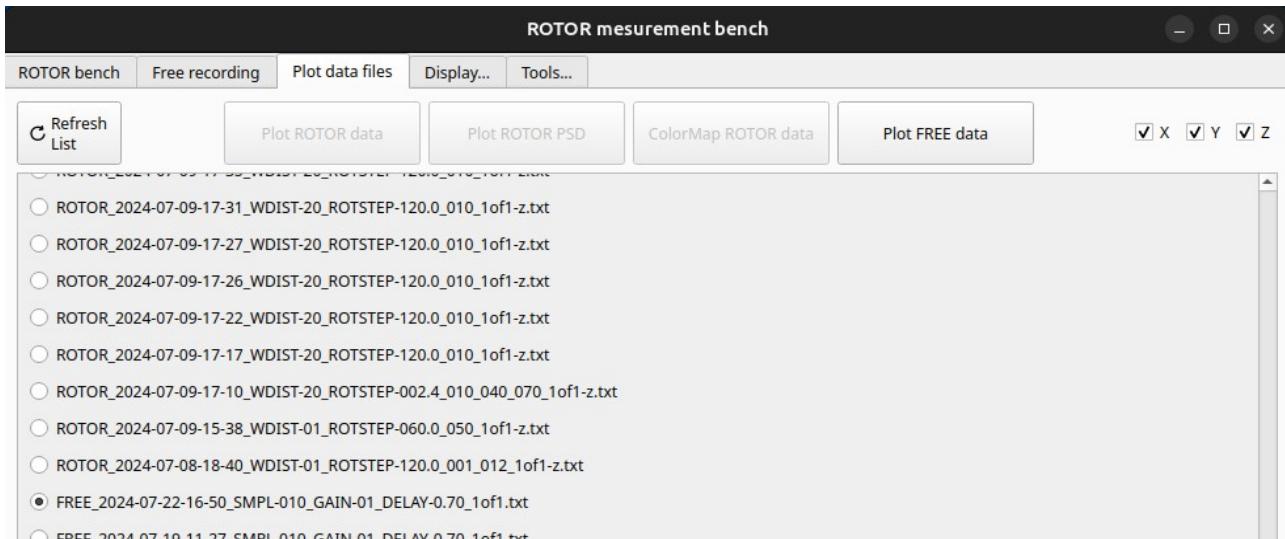


Figure 23: GUI : le type de tracés possible pour un fichier "FREE...txt".

La figure 24 illustre ce type de tracé :

Rotor magnetic field

from file <FREE_2024-07-12-10-36_SMPL-010_GAIN-01_DELAY-0.70_1of2.txt>

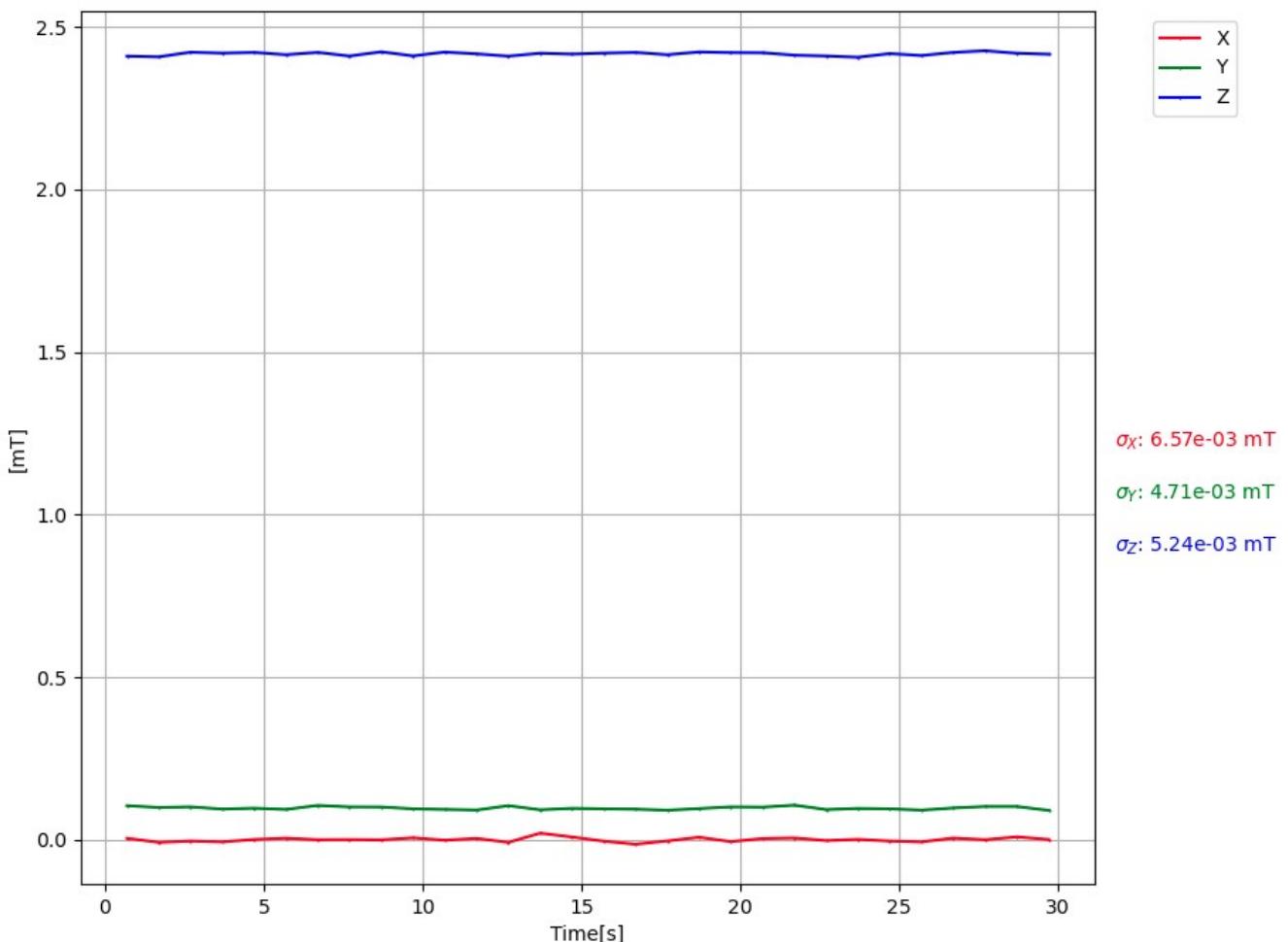
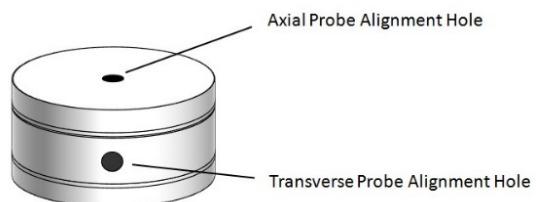


Figure 24: Exemple de tracé de courbes avec le bouton [Plot FREE data].

3.4.4 Vérification de la calibration de la sonde magnétique

Le capteur USB27103 est livré avec un aimant de calibrage CAL01. L'aimant de référence CAL01 est composé de deux anneaux à aimant permanent magnétisés axialement permettant un étalonnage du magnétomètre axial et transversal.



Les graphiques de la figure 25 montrent l'allure théorique des valeurs du champ magnétique lors du déplacement de la sonde à travers le trou axial et lors de la rotation de l'aimant autour de la sonde placée dans le trou transversal.

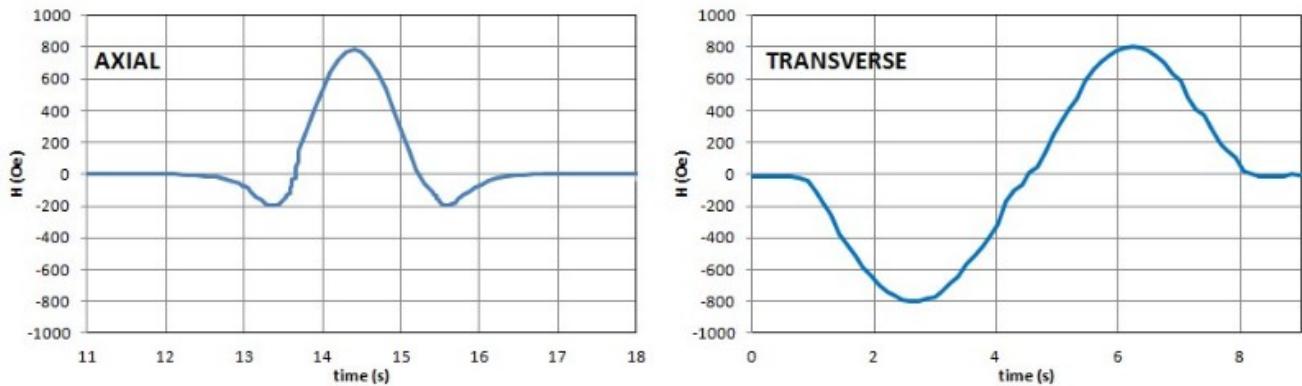


Figure 25: Courbes de calibration axiale et transverse du capteur USB25103

Dans l'état actuel du logiciel livré, il est possible de vérifier la calibration de la sonde magnétique en utilisant la démarche décrite ci-dessous...

Vérification de la calibration de la sonde

1. Dans l'onglet de l'application choisir une durée d'enregistrement d'au moins 2 minutes (120 s).
2. Introduire la sonde dans le trou transverse de l'aimant jusqu'à arriver en butée, proche du centre de l'aimant.
3. Lancer l'enregistrement du champ magnétique mesuré par la sonde avec le bouton [RUN free].
4. Faire tourner lentement l'aimant autour de la sonde (pas plus de quelques degrés par seconde) en le maintenant en butée, jusqu'à avoir fait un tour complet
5. Faire afficher les courbes des valeurs mesurées avec le bouton [Plot FREE data] de l'onglet [Process data files].

L'aimant fourni avec la sonde est donné pour un champ magnétique de 712 Oe, soit 71,2 mT.

Le tracé des courbes de la figure 26 montrent des valeurs extrêmes proches de 75 mT et -75 mT pour les composantes Y et Z, qui sont suffisamment proche des 71,3 mT pour la première phase d'utilisation du banc de mesure.



La procédure de calibration pourra faire l'objet d'un onglet spécifique à développer ultérieurement en fonction des souhaits des utilisateurs du banc de mesure.

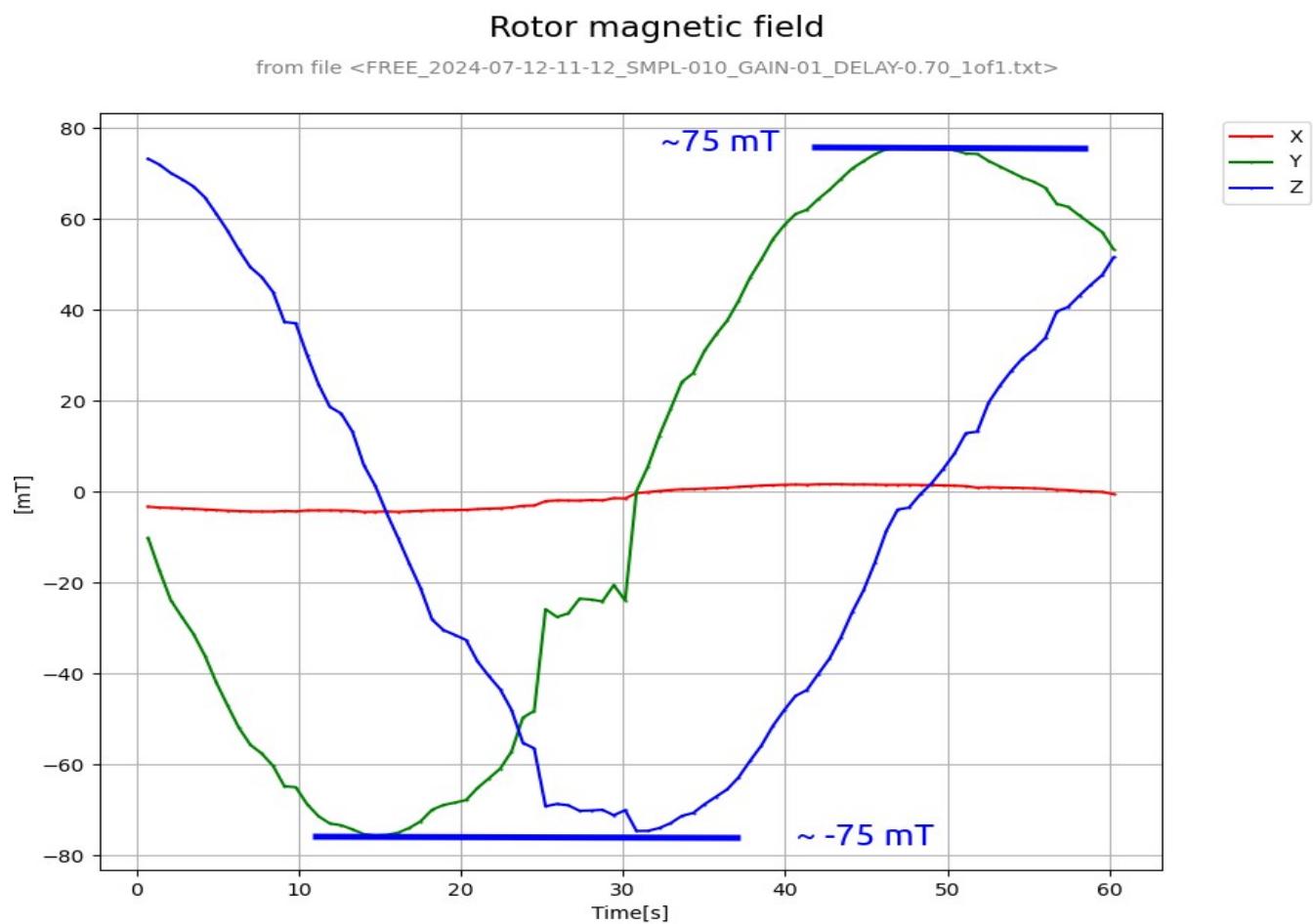


Figure 26: Courbes de vérification de la calibration de la sonde.

3.4.5 Protocole d'utilisation du banc de mesure

Le protocole de mesure décrit ci-après garantit des résultats reproductibles et précis :

- ✓ Positionnement initial du rotor : le rotor est maintenu dans les mors du mandrin serrés à la main, la contre-pointe est descendue en butée puis serrée.
- ✓ Positionnement de la sonde : vérifier que la sonde est positionnée comme illustré la figure ci-dessous :



- ✓ Distance Rotor-Sonde magnétique : la distance entre la surface du rotor testé et la sonde magnétique doit être mesurée et renseignée dans le champ [\[Working distance\]](#) de l'onglet [\[Plot FREE data\]](#) de l'interface GUI:



- ✓ Rotation du rotor : le rotor tourne par pas multiple de 1.2°. La valeur du pas est fixée grâce à l'interface GUI.
- ✓ Déplacement du capteur magnétique : le système déplace le capteur sur l'axe Z pour prendre des mesures sur un jeu de positions discrètes. Le nombre et la valeur des positions de mesure sont fixés grâce à l'interface GUI.
- ✓ Mesure du champ magnétique : à chaque incrément de rotation et à chaque position verticale, les 3 composantes (1 radiale et 2 tangentielles) du champ magnétique sont mesurées par le programme de pilotage du banc. Les composantes du champ magnétique pour chaque position sont affichées à l'écran et écrites dans un fichier ASCII.
- ✓ Stockage des données : les données mesurées sur le banc sont enregistrées dans un fichier dont le nom inclut les valeurs de tous les paramètres utilisés pour l'expérience.

4 Évolutions du banc de mesure

4.1 Migration RPi4 vers RPi5

Le principal inconvénient à l'utilisation de la carte RPi4 tient dans l'absence de sauvegarde de la date et de l'heure. Ceci est particulièrement gênant vis à vis du nommage des fichiers au format :

ROTOR_YYYY-MM-DD-hh-mm_WDIST-d_ROTSTEP-angle_Zpos1_...._Zposk_nofN.txt.

La RPi4 reprenant la même date à chaque démarrage, il faut modifier la date et l'heure « à la main » pour éviter un écrasement intempestif de fichiers.

Une solution pour palier à ce problème est d'utiliser une RPi5 pour laquelle existe une solution native de sauvegarde de la date et de l'heure à l'aide d'une batterie lithium munie d'un connecteur compatible RPi5 : la figure 27 montre un exemple de batterie, disponible sur le site GoTronic sur la page :

<https://www.gotronic.fr/art-batterie-rtc-pour-raspberry-pi-5-38451.htm>



Figure 27: Batterie sauvegarde RTC pour RPi5

4.1.1 Disque SSD pour RPi5

Pour accélérer le temps de démarrage et les accès fichiers, on adjoint à la RPi5 un kit permettant d'ajouter une ressource disque SSD. On a choisi le modèle PIMORONI, disponible chez GoTronic sur cette page :

<https://www.gotronic.fr/art-module-nvme-base-pim699-38626.htm#>

La figure 28 illustre l'apparence du kit :

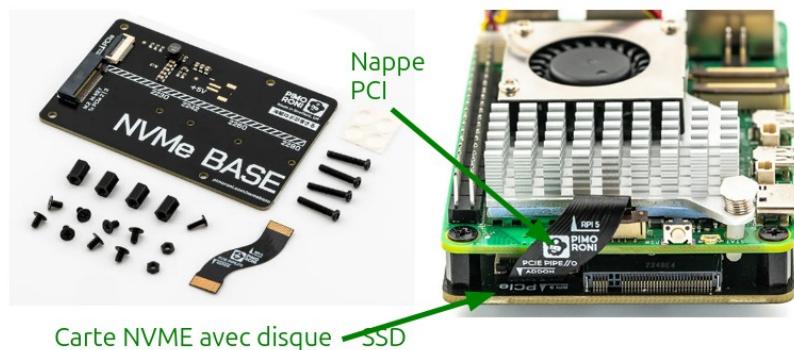


Figure 28: Ajout du disque SSD avec la carte NVMe BASE.

L'installation de la carte NVMe embarquant le disque SSD de 256 Gio sous la carte RPi5 est documenté sur le site PIMORONI sur cette page :

<https://learn.pimoroni.com/article/getting-started-with-nvme-base>

4.1.2 Configuration de la RPi5

Installation du système d'exploitation

La procédure d'installation du système GNU/Linux est détaillée sur la page PIMORONI citée plus haut.

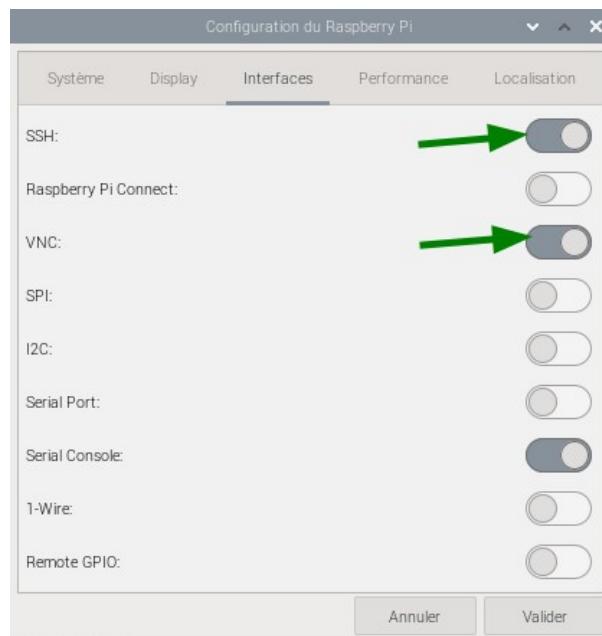


Figure 29: Configuration du RPi5

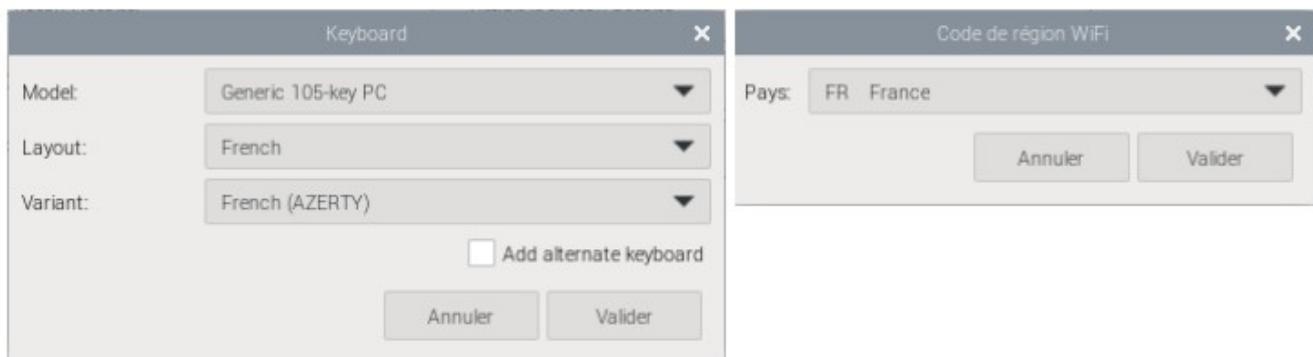
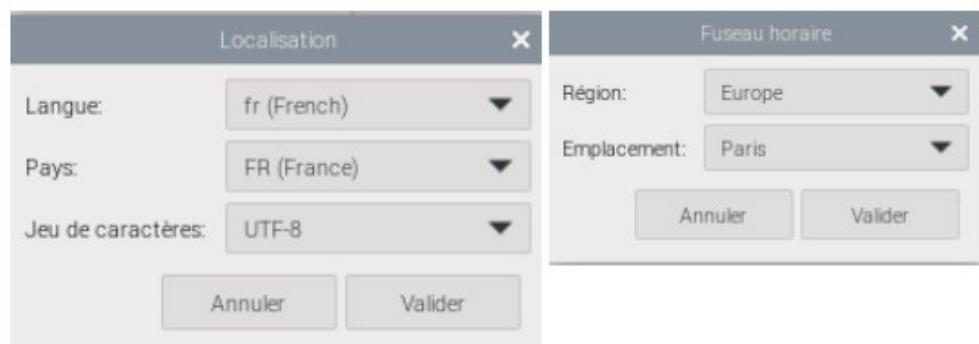


Figure 30: Réglages de localisation de la RPi5

Configuration des comptes

Le compte ‘rotor’ est créé pour l’utilisation du logiciel de pilotage du banc :

```
useradd rotor -d /home/rotor -m
```

Le mot de passe du compte ‘rotor’ (‘rotorbench’) est donné avec la commande :

```
sudo passwd rotor
```

Donner au compte rotor les mêmes accès admin que le compte pi :

```
sudo sed -i -e s/:pi/:pi,rotor/ /etc/group
```

Ouverture automatique de la session du compte ‘rotor’ au lancement de la RPi5 :

dans le fichier /etc/lightdm/lightdm.conf, ligne 129, remplacer **autologin-user=pi** par **autologin-user=rotor**

Redémarrage, sous le compte ‘rotor’ :

Création de l’EVP rotor :

```
python -m venv --system-site-packages rotor
```

installation root du module gpio:

```
sudo apt install libgpiod-dev python3-libgpiod
```

Activation de l’EVP rotor → ajout dans le fichier `~/.bashrc` de la ligne :

```
source rotor/activate/bash
```

Activation de l’EVP rotor, puis :

```
(rotor) rotor@raspvid pip install matplotlib
```

Lancement du programme `test_gpiod.py`

```
python test_gpiod.py
```

Installation du logiciel **rotorbench**

Installation des clefs ssh sur le serveur GitHub pour le dépôt Banc-Mesure-Rotor :

```
ssh-keygen
```

puis copie de la clef sur GitHub

Clonage du dépôt GitHub :

```
git clone git@github.com:cjlux/Banc-Mesure-Rotor.git
```

Configuration git :

```
git config --global user.email jean-luc.charles@mailo.com
git config --global user.name « Jean-Luc Charles »
```

4.2 Ajout de boutons de lancement du logiciel

À la demande des utilisateurs du banc de mesure, deux stratégies de fonctionnement du logiciel sont différencierées :

- By Angle : pour chaque position en Z de la sonde magnétique (Z_pos), le balayage angulaire complet des 360° est fait avec le pas angulaire choisi,
- By Zpos : pour chaque angle de rotation, le balayage des positions en Z est fait.

4.3 Choix des composantes du champ magnétique à Tracer

Trois boutons à cocher sont ajoutés dans l'onglet **[ROTOR bench]** permettant de choisir la ou les composantes du champ magnétique à tracer :

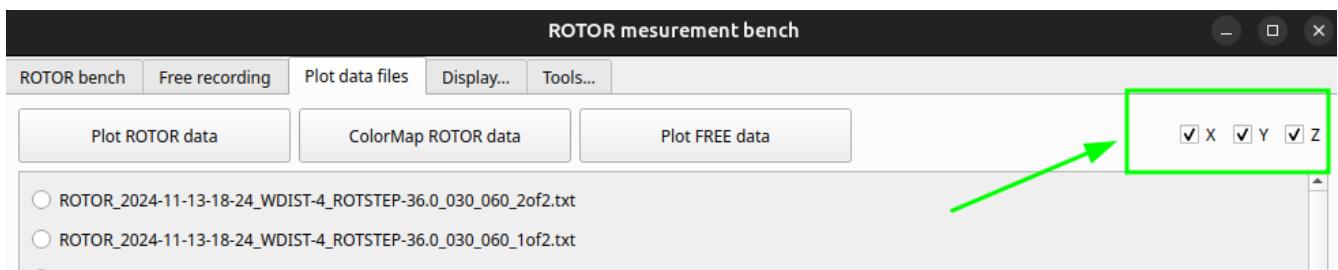


Figure 31: GUI : Choix des composantes X,Y ou Z à tracer

4.4 Tracé des cartes couleur du champ magnétique

Le bouton « ColorMap ROTOR data » est ajouté pour produire les cartes couleur des composantes du champ magnétique :

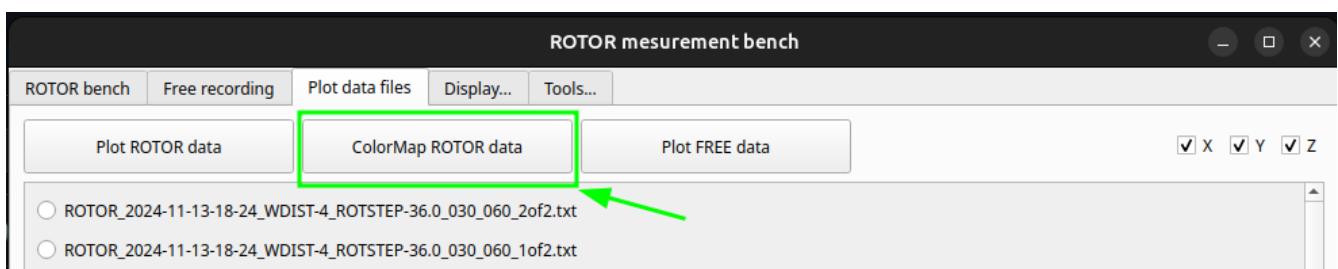


Figure 32: GUI : Bouton "ColorMar ROTOR data"

5 Évolutions logicielles

5.1 Application graphique PyQt pour le traitement des données

Une application graphique PyQt est maintenant disponible pour les traitement interactif des données produites par le banc, sans avoir besoin de passer par le notebook jupyter livré initialement.

5.1.1 Lancement de l'application

Dans une fenêtre Windows « Anaconda Powershell », se positionner dans le dossier Banc-Mesure-Rotor, puis lancer l'application avec les commandes :

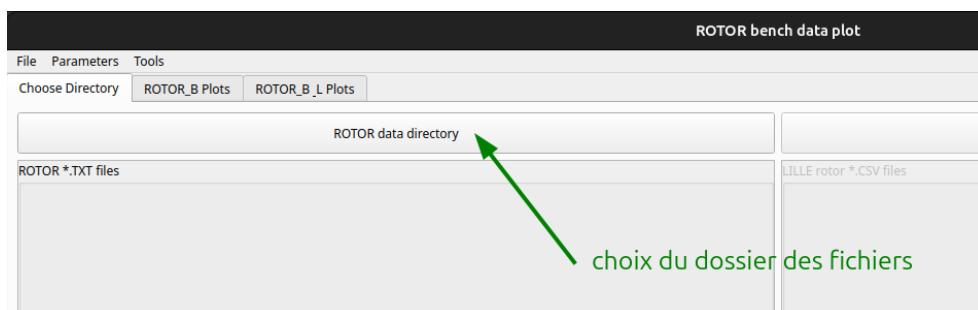
```
cd C:/Users/as99431/Documents/Banc-Mesure-Rotor
```

```
python ROTOR_bench/Processing/main.py
```

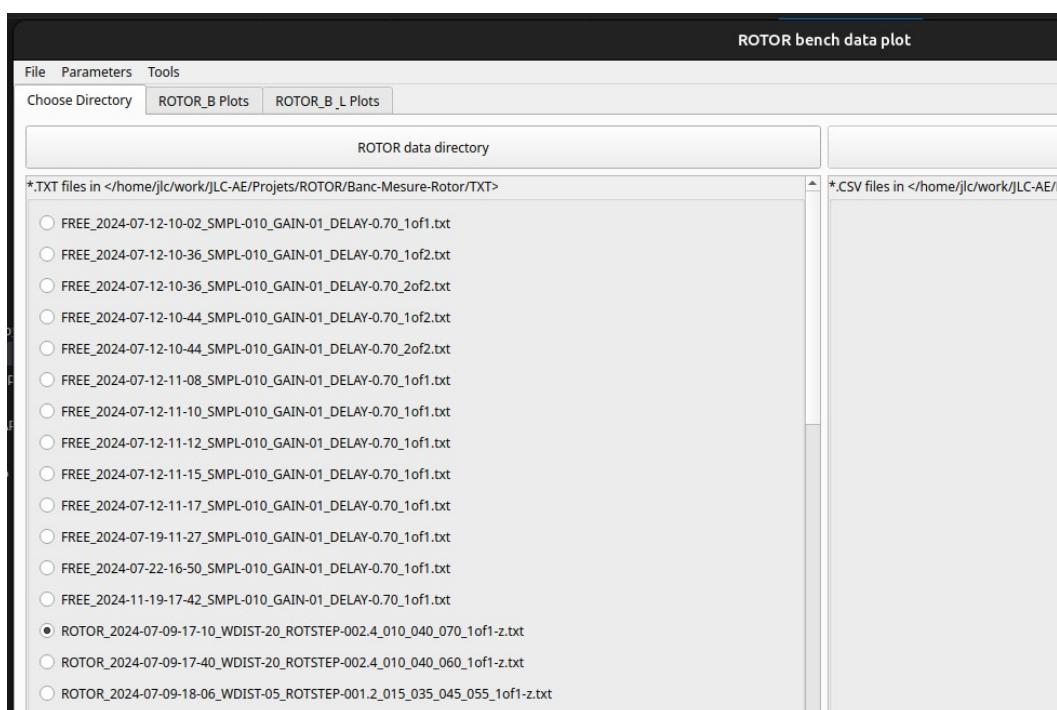
5.2 Utilisation de l'application

5.2.1 Tracé des mesures faites par le banc ROTOR

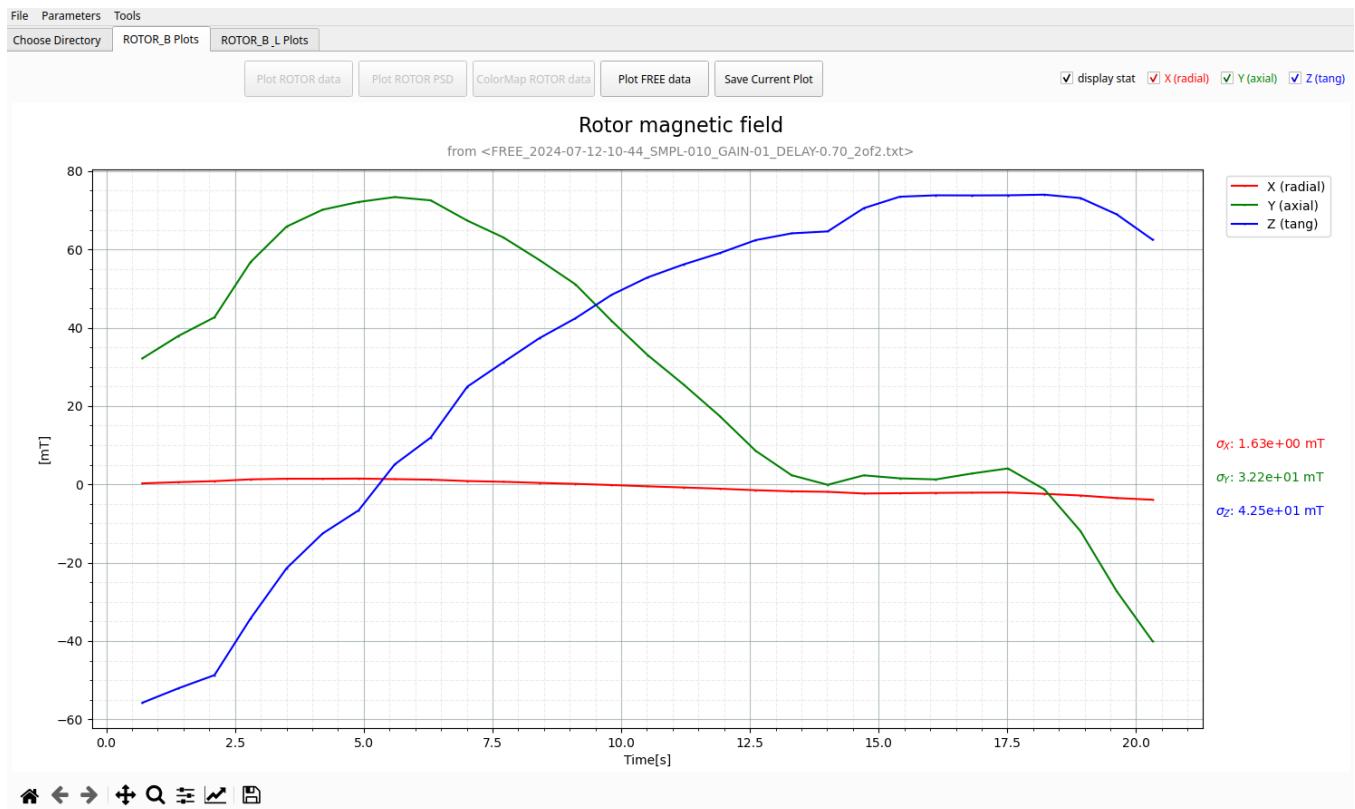
Lorsque la fenêtre principale apparaît, il faut choisir le dossier des fichiers à traiter :



La fenêtre montre alors la liste des fichiers FREE*.txt ou ROTOR*.txt présents dans le dossier choisi :

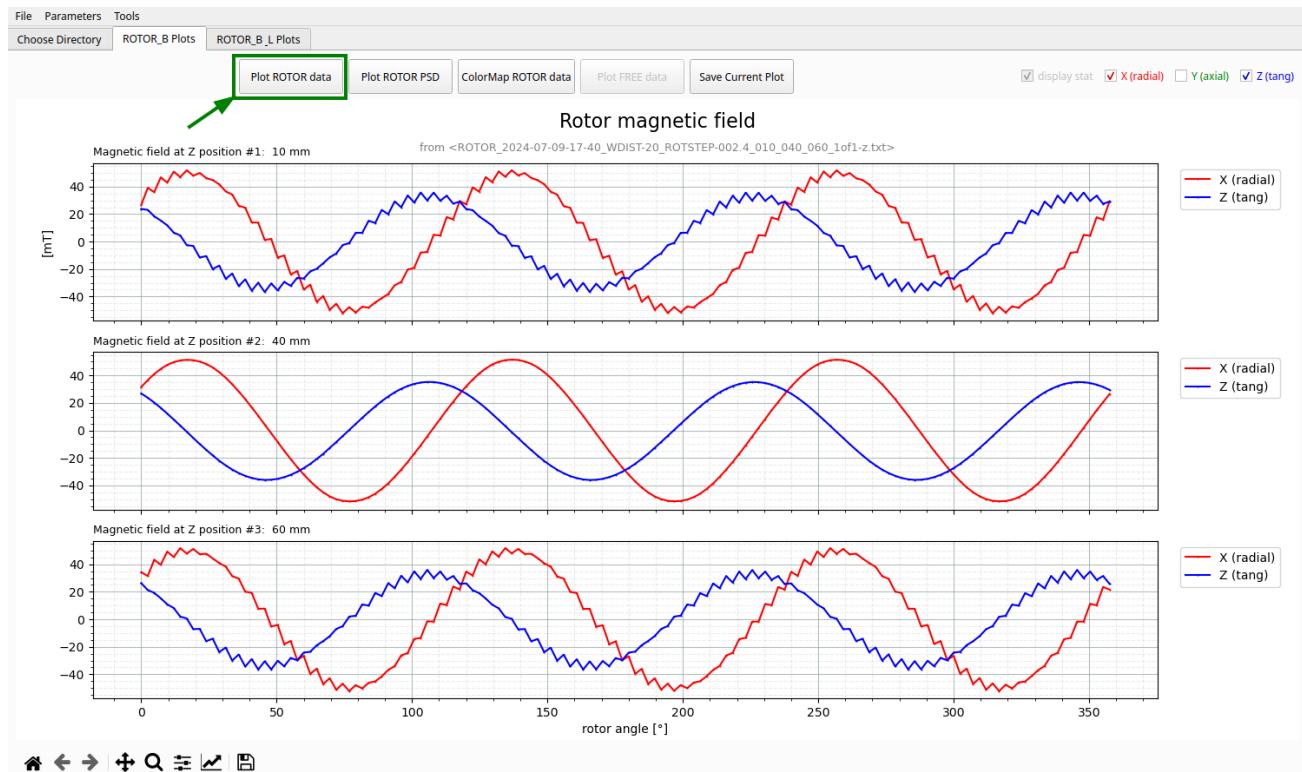


Il suffit de cliquer sur un nom de fichier et de cliquer sur l'onglet [ROTOR_B Plots] : si le nom du fichier commence par FREE, un tracé de type FREE est visualisé :

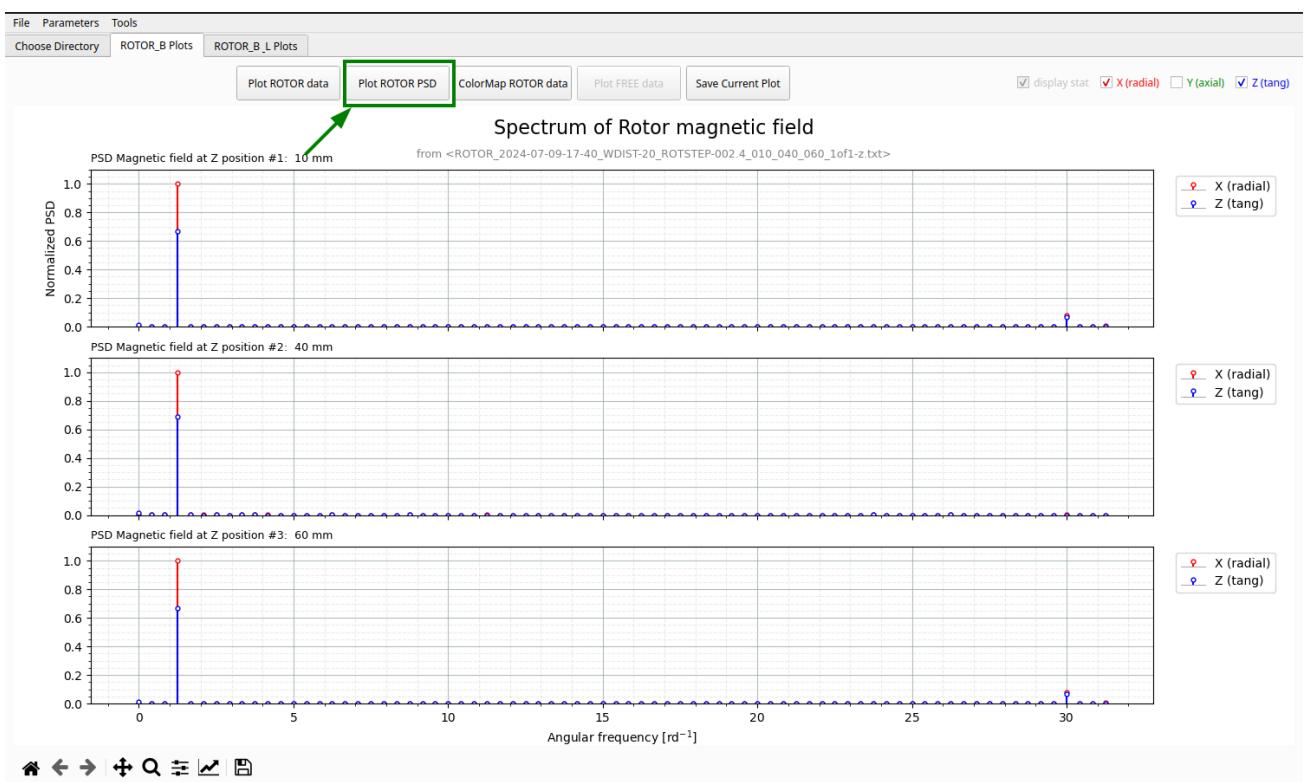


Sinon, si le nom du fichier commence par ROTOR, 3 types de tracés sont disponibles :

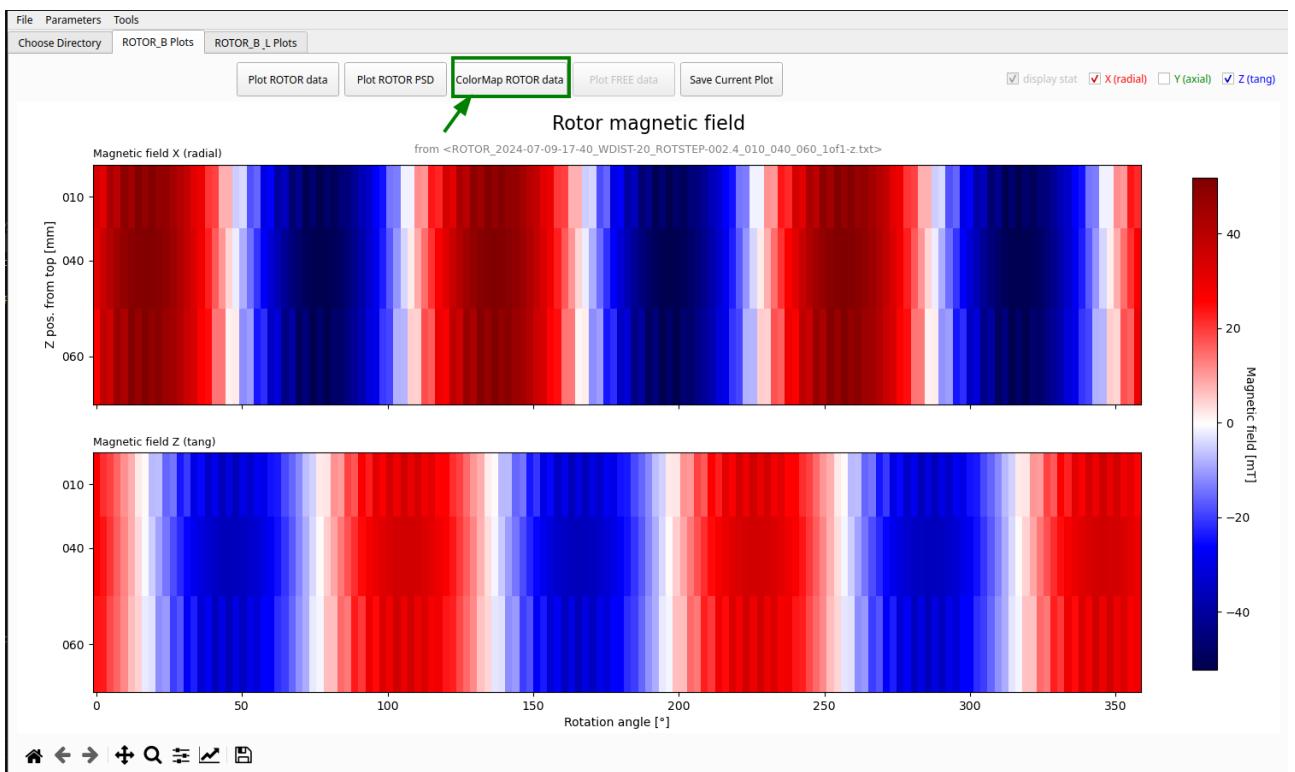
- avec le bouton [Plot ROTOR data] on obtient le tracé des 3 composantes du champ magnétique



- avec le bouton [Plot ROTOR PSD] on obtient la densité spectrale de puissance (*PSD* : *Power Spectral Density*) des composantes du champ magnétique

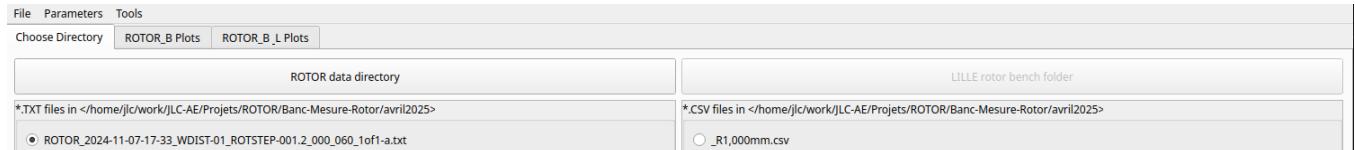


- avec le bouton [ColorMap ROTOR data] on obtient la carte couleur des composantes du champ magnétique :

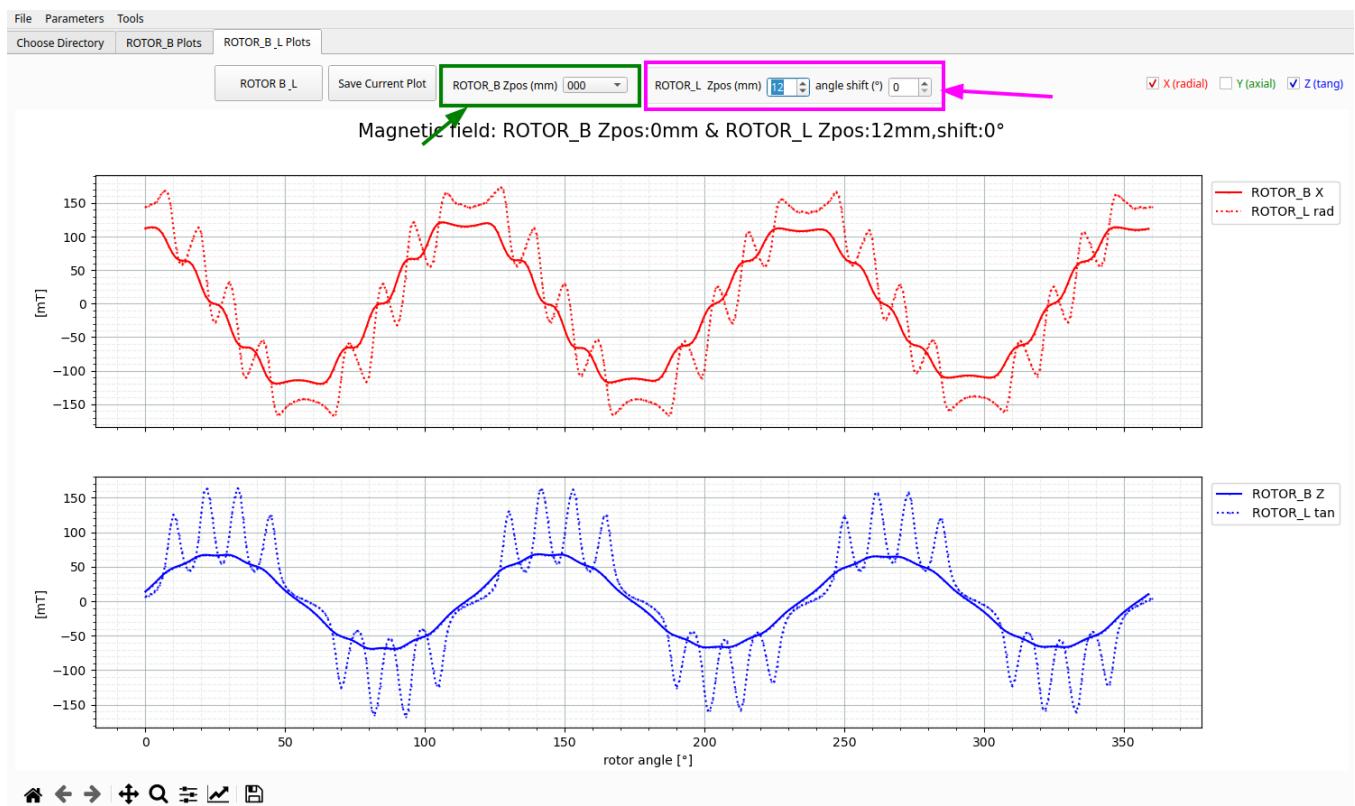


5.2.2 Tracé simultané des mesures du banc ROTOR et des mesures de l'ENSA M Lille

L'ENSA M de Lille possède également un banc de mesure : les fichiers de mesure sont disponibles au format CSV. Si des fichiers *.csv sont disponibles dans le dossier choisi, il sont visualisés :



Le fait de cliquer sur un fichier *.csv active automatiquement la visualisation superposée des composantes du champ magnétique du fichier .txt choisi et celles du champ magnétique du fichier .csv choisi :



- Si plusieurs positions verticales de la sonde ont été enregistrées dans le fichier ROTOR...txt, on peut les choisir dans la boîte de choix « ROTOR_B Zpos » (encadré vert sur la figure ci-dessus)
- La position de la sonde pour les mesures du banc de Lille peut être choisie avec la boîte « ROTOR_L Zpos » (encadré magenta sur la figure ci-dessus).
- Un décalage en angle peut être appliqué aux données des mesures du banc de Lille avec la boîte « angle shift » (encadré magenta sur la figure ci-dessus).

6 Annexes

6.1 Driver de moteur pas à pas TB6600

C'est le driver utilisé pour le moteur pas à pas de rotation du mandrin. Il est proposé sur le site GoTronic sur cette page : <https://www.gotronic.fr/art-commande-moteur-pas-a-pas-dri0043-25551.htm>

Cartes électroniques, interfaces, pièces détachées robotiques, outillage, appareils de mesure, ... - Vente aux professionnels et aux particuliers.



GO TRONIC
ROBOTIQUE ET COMPOSANTS ÉLECTRONIQUES

Recherche

Formulaire de contact
 contact@gotronic.fr
 Ajout rapide

Mon compte

GO TRONIC > Robotique - 3D - Kits > Commandes de moteurs > Commandes de moteurs pas-à-pas > Commande moteur pas-à-pas DRI0043

< Page précédente
Retour à la catégorie
Page s

Robotique - 3D - Kits

- Bras robotisés
- Châssis
- Robots
- Commandes de moteurs
 - Commandes 1 moteur cc
 - Commandes 2 moteurs cc
 - Commandes 4 moteurs CC
 - Commandes de moteurs pas-à-pas**
 - Commandes de servomoteurs
 - Cartes de contrôle de robots
 - Relais radiocommandés
- Moteurs et



DFROBOT
DRIVE THE FUTURE

Commande moteur pas-à-pas DRI0043

Code article : **34870**

Module commande de moteur pas-à-pas basé sur un T disposant d'une large plage d'alimentation 9 à 42 Vcc courant de sortie maxi de 3,5 A, réglable via dip-switch

[Description complète](#)

Quantité :

Quantité en stock : 87

Livraison à partir de 4,90€ ?

17,46 € HT
20,95 € TTC

+ Ajouter au panier

DESCRIPTION
FICHE TECHNIQUE
AVIS

Module économique TB6600 permettant de commander un moteur pas-à-pas bipolaire jusqu'à 3,5 A RMS à partir de 3 sorties digitales d'un microcontrôleur (Arduino par exemple).

Ce driver fonctionne en pas complet, 1/2 pas, 1/4 de pas, 1/8 de pas, 1/16 de pas et 1/32 de pas (sélection par dip-switches).

Les connecteurs sont débrochables mais ne doivent pas être enlevés ou raccordés lorsque l'alimentation est branchée en raison de la force contre-électromotrice qui peut endommager le driver.

Tension d'alimentation: 9 à 42 Vcc
 Consommation maxi: 5 A (en fonction du moteur)
 Réglage courant: 0,5 A - 1 A - 1,5 A - 2 A - 2,5 A - 2,8 A - 3 A et 3,5 A
 Puissance: 160 W
 Réglage pas: 1, 2/A - 2/B - 4 - 8 - 16 - 32
 Température: -10 à 45°C
 Poids: 0,2 kg
 Dimensions: 96 x 71 x 37 mm
 Référence DFRobot: [DRI0043](#)

La documentation technique du capteur est reproduite dans les pages qui suivent.

6.2 Driver de moteur pas à pas A4988

C'est le driver utilisé pour le moteur pas à pas de l'axe Z. Il est proposé sur le site GoTronic sur cette page : <https://www.gotronic.fr/art-driver-de-moteur-pas-a-pas-a4988-1182-21718.htm>

Cartes électroniques, interfaces, pièces détachées robotiques, outillage, appareils de mesure, ... - Vente aux professionnels et aux particuliers.

GO TRONIC
ROBOTIQUE ET COMPOSANTS ÉLECTRONIQUES

Recherche

Formulaire de contact contact@gotronic.fr

Ajout rapide

Mon compte

Mon panier

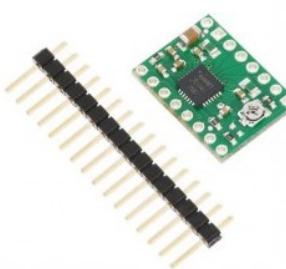
CARTES PROGRAMMABLES PROTOTYPAGE ET CAPTEURS ROBOTIQUE - 3D - KITS MAISON CONNECTÉE - DOMOTIQUE OUTILLAGE ET MESURE ENERGIE ET ALIMENTATION COMPOSANTS ÉLECTRONIQUES CONNECTIQUE AUDIO, LIVRES, SÉCURITÉ

GO TRONIC > Robotique - 3D - Kits > Commandes de moteurs > Commandes de moteurs pas-à-pas > Driver de moteur pas-à-pas A4988 1182

< Page précédente Retour à la catégorie Page suivante >

Robotique - 3D - Kits

- Bras robotisés
- Châssis
- Robots
- Commandes de moteurs
 - Commandes 1 moteur cc
 - Commandes 2 moteurs cc
 - Commandes 4 moteurs CC
- Commandes de moteurs pas-à-pas
 - Commandes de servomoteurs
 - Cartes de contrôle de robots
 - Relais radiocommandés
- Moteurs et actionneurs
- Accessoires robotiques
- Kits didactiques



Pololu
Robotics & Electronics

Driver de moteur pas-à-pas A4988 1182

Code article : 32726

Commande basée sur le circuit A4988 permet de contrôler un moteur pas-à-pas bipolaire à partir d'une sortie PWM et d'une sortie digitale d'un microcontrôleur (Arduino, Seeeduino, etc).

> [Description complète](#)

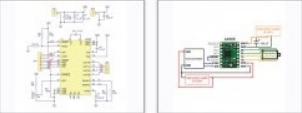
Quantité :

✓ Quantité en stock : 56

Livraison à partir de 2,90€

13,29 € HT
15,95 € TTC
dont 0,02 € d'éco-part

+ Ajouter au panier



DESCRIPTION

Cette commande basée sur le circuit A4988 permet de contrôler un moteur pas-à-pas bipolaire à partir d'une sortie PWM (vitesse des pas) et d'une sortie digitale (sens de rotation) d'un microcontrôleur (Arduino, Seeeduino, etc).

Trois entrées permettent de sélectionner le mode de fonctionnement (pas complet, demi-pas, quart de pas, 1/8 de pas ou 1/16 de pas). Un potentiomètre permet de régler l'intensité de sortie (elle ne doit pas être supérieure à 70% de l'intensité nominale de votre moteur).

Remarques:

- ne pas débrancher/brancher de moteur lorsque le module est alimenté (destruction du module)
- le module est livré avec des connecteurs à souder soi-même en fonction de l'utilisation.
- un échauffement important du circuit intégré est possible et normal en fonctionnement

Alimentation:

- partie logique: 3 à 5,5 Vcc
- partie moteur: 8 à 35 Vcc

Sortie: 1 A par phase (2 A avec refroidisseur)

Protections contre:

- les surintensités
- les températures trop élevées

Dimensions: 21 x 15 x 3 mm

Référence fabricant: [1182](#)

FICHE TECHNIQUE

AVIS

Page 39/56

6.3 Capteur de champ magnétique MDT USB25103

Le capteur de champ magnétique MDT USB25103 est proposé par le site DigiKey sur cette page :

<https://www.digikey.fr/fr/products/detail/multidimension/USB25103/15220961>

The screenshot shows the DigiKey website interface for the MDT USB25103 product. The top navigation bar includes links for 'Tous les produits', 'Connexion ou ENREGISTREMENT', and a shopping cart showing '0 article(s)'. The main product page displays the part number 'USB25103', manufacturer 'MDT', and description '3D MAGNETOMETER HIGH-FIELD USB'. It also shows a small image of the device, which is a black cylindrical module with a USB cable. The page includes sections for 'En stock: 4', 'QUANTITÉ' (quantity input field), 'Ajouter à la liste' (Add to list button), and 'Ajouter au panier' (Add to cart button). A note states 'Tous les prix sont en EUR'. On the left, there's a table titled 'Attributs du produit' (Product Attributes) listing various parameters like Type, Description, and Resolution, each with a selection checkbox. The right side shows a table for 'En vrac' (In bulk) with columns for Quantity, Unit Price, and Total Price.

TYPE	DESCRIPTION	TOUT SÉLECTIONNER <input type="checkbox"/>
Catégorie	Capteurs, transducteurs Capteurs magnétiques Boussole, champ magnétique (modules)	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>
Fabricant	MDT	<input type="checkbox"/>
Série	-	<input type="checkbox"/>
Conditionnement	En vrac <small>②</small>	<input type="checkbox"/>
Statut du composant	Actif	<input type="checkbox"/>
Type	Magnétomètre numérique	<input type="checkbox"/>
Axe	X, Y, Z	<input type="checkbox"/>
Plage de mesure	±20 kGauss	<input type="checkbox"/>
Pour la mesure	Intensité, sens du champ magnétique	<input type="checkbox"/>
Résolution	-	<input type="checkbox"/>
Boîtier	Sonde	<input type="checkbox"/>
Interface	I2C, USB 2.0	<input type="checkbox"/>
Température de fonctionnement	-40°C ~ 85°C	<input type="checkbox"/>

QUANTITÉ	PRIX UNITAIRE	PRIX TOTAL
1	368,36000 €	368,36 €
5	349,89200 €	1 749,46 €
25	331,42880 €	8 285,72 €
100	303,73280 €	30 373,28 €

Prix unitaire sans TVA: 368,36000 €
 Prix unitaire avec TVA: 442,03200 € ②

La documentation technique du capteur est reproduite dans les pages qui suivent.



USB MAGNETOMETER USB25103

USB25103 – Three-Axis High-Field USB Magnetometer

Features and Benefits

- High-Field Sensing Technology
- Measurement Range of -20 kOe to 20 kOe
- 5 Digit Resolution
- Plug and Play USB Interface
- Powered from USB Bus
- Graphical User Interface
- Command Line User Interface
- Manual Range Selection
- Adjustable Filtering and Averaging
- Simple Zeroing and Calibration
- Customizable Linearization and Orthogonalization
- Documented Programming Interface
- Reconfigurable Hardware
- Manual Triggering or Streaming Data



Applications

- High Field Laboratory Measurements
- Automated Data Acquisition and Control
- Materials Research
- Non Destructive Testing
- Magnetic Object Tracking
- Sensor Algorithm Development
- STEM Education
- Hobby and DIY

General Description

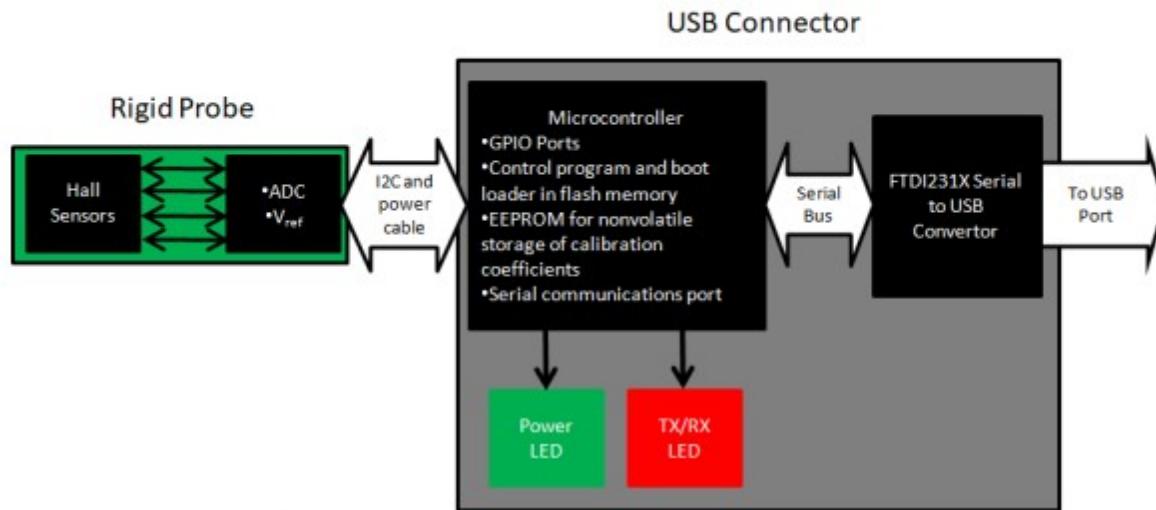
The MDT USB25103 is a three-axis digital magnetometer that is intended for the measurement of magnetic fields near the probe tip at frequencies less than 250 Hz. The MDT USB25103 combines three orthogonal magnetic field sensors with plug-and-play USB data acquisition electronics and software to provide a three-axis digital magnetometer system in a simple form factor. It is designed such that the user may use it directly combined with the proprietary MDT graphical user interface (GUI), controlled with a terminal emulator program, or integrated into the user's custom written program. The GUI can be run on a desktop computer, a notebook, or a Windows tablet. Additionally, the probe electronics may be reprogrammed by the user using freely available open source Arduino development tools. The MDT USB Magnetometer is thus a complete development tool that allows a user a simple means for experimenting with magnetic sensors, sensor applications, and developing sensor algorithms.

Hardware Description

The USB magnetometer includes three orthogonal magnetic field sensors located within 3 mm from the probe tip and covered with an aluminum tube. The probe is connected to USB data acquisition hardware by a 1 m long cable. The probe has the following configuration.



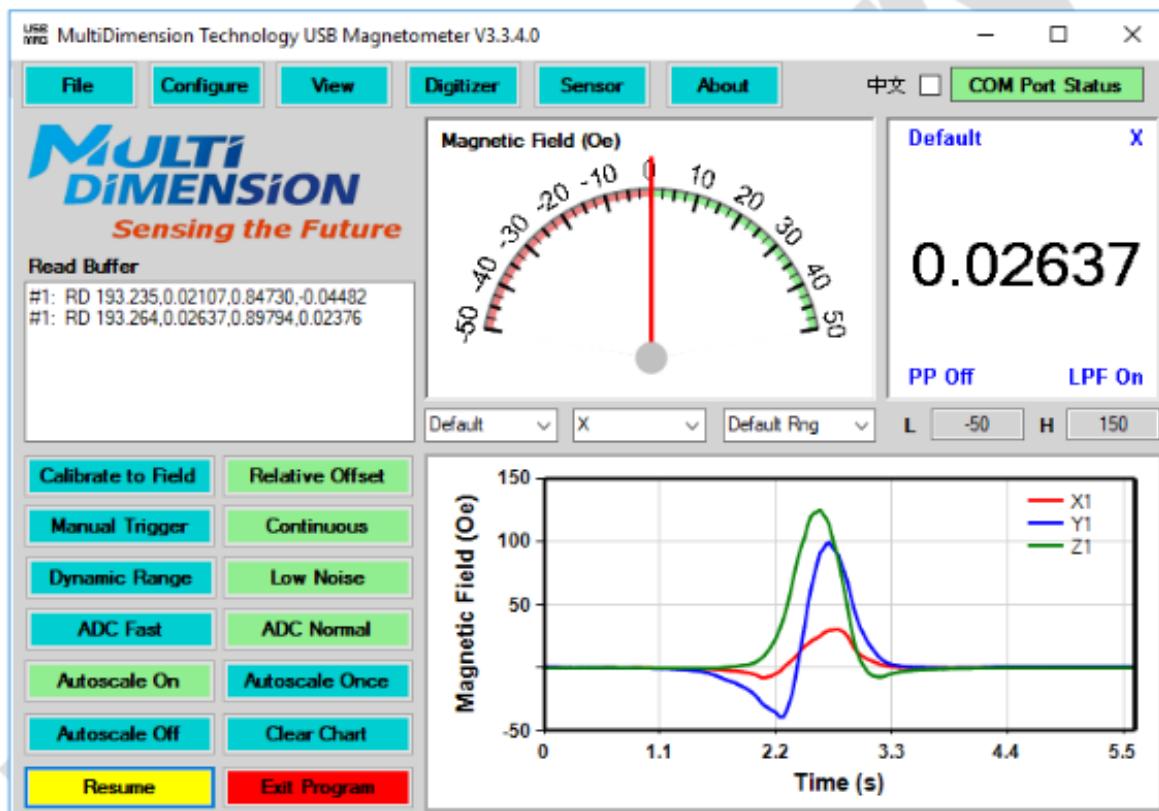
The USB magnetometer hardware is compatible with the popular open source Arduino UNO board, and thus with the Arduino programming environment or Atmel microcontroller development tools. The user may develop custom firmware at his/her risk. The hardware includes a boot loader for uploading Arduino code. The USB magnetometer hardware model is defined as follows:



The magnetic sensors are used to detect a magnetic field, which is converted to a proportional voltage value. The magnetic sensors are biased by a temperature compensated voltage reference. The magnetic sensor outputs are connected to ADCs which digitally sample the voltages and sends the digital signals via a 1 m long cable to a microcontroller over an I2C bus. The microcontroller converts the sampled sensor voltages to a magnetic field values using calibration coefficients stored within an EEPROM. These EEPROM values may be overwritten by the user. The microcontroller then sends the computed magnetic field values to a serial bus, which is connected to a FTDI231X Serial-to-USB convertor. The I/O of the FTDI231X Serial-to-USB convertor is a standard USB 2.0 port. A driver on the computer or other computing device is used to create a virtual COM port, which is then accessed by the MDT USB magnetometer GUI, a terminal emulator program, or other custom written program.

Software Description

The USB Magnetometer includes a GUI for data logging the field readings from the sensor in units of Oersted and displaying those readings in analog, digital, and graphical formats. The data in the graphical display can be logged or output to a csv file, which is compatible with most spreadsheet programs and easy to import into analysis software. The display can be configured in several data viewing modes or in a mode to control operation of the acquisition electronics. The software allows a user to set the resolution, sample rate, filtering, averaging, trigger mode, linearization, and to perform sensor calibration. The GUI also contains a built in terminal emulator for sending and receiving low-level commands to and from the probe, which is useful for programming non-standard configurations and also for debugging commands to be used in custom software applications.



The USB Magnetometer was designed to enable users to interface it with their own custom programs by sending and receiving text commands using a COM port. This is useful for writing data acquisition and data acquisition system control programs, such that the user can input data directly to a program without needing to export it from the USB Magnetometer GUI to a csv file. The COM port commands are fully documented in the user manual, and they may be tested using any terminal emulator program or the built in terminal emulator.

Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Limit	Unit
External Magnetic Field	H _{ext}	unlimited	Oe ⁽¹⁾
ESD Voltage	V _{ESD}	4000	V
Operating Temperature	T _A	-40 ~ 85	°C
Storage Temperature	T _{stg}	-50 ~ 150	°C

Specifications

Parameter	Comments	Min	Typ	Max	Unit
Supply Voltage	From USB Bus		5		V
Sensing Direction	X/Y/Z				
Cable Length	Custom Length Possible		1		m
Hardware Interface	USB 2.0				
GUI Supported Operating Systems	Windows 7, 8, 10 Android				
Custom Program Compatible Operating Systems ⁽²⁾	Windows, Macintosh, Linux, Android, iOS				
Maximum Field Range		-20		20	kOe
Low Noise Field Range		-2.2		2.2	kOe
Uncorrected Nonlinearity	Fit @ ±5 kOe		2		%FS
RMS Noise	No Averaging, Low Noise, 16 bits		75		mOe
Temperature Coefficient of Sensitivity			-0.06		%/°C
ADC Resolution ⁽³⁾			16		bits
Sampling Frequency ⁽⁴⁾	Resolution Dependent		200	250	Hz
Orthogonality	Can Be Software Corrected			2	degree

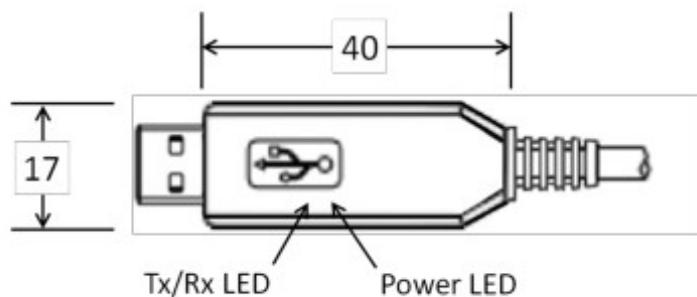
Notes:

- (1) 1 Oe (Oersted)= 1 Gauss in air = 0.1 millitesla = 79.8 A/m.
- (2) Limited by FTDI USB driver availability and computing device USB port hardware
- (3) Resolution can be increased in software by oversampling. Nominal ADC resolution is 16 bits. Effective resolution at high speed is lower.
- (4) Limited by ADC to <250 Hz, which may be achieved in binary mode. Binary mode should not be used in Normal Sampling Mode.

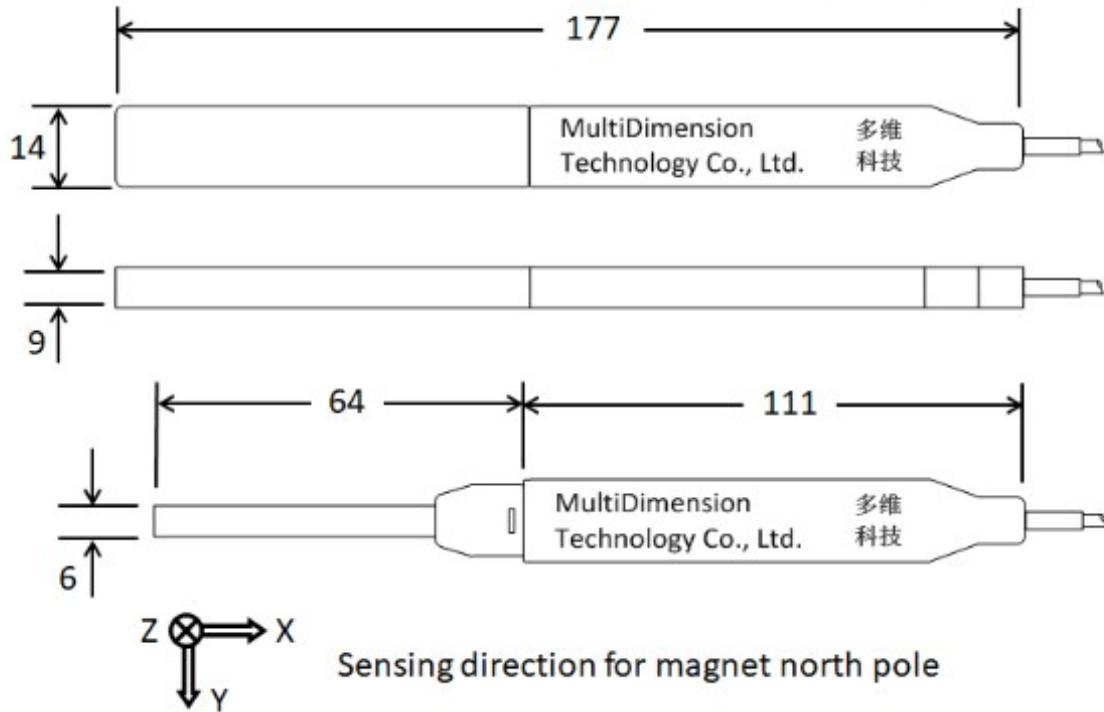
Related Documents

- MDT USB Magnetometer User Manual

USB Connector Dimensions



Rigid Probe Dimensions

RoHS
COMPLIANT

USB Connector and Probe view units: mm

The information provided herein by MultiDimension Technology Co., Ltd. (hereinafter MultiDimension) is believed to be accurate and reliable. Publication neither conveys nor implies any license under patent or other industrial or intellectual property rights. MultiDimension reserves the right to make changes to product specifications for the purpose of improving product quality, reliability, and functionality. MultiDimension does not assume any liability arising out of the application and use of its products. MultiDimension's customers using or selling this product for use in appliances, devices, or systems where malfunction can reasonably be expected to result in personal injury do so at their own risk and agree to fully indemnify MultiDimension for any damages resulting from such applications. "MultiDimension", "MultiDimension Sensing the Future", and "MDT" are registered trademarks of MultiDimension Technology Co., Ltd.

6.4 Commandes du capteur USB25103 via le port série

Le capteur USB25103 intègre un micro-contrôleur qui pilote le port USB et qui accepte des commandes ASCII, pour le configurer ou pour lire les valeurs du champ magnétique mesuré. Les tableaux 7 et 8 présentent les principales commandes utilisées dans le cadre du projet.

Tableau 7: Commandes ASCII du capteur USB25103 - Lecture/modification des paramètres.

USB Magnetometer Serial Port Commands		
Command	Description	Firmware Subroutine
PC	Display the calibration parameters presently being used by the magnetometer.	PrintCal()
GS	Query the sensor ID code.	GetSensorCodeEEPROM()
OR	Query the offset value stored in the EEPROM.	ReadOffsetEEPROM()
SR	Query the sensitivity value stored in the EEPROM.	ReadSensitivityEEPROM()
AR	Read linearization coefficients stored in the EEPROM	ReadLinEEPROM()
AB <0 or 1>	Set output to binary (1) or default ASCII (0)	SetASCIIBinary()
TS <0 or 1>	Turn timestamp on (1) default or off (0)	SetTimeStamp()
PG <1,2,4,8>	Set the preamplifier gain	SetPGA()
OA	Automatically zero the voltage offset of the sensor. Overrides OM. This should be accomplished in a zero gauss chamber	CorrectOffset()
SM <n.nnn>	Manually input a sensitivity value in units of mV/V/Oe	ManualSensitivity()
OM <n.nnn>	Manual input an offset voltage, in units of volts. Overrides OA	ManualOffset()
RS	Automatically find the offset field. This command remembers the previous offset field. Calling RO will remove the offset value and restore the state prior to calling RS.	RelativeSet()
RO	Removes the offset field value calculated during the RS command. It restores the state prior to calling RS	RelativeOff()

Tableau 8: Commandes ASCII du capteur USB25103 - Lectures des données.

USB Magnetometer Serial Port Commands		
DB <N>	Set oversampling in order to achieve a desired number of bits (N) or resolution for the ADC. N is any integer greater than 10, and for practical measurement it should not exceed 18, due to the low effective sampling rate at high oversampling. Increasing N decreases noise.	SetDigitizerBits()
NS <N>	Set the number of data points (N) to be averaged.	SetNumberSamples()
RC	Set the magnetometer to continuous read mode. Overrides the RM and VM commands.	ContinuousRead()
VC	Same as the RC command, except the output will be the uncorrected voltage of the sensor. Overrides the RM and VM commands.	ContinuousReadVoltage()
RM	Set the magnetometer to one-shot trigger mode. Successive calls to RM will result in a single read. This is useful for situations where a user may want to slowly move the magnetometer past a series of fixed locations around a magnetic object, or in the case where the ADC resolution is very high and read time is very long. Overrides the RC and VC commands.	ManualRead()
VM	Same as RM, except the magnetometer will output the uncorrected voltage of the sensor. Overrides the RC and VC commands.	ManualReadVoltage()

Format des données

Le matériel du magnétomètre USB peut être utilisé sans le logiciel GUI livré avec le capteur, via le port USB, à l'aide des commandes ASCII spécifiées dans le tableau 9. Les données renvoyées au format ASCII ou binaire, commencent toujours par un en-tête de 3 caractères et se terminent avec une séquence « octet *carriage return* suivi » d'un « octet *line feed* » : '\r\n'.

Format ASCII :

Le format ASCII envoie toutes les données en utilisant du texte brut commençant par un en-tête, suivi de nombres séparés par des virgules et terminé par une chaîne de fin de ligne :

<Header>number,number,...,"/r/n"

Les en-têtes sont définis comme indiqué par le tableau 9. Le nombre de valeurs dans chaque ligne peut être déterminé en comptant le nombre de virgules entre l'en-tête et la fin de la chaîne.

Tableau 9: Format ASCII en sortie du capteur USB25103

Header (always 3 chars)	Meaning
RD<space>	time,H OR time,Hx,Hy,Hz
RV<space>	time,V OR time,Vx,Vy,Vz

6.5 CAL01 :Aimant de calibration du capteur USB25103

Pages du document CAL01-EN_v1.0.pdf :



CALIBRATION MAGNET CAL01

CAL01 – 800 GAUSS CALIBRATION MAGNET

Features and Benefits

- High Field Magnetometer Calibration
- Calibrates Transverse and Axial Probes
- High Degree of Stability
- Accuracy Retained Between 0° C and 40° C
- Durable Nylon Housing
- Special Field Values Quoted on Request

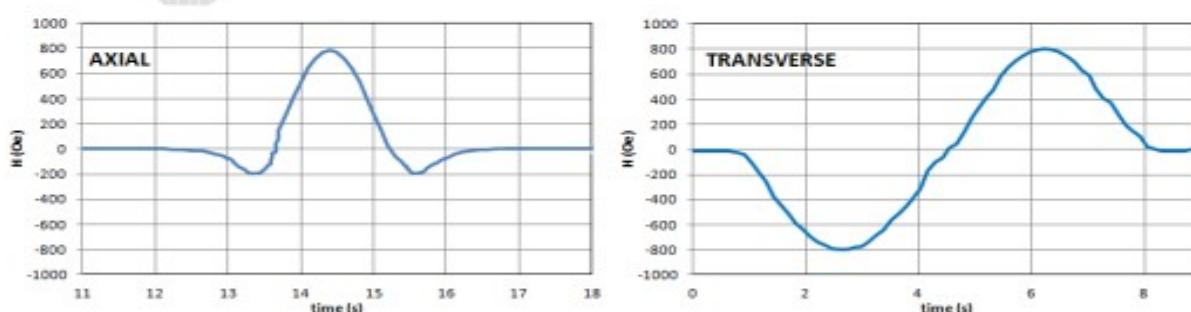


Applications

- USB2510x Magnetometer Calibration
- STEM Education
- Hobby and DIY

General Description

The CAL01 reference magnet provides a stable and convenient method to verify the accuracy and calibration of the USB 2510x series magnetometers. The CAL01 reference magnet is composed of two axially magnetized permanent magnet rings that allow a probe to access the working region of the fixture from both axial and transverse orientations, making the calibration fixture useful for both axial and transverse probe calibration. Unlike conventional reference magnets that rely on placing a probe in a fixed position, which produce an error if the magnet hole is improperly sized or the probe is not shimmed correctly, the CAL01 is designed so that magnet can be moved with respect to the probe in order to allow the user to find the positive and negative peak magnetic field values, which are used to compute the calibration factors. When used in combination with MultiDimension's graphical data logging user interface, this technique minimizes errors from probe misalignment and permits rapid accurate calibration of the USB2510x magnetometer probes. The plots below show the peak field values when moving an axial probe through the axial hole and when rotating the magnet around a transverse probe in the transverse hole.



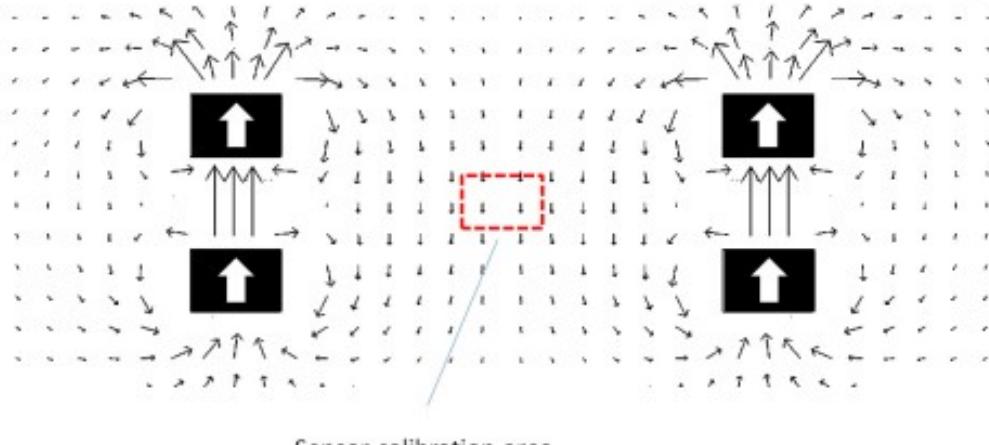
CAL01 IS NOT FOR USE WITH THE USB2705 MAGNETOMETER.

Hardware Description

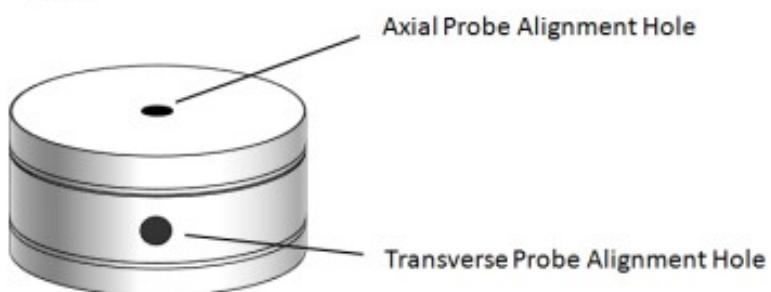
The CAL01 reference magnet is composed of two axially magnetized permanent magnet rings that allow a probe to access the working region of the fixture from both axial and transverse orientations, making the calibration fixture useful for both axial and transverse probe calibration.



This forms a region of uniform magnetic field between the rings, where provided the motion of the probe is confined to this region, provides a well defined peak magnetic field value.



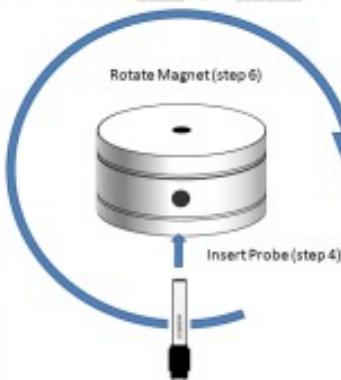
The housing of the magnets is composed of nylon, and it has guide holes for inserting the probe.



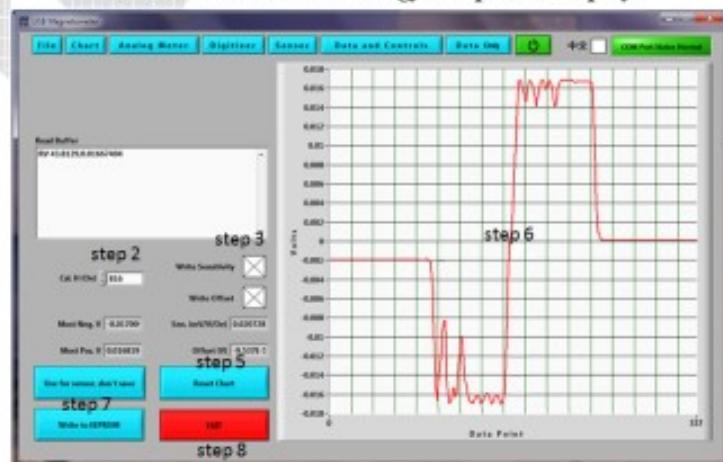
Transverse Probe Calibration Procedure

1. Press the “calibrate to field” button.
2. Set the calibration field value to the magnetic field value indicated on the side of the calibration assembly
3. Make sure both sensitivity and offset checkboxes are selected
4. Insert transverse probe all the way into the transverse probe alignment hole.
5. Reset the chart in the calibration window
6. Rotate the magnet in order to sample the largest positive voltage and the largest negative voltage. The probe can be wiggled and the magnet rotated back and forth around the field extrema angles in order to sample the maximum and minimum values.
7. Save the calibration in either the flash for future use or just write the calibration to the sensor for immediate use only
8. Exit the calibration window
9. Enter the digitizer window and turn on the low pass filter (LPF) if desired.
10. If the offset has not been adequately corrected, then perform one of the offset calibration procedures

Motion of the Magnet and Probe



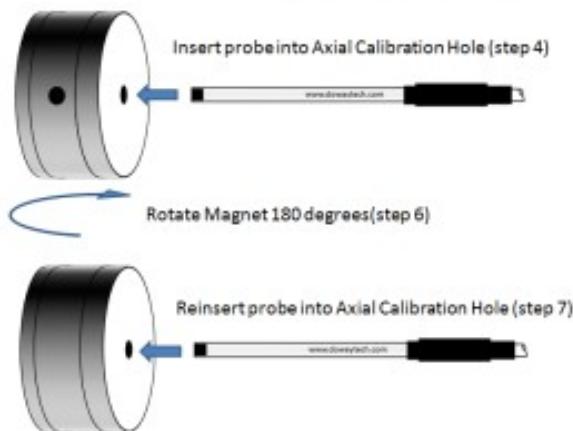
MultiDimension Technology Graphical Display



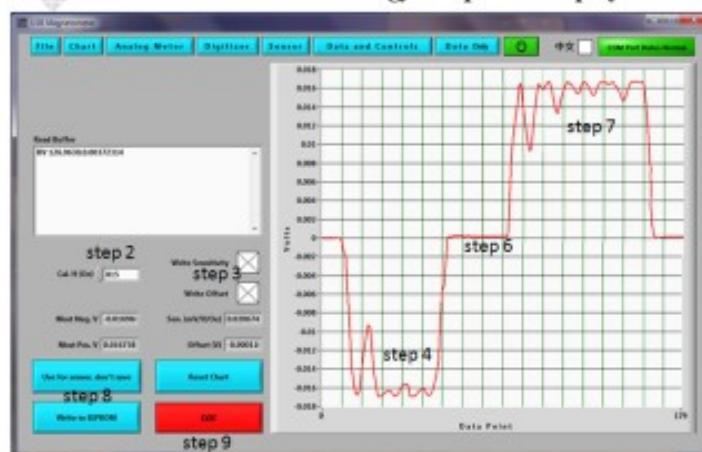
Axial Probe Calibration Procedure

1. Press the “calibrate to field” button.
2. Set the calibration field value to the magnetic field value indicated on the side of the calibration assembly
3. Make sure both sensitivity and offset checkboxes are selected
4. Push the axial probe into the axial alignment hole to find the maximum positive (negative) voltage reading, you can wiggle the probe some and move in and out of the calibration assembly to verify the maximum value has been sampled.
5. Hold the probe steady and pull the calibration assembly away.
6. Flip the calibration magnet in order to reverse the magnetic field
7. Push the axial probe into the axial alignment hole to find the maximum negative (positive) voltage reading, you can wiggle the probe some and move in and out of the calibration assembly to verify the maximum value has been sampled.
8. Save the calibration in either the flash for future use or just write the calibration to the sensor for immediate use only
9. Exit the calibration window
10. Enter the digitizer window and turn on the low pass filter (LPF) if desired.
11. If the offset has not been adequately corrected, perform one of the offset calibration procedures

Motion of the Magnet and Probe



MultiDimension Technology Graphical Display



Offset Calibration Procedure

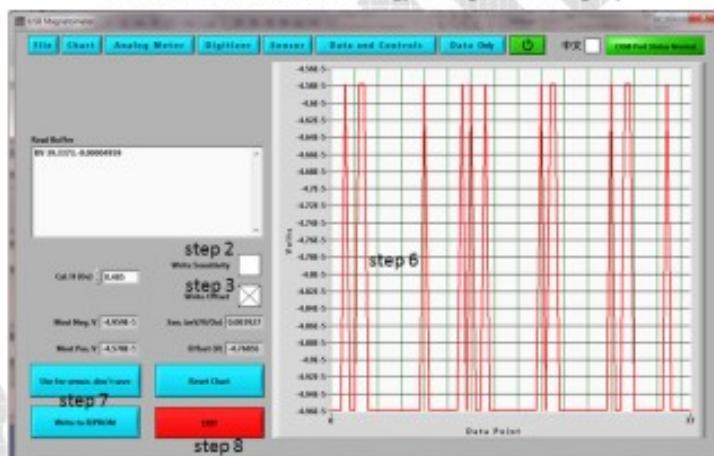
There are several methods that may be used.

- Autozero the probe with the sensing axis aligned east-west
- Autozero the probe inside a zero gauss chamber
- Manual offset
- Calibration method to permanently change the offset

Calibration Method

1. Press the “calibrate to field” button.
2. Make sure the sensitivity checkbox is not selected
3. Make sure the offset checkbox is selected
4. Place the sensor in a zero gauss chamber OR align the sensing axis along the east-west direction
5. Reset the chart in the calibration window
6. Acquire several seconds of voltage vs time data, verifying that the background value is stable
7. Save the calibration in either the flash for future use or just write the calibration to the sensor for immediate use only
8. Exit the calibration window
9. Enter the digitizer window and turn on the low pass filter (LPF) if desired.

MultiDimension Technology Graphical Display



RoHS
COMPLIANT

The information provided herein by MultiDimension Technology Co., Ltd. (hereinafter MultiDimension) is believed to be accurate and reliable. Publication neither conveys nor implies any license under patent or other industrial or intellectual property rights. MultiDimension reserves the right to make changes to product specifications for the purpose of improving product quality, reliability, and functionality. MultiDimension does not assume any liability arising out of the application and use of its products. MultiDimension's customers using or selling this product for use in appliances, devices, or systems where malfunction can reasonably be expected to result in personal injury do so at their own risk and agree to fully indemnify MultiDimension for any damages resulting from such applications. "MultiDimension", "MultiDimension Sensing the Future", and "MDT" are registered trademarks of MultiDimension Technology Co., Ltd.

6.6 Dépôt GitHub

L'intégralité du projet est disponible sur la plateforme GitHub à l'adresse:

<https://github.com/cjlux/Banc-Mesure-Rotor>

The screenshot shows the GitHub repository page for 'cjlux / Banc-Mesure-Rotor'. The repository is public. The main navigation bar includes links for Product, Solutions, Resources, Open Source, Enterprise, and Pricing. Below the header, there are tabs for Code, Issues, Pull requests, Actions, Projects, Security, and Insights. The 'Code' tab is selected. A dropdown shows the 'master' branch is selected. There is also a dropdown showing '1 Branch' and '0 Tags'. A search bar with the placeholder 'Go to file' is present. On the right, a green button says '<> Code'. The repository details show a commit from 'cjlux' titled 'Update Images/' made 2 days ago, which included 105 commits. Below this, a list of files and their commit history is shown:

File	Commit Message	Time Ago
Docs	Update Images/	2 days ago
Old/Arduino_version	Re-organize project tree	last week
ROTOR_bench	Update Images/	2 days ago
.gitignore	Update Images/	2 days ago
LICENSE	Initial commit	2 months ago
README.md	Initial commit	2 months ago

Below the file list, there are links for 'README' and 'GPL-3.0 license'. The 'README' section contains the text: 'Banc de mesure du champ magnétique d'un rotor de moteur électrique'.

6.6.1 Photos du banc de mesure

