

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

## **Cahier Des Charges**

logos à ajouter ?

	Date	Signature
Rédigé par :  Ali ABAALI <a href="mailto:Ali_Abaali@etu.u-bourgogne.fr">Ali_Abaali@etu.u-bourgogne.fr</a>  El-Mehdi Labnihi <a href="mailto:El-Mehdi_Labnihi@etu.u-bourgogne.fr">El-Mehdi_Labnihi@etu.u-bourgogne.fr</a>  Jean-Luc CHARLES <a href="mailto:Jean-Luc.charles@mailo.com">Jean-Luc.charles@mailo.com</a>		
Vérifié par :  Jean-Luc CHARLES Consultant IA/Data processing Encadrant du projet MiniAPTERROS <a href="mailto:jean-luc.charles@mailo.com">jean-luc.charles@mailo.com</a>		
Approuvé par :  Alph SAGNA <a href="mailto:alph.sagna@ensam.eu">alph.sagna@ensam.eu</a>		

## HISTORIQUE DES MODIFICATIONS

Édition	Révision	Date	Modification	Visa
0	1	2024-05-21	Version initiale	JLC
0	2	2024-06-10	Ajout éléments structure mécanique	AA & ML

## Table des matières

1 Contexte.....	5
2 Expression des besoins.....	5
2.1.1 Grandeur physique.....	5
2.1.2 Protocole de mesure.....	5
2.1.3 Traitements.....	6
2.2 Analyse fonctionnelle.....	6
2.3 Diagramme de contexte (Diagramme de « bête à cornes »).....	6
3 Architecture du banc.....	8
3.1 Arbre produit (PBS).....	8
3.2 Structure mécanique.....	8
3.2.1 Bloc mandrin motorisé.....	8
3.2.2 Bloc contre-pointe.....	10
3.2.3 CAO du châssis.....	10
3.3 Actionneurs.....	11
3.4 Capteurs.....	11
3.5 Système informatique.....	11
3.6 Alimentation électrique.....	12
3.7 Sotfware.....	12
3.7.1 Pilotage du banc.....	12
3.7.2 Acquisition des données.....	12
3.7.3 Traitement des données.....	12
4 Protocole d'utilisation du banc de mesure.....	13
5 Annexes.....	14
5.1 Capteur de champ magnétique MDT USB25103.....	14

## Index des figures

Figure 1: Bête à cornes.....	7
Figure 2: Pieuvre.....	7
Figure 3: Arbre produit du banc de mesure.....	8
Figure 4: Bloc mandrin.....	9
Figure 5: Le moteur pas à pas du bloc mandrin.....	9
Figure 6: Bloc contre-pointe.....	10
Figure 7: Photo du châssis.....	10
Figure 8: Synoptique du système informatique du banc de mesure.....	11

## Index des tableaux

# 1 Contexte

Le projet de développement d'un banc de mesure du champ magnétique d'un rotor de moteur électrique répond à un besoin spécifique exprimé par Alph SAGNA, chercheur au laboratoire I2M (Institut de Mécanique et d'Ingénierie de Bordeaux). Dans le cadre de ses recherches, Alph SAGNA se concentre sur l'analyse détaillée des performances des moteurs électriques, notamment en ce qui concerne l'intégrité 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 critiques 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.

En résumé, la mise en place de ce banc de mesure vise à améliorer la compréhension des phénomènes magnétiques dans les rotors de moteurs électriques et à garantir la qualité et la performance des moteurs analysés au sein du laboratoire I2M.

## 2 Expression des besoins

### 2.1.1 Grandeur physique

Le banc de mesure doit être capable de mesurer les 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 : Magnétique
- ✓ Dimensions : 2D (mesures radiales et tangentiels dans un plan autour du rotor)
- ✓ Unités : Tesla (T) ou Gauss (G). Pour rappel : 1 T = 10000 G.
- ✓ Plage de mesure : de 0 à 2 Tesla
- ✓ Précision visée :  $\pm 0,01$  Tesla

### 2.1.2 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.
- ✓ Positionnement du capteur : le capteur est monté sur un système permettant une translation suivant l'axe Z. Les mesures commencent en position haute du rotor.
- ✓ Rotation du rotor : le rotor commence à tourner avec une vitesse de 1,2 degrés ou 2,4 degrés par incrément (valeur à fixer dans l'entête du programme Arduino [ROTOR\\_bench](#))

- ✓ Déplacement du capteur : le système déplace le capteur le long de l'axe Z pour prendre des mesures tout au long du rotor. Le nombre et la valeur des positions de mesure et doit pouvoir être fixés avant de lancer le programme de mesure.
- ✓ Mesure du champ magnétique : à chaque incrément de rotation et à chaque position verticale, les composantes radiale et tangentielle du champ magnétique doivent être mesurées.
- ✓ Transmission des données : les mesures sont immédiatement transmises à un système informatique (PC dédié) pour stockage en temps réel.
- ✓ Stockage des données : les données sont enregistrées dans un fichier sur une carte micro-SD pour une sauvegarde et traitement différé. Le nom du fichier est au format FAT32 8.3 selon le modèle **YYMMDD.txt** (YY désigne les deux derniers chiffres de l'année, MM est le numéro du mois et YY est le numéro du jour).
- ✓ Contrôle et répétition : le processus est répété jusqu'à ce que le rotor ait complété un tour complet (360 degrés) et que les mesures aient été prises sur toute la hauteur du rotor.

### 2.1.3 Traitements

Après la collecte des données, plusieurs traitements doivent 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.  
*@Alpha : peux-tu définir les défauts magnétiques visés et préciser les critères permettant de les identifier ...*
- ✓ 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.

Ce banc de mesure doit répondre à des exigences de haute précision et de fiabilité pour garantir des diagnostics précis des moteurs électriques étudiés par le laboratoire I2M.

## 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 :

### 2.3 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

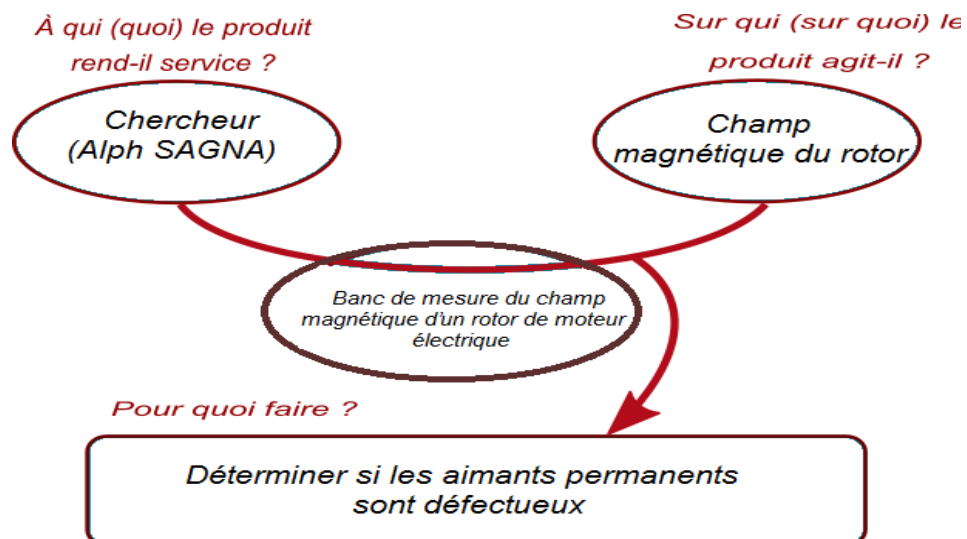


Figure 1: Bête à cornes

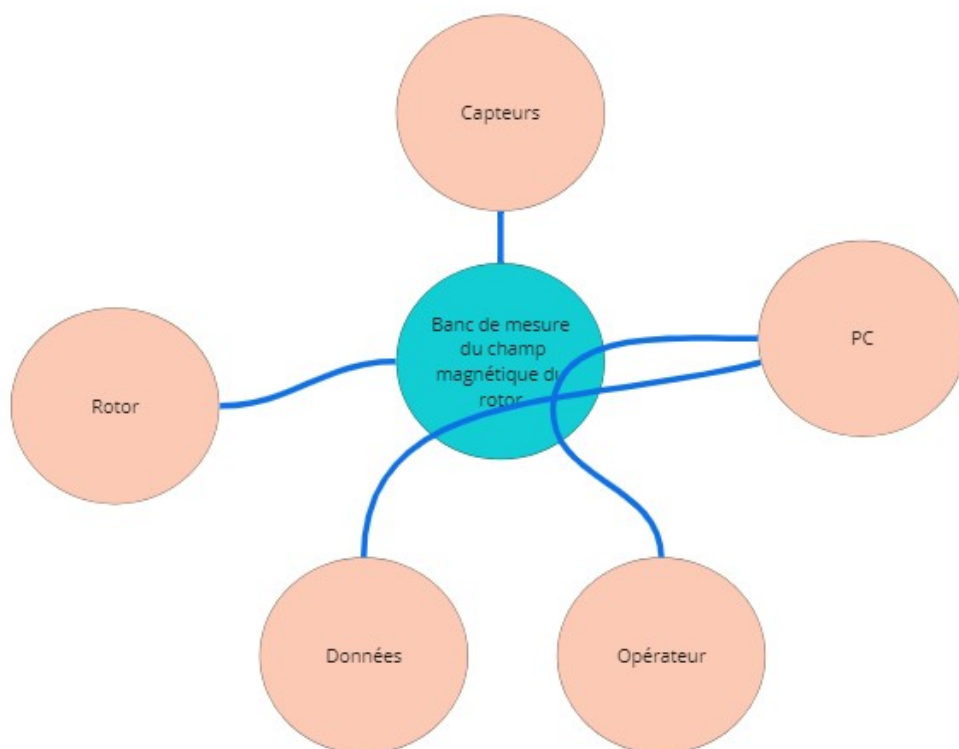


Figure 2: Pieuvre

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

### 3 Architecture du banc

À partir de ce chapitre, on commence à décrire la solution proposée.

#### 3.1 Arbre produit (PBS)

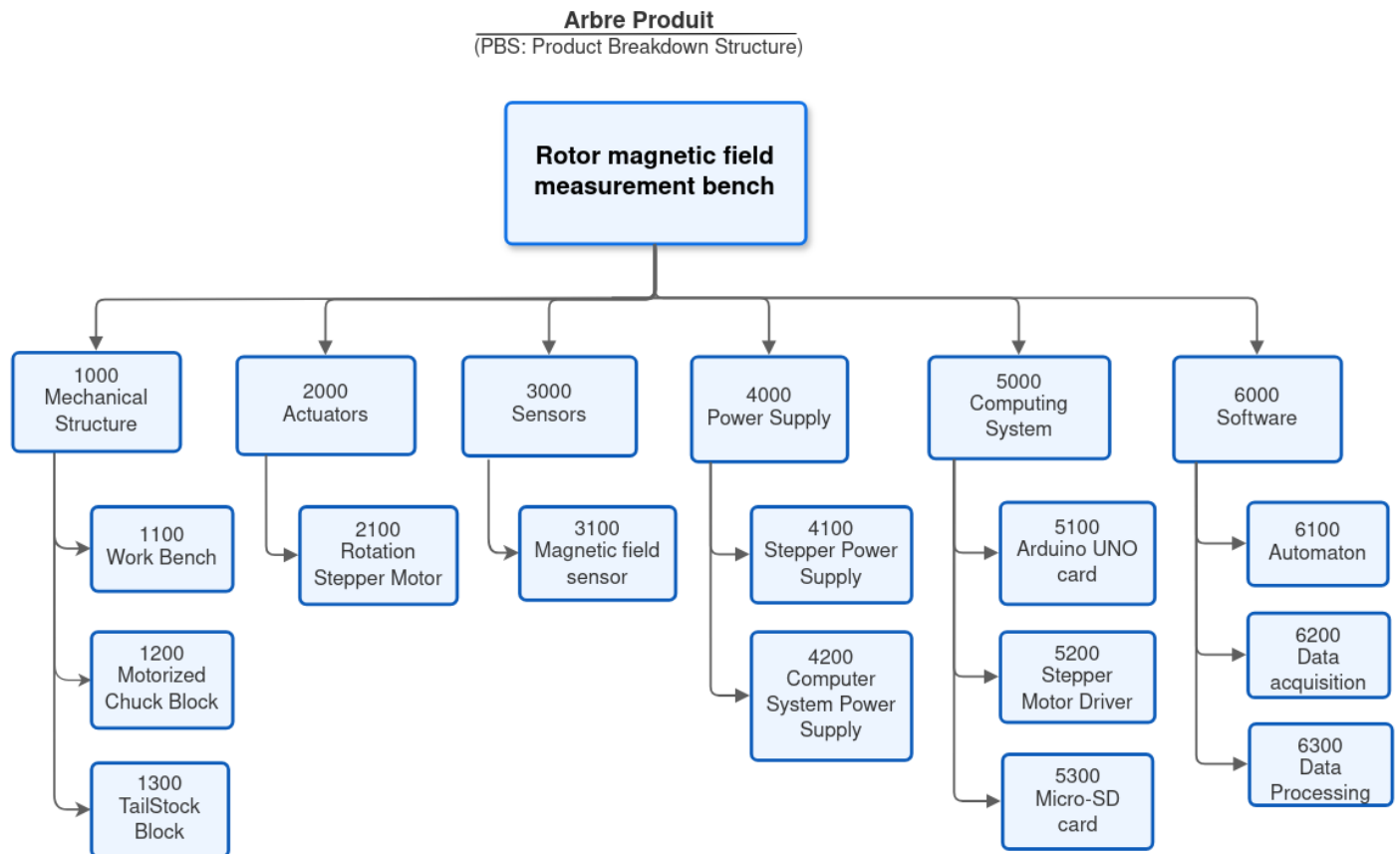


Figure 3: Arbre produit du banc de mesure

### 3.2 Structure mécanique

#### 3.2.1 Bloc mandrin motorisé

La figure 4 ci-après montre le bloc mandrin motorisé qui équipe le banc de mesure. Il comprend un mandrin de haute précision, permettant un positionnement précis et une bonne concentricité. Le bloc est équipé d'un moteur pas à pas qui transmet la rotation au mandrin à l'aide d'un système poulies-courroie qui démultiplie d'un facteur 6 la rotation du moteur. Le mandrin est particulièrement adapté pour le serrage de divers types de matériaux grâce à sa compatibilité élevée.





Figure 4: Bloc mandrin

**Caractéristiques du mandrin :**

- **Type** : Mandrin à haute précision
- **Modèle** : SANOU K12-100
- **Vitesse maximale** : 3500 tr/min
- **Précision** : Fournit un positionnement précis et une bonne concentricité
- **Compatibilité** : Adapté pour le serrage de divers types de matériaux

**Caractéristique du moteur pas à pas :**

- **Type** : Moteur pas à pas biphasé
- **Modèle** : NEMA24, longueur 76 cm
- **Pas angulaire** :  $1.8^\circ$  (200 pas par tour)
- **Référence** : 57HS76-3004A08-D30-04

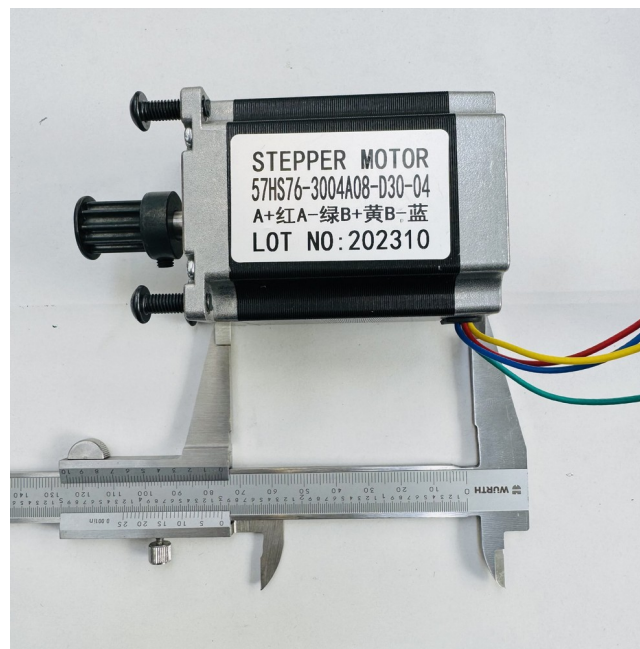


Figure 5: Le moteur pas à pas du bloc mandrin

### 3.2.2 Bloc contre-pointe

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



Figure 6: Bloc contre-pointe

### 3.2.3 CAO du 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 7 montre la structure du châssis utilisé :

Il est fabriqué à partir de profilés d'aluminium extrudé, offrant une combinaison de légèreté et de robustesse. La conception CAO du châssis intègre des points de montage précis pour le mandrin et la contre-pointe, ainsi que pour les autres composants mécaniques et électroniques.

Le mandrin de haute précision et le moteur pas à pas assurent un positionnement et un contrôle précis, ce qui est essentiel pour les mesures magnétiques requises. La contre-pointe est montée sur un support permettant sa translation, ce qui permet d'ajuster sa position en fonction de la taille du rotor. Le châssis en profilés d'aluminium extrudé garantit la stabilité nécessaire pour obtenir des résultats de mesure reproductibles et fiables.

#### 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 :** Conception assurant une stabilité optimale lors des mesures.

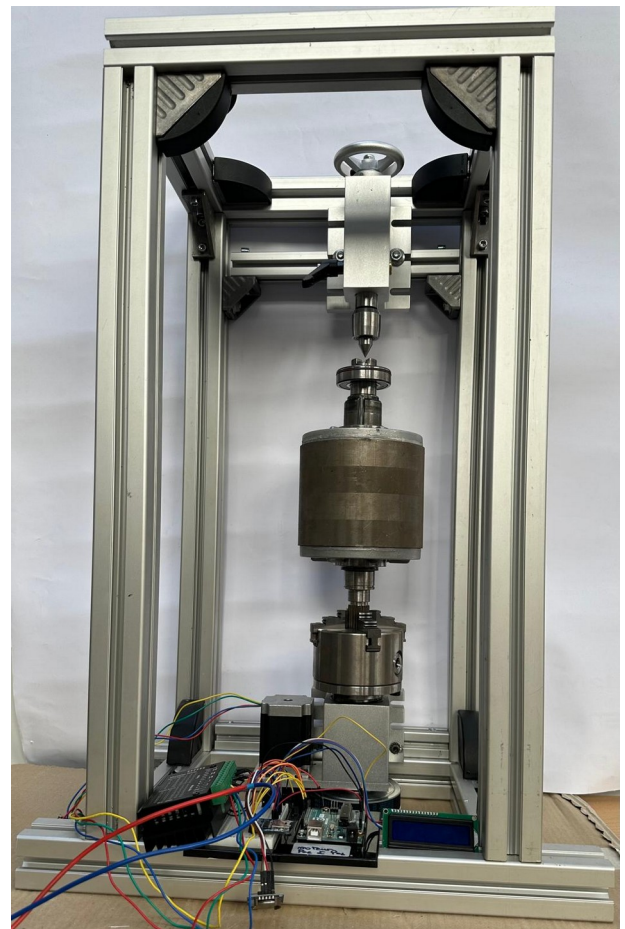


Figure 7: Photo du châssis

### 3.3 Actionneurs

Dans ce paragraphe, vous devez donner les informations sur le (ou les) moteur(s) pas à pas utilisés pour le banc : data sheet, plan de géométrie, principales caractéristiques...

### 3.4 Capteurs

Dans ce paragraphe, vous devez donner les informations sur la sonde magnétique proposée : data sheet, plan de géométrie, principales caractéristiques...

### 3.5 Système informatique

Le pilotage du banc de mesure est confié à une carte microcontrôleur Arduino de type MEGA2560. Le choix de cette carte se justifie par la nécessité de disposer de plusieurs interfaces séries :

- une pour la liaison série avec le PC chargé d'éditer et de téléverser le programme Arduino de l'automate,
- une autre pour la connexion avec le capteur de champ magnétique.

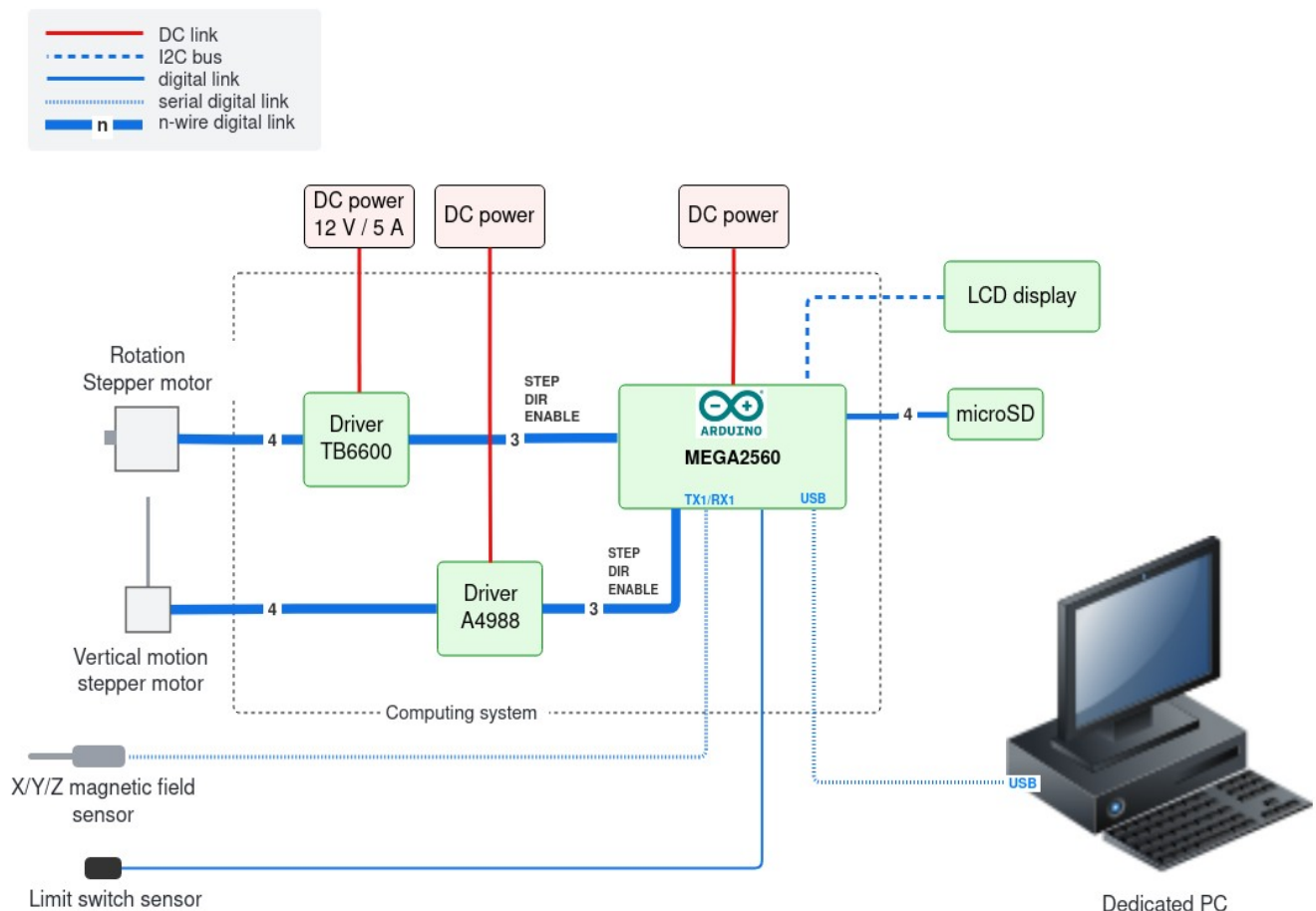


Figure 8: Synoptique du système informatique du banc de mesure

Le programme développé définit un automate à états finis chargé du pilotage du banc de mesure. Il est détaillé au paragraphe 3.7.1 page 12.

## 3.6 Alimentation électrique

Comme l'indique la figure 8, plusieurs alimentations sont utilisées pour le fonctionnement du banc de mesure :

- alimentation de la carte Arduino MEGA2560 :
- alimentation du driver du moteur pas à pas du bloc mandrin :
- alimentation du moteur pas à pas de l'axe Z :

## 3.7 Software

*Décrire ici les principales fonctionnalités des différents logiciels utilisés sur le banc :*

### 3.7.1 Pilotage du banc

Le pilotage du banc est confié à un logiciel de type « Automate à états finis » qui est exécuté sur la carte Arduino MEGA2560 qui équipe le banc de mesure.

*Je conseil d'utiliser ici :*

- le dessin des états de l'« automate à états finis »
- un diagramme de séquence UML pour représenter graphiquement le séquençage du pilotage du banc (à faire sur LucidChart).

### 3.7.2 Acquisition des données

L'acquisition des données est réalisée par l'automate exécuté sur la carte Arduino. Elle se décompose en 3 étapes :

- 1/ Acquisition des données envoyées par la sonde de mesure du champ magnétique.
- 2/ Stockage des données acquises sur la carte micro-SD relié à la carte Arduino.
- 3/ Envoi des données acquises vers le PC relié à la carte Arduino.

### 3.7.3 Traitement des données

*En fonction de l'expression besoins décrite plus haut, on pourra donner ici les principales fonctionnalités du logiciel de traitement des données....*

## 4 Protocole d'utilisation du banc de mesure

*Décrire ici avec photos et diagrammes la façon d'utiliser le banc d'essai...*

## 5 Annexes

### 5.1 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 page includes a navigation bar with the DigiKey logo, search bar, and user account options. The product details section on the left lists the product number (3542-USB25103-ND), manufacturer (MDT), and description (3D MAGNETOMETER HIGH-FIELD USB). A technical specification table is provided below. On the right, the stock status is 'En stock: 4', and there are buttons to 'Ajouter à la liste' and 'Ajouter au panier'. A price table for bulk orders is also visible.

**USB25103**

Numéro de produit DigiKey: 3542-USB25103-ND  
 Fabricant: MDT  
 Numéro de produit du fabricant: USB25103  
 Description: 3D MAGNETOMETER HIGH-FIELD USB  
 Référence client:   
 Description détaillée: ±20 kGauss Boussole X, Y, Z Sonde  
 Fiche technique: [Fiche technique](#)

**Attributs du produit**

TYPE	DESCRIPTION	TOUT SÉLECTIONNER
Catégorie	Capteurs, transducteurs Capteurs magnétiques Boussole, champ magnétique (modules)	<input type="radio"/>
Fabricant	MDT	<input type="checkbox"/>
Série	-	<input type="checkbox"/>
Conditionnement	En vrac	<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"/>

**En stock: 4**

**PRODUIT MARKETPLACE**  
 Expédition sous environ 30 jours de MULTIDIMENSION  
**LIVRAISON GRATUITE** à partir de 99,00 € d'achat pour les produits expédiés par MULTIDIMENSION

QUANTITÉ

[Ajouter à la liste](#) [Ajouter au panier](#)

Tous les prix sont en EUR

**En vrac**

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 €

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



## **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**

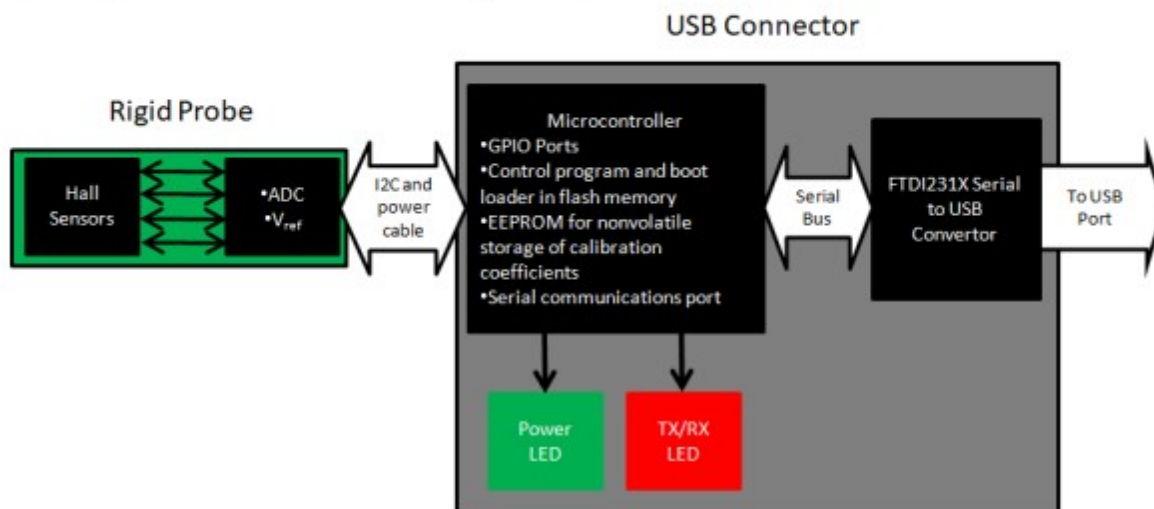
The MDT USB25103 is a three-axis digital magnetometer that is intended for the measurement of magnetic fields near the probe tip at frequencies less than 250 Hz. The MDT USB25103 combines three orthogonal magnetic field sensors with plug-and-play USB data acquisition electronics and software to provide 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:

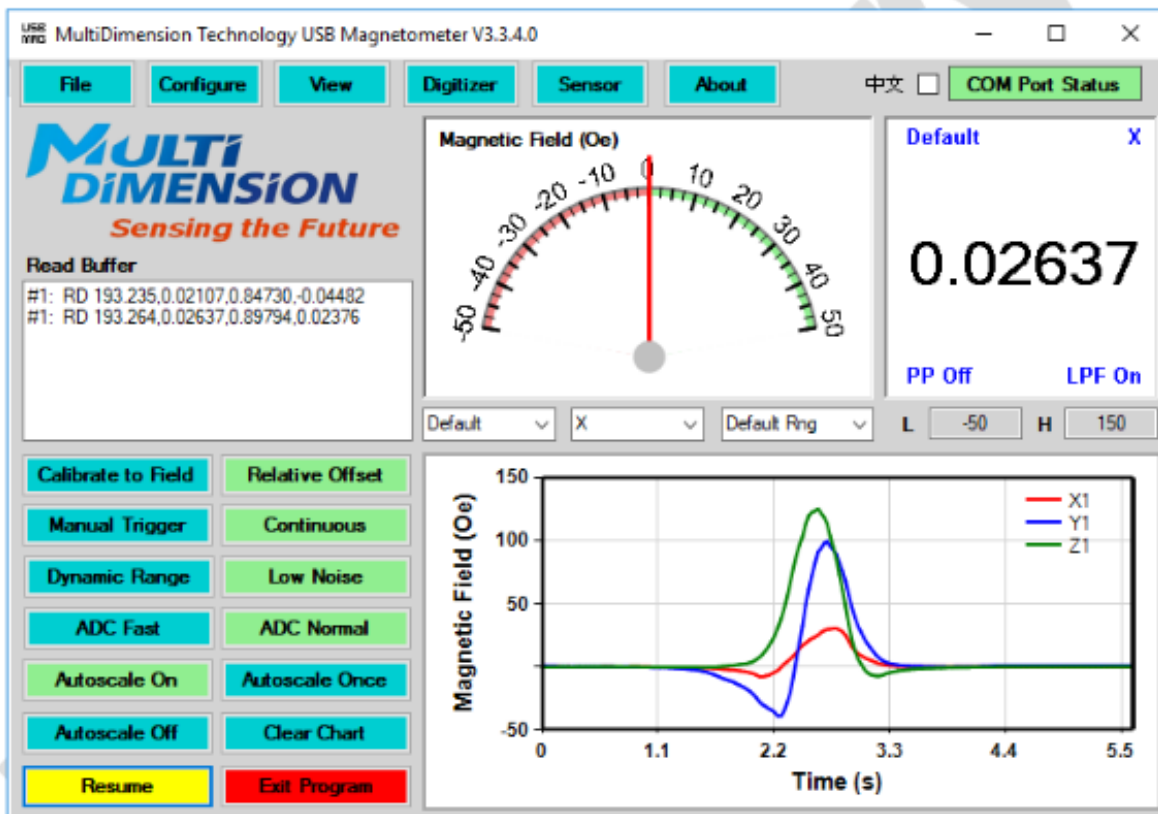


The magnetic sensors are used to detect a magnetic field, which is converted to a proportional voltage value. The magnetic sensors are biased by a temperature compensated voltage reference. The magnetic sensor outputs are connected to ADCs which digitally sample the voltages and sends the digital signals 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	$H_{\text{ext}}$	unlimited	Oe <sup>(1)</sup>
ESD Voltage	$V_{\text{ESD}}$	4000	V
Operating Temperature	$T_A$	-40 ~ 85	°C
Storage Temperature	$T_{\text{stg}}$	-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 <sup>(2)</sup>	Windows, Macintosh, Linux, Android, iOS				
Maximum Field Range		-20		20	kOe
Low Noise Field Range		-2.2		2.2	kOe
Uncorrected Nonlinearity	Fit @ $\pm 5$ kOe		2		%FS
RMS Noise	No Averaging, Low Noise, 16 bits		75		mOe
Temperature Coefficient of Sensitivity <sup>(3)</sup>			-0.06		%/°C
ADC Resolution <sup>(3)</sup>			16		bits
Sampling Frequency <sup>(4)</sup>	Resolution Dependent		200	250	Hz
Orthogonality	Can Be Software Corrected			2	degree

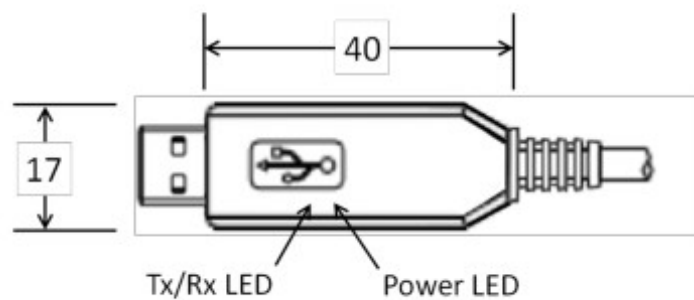
Notes:

- (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.

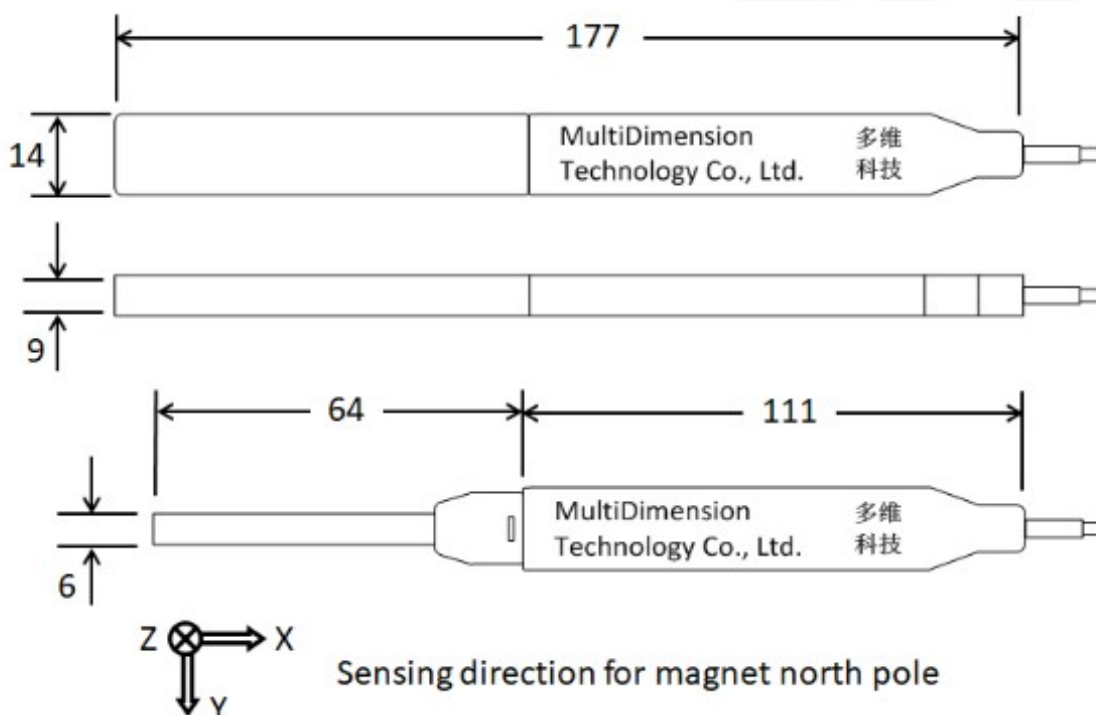
## Related Documents

- MDT USB Magnetometer User Manual

## USB Connector Dimensions



## Rigid Probe Dimensions



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.

