



Projet Mini-APTERROS NAASC-ENSAM

Configuration et exploitation de la centrale inertielle Xsens MTi-30

Jean-luc.charles@ENSAM.eu

Catherine.goetz@ENSAM.eu

Fabrice.Prince@ENSAM.eu

	Date	Signature
Rédigé par : Jean-Luc CHARLES Maître de Conférences, ENSAM de Bordeaux-Talence	2022-05-12	
Vérifié par :		
Approuvé par :		

HISTORIQUE DES MODIFICATIONS

Édition	Révision	Date	Modification	Visa
1	0	2022-05-12	Version initiale	

Documents de référence du fabricant Xsens :

« MTi Family Reference Manual »

<https://mtidocs.xsens.com/mti-family-reference-manual>

« MTi 10/100-series User Manual »

<https://mtidocs.xsens.com/mti-10-100-series-user-manual>

Table des matières

1	Sigles et acronymes.....	4
2	Le contexte du projet Mini-APTERROS.....	5
3	La centrale inertielle Xsens Mti-30.....	6
3.1	Identification du produit.....	6
3.2	Caractéristiques globales.....	7
4	Caractérisation de la centrale MTi-30.....	13
4.1	Protocole expérimental.....	13
4.2	Résultats.....	15
5	Conclusion.....	25
6	Bibliographie.....	26
7	Annexes.....	27
7.1	Config du 2 juin2022.....	27

Index des figures

Figure 1: Les catégories de centrales Xsens.....	6
Figure 2: Code produit des centrales MTi Xsens.....	6
Figure 3: Tableau des unités des capteurs de la centrale inertielle.....	7
Figure 4: Le repère S lié à la centrale inertielle.....	8
Figure 5: Repère lié au véhicule et repère inertiel.....	8
Figure 6: Les profils du filtre XKF3i.....	10
Figure 7: Courbes de référence MTI-30, LowerPlate-PLA.....	15
Figure 8: Courbes de référence MTI-30, UpperPlate-Steel.....	16

Index des tableaux

Tableau 1: Dispositions de la centrale Mti-30 pour les essais.....	14
--	----

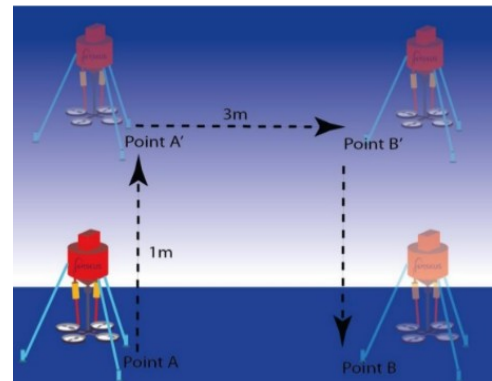
1 Sigles et acronymes

API	Application Programming Interface	Interface de programmation d'application : ensemble de fichiers sources et de bibliothèques permettant d'interfacer un logiciel avec un développement personnel.
AHS	Active Heading Stabilization	Stabilisation active du cap.
AHRS	Attitude and Heading Reference System	Système de Référence d'Attitude et de Cap. Souvent constitué d'une IMU + un magnétomètre.
APTERROS	Advanced Propulsion Technology for Reusable Rocket and Operating System	Projet visant à concevoir et réaliser un démonstrateur de système d'atterrissage vertical du premier étage d'une fusée, à propulsion électrique.
IMU	Inertial Measurement Unit	Unité de mesure inertielle (aka centrale inertielle). Contient un accéléromètre et/ou un magnétomètre.
LIDAR	Light Detection And Ranging	Capteur de mesure de distance utilisant un LASER.
NAASC	Nouvelle-Aquitaine Academic Space Center	Centre Spatial Universitaire de Nouvelle-Aquitaine.
NN	Neural Network	Réseau de neurones
Rpi	Raspberry Pi	Mini ordinateur comportant un CPU, de la mémoire et un bus d'entrées/sorties (IO bus).
VTVL	Vertical TakeOff Vertical Landing	Décollage et atterrissage vertical
XKF3	Xsens Kalman Filter	

2 Le contexte du projet Mini-APTERROS

Le projet Mini-APTERROS (*Advanced Propulsion Technology for Reusable Rocket and Operating System*) s'inscrit dans le cadre plus général du projet PERSEUS (Projet Étudiant de Recherche Spatiale Européen Universitaire et Scientifique) initié par la Direction des Lanceurs du Centre National d'Études Spatiales (CNES). Cette initiative vise à favoriser l'émergence de solutions techniques innovantes pour des projets spatiaux à caractère industriel et pédagogique.

Le projet Mini-APTERROS a pour objectif de concevoir et réaliser un démonstrateur à petite échelle d'un système d'atterrissage vertical du premier étage d'une fusée à propulsion électrique (VTVL : *Vertical TakeOff Vertical Landing*). Le cahier des charges du CNES spécifie les contraintes de conception du véhicule et la mission qu'il doit effectuer : décollage vertical suivi d'un vol horizontal en palier, puis atterrissage vertical.



Le projet Mini-APTERROS a démarré à l'ENSAM de Bordeaux-Talence à la rentrée 2017, sous l'impulsion de Catherine Goetz, Maître de conférences, professeur d'automatique, responsable du NAASC (*Nouvelle-Aquitaine Academic Space Center*), et de Jean-Luc Charles, Maître de conférences, professeur d'informatique, référent pour le travail sur les réseaux de neurones apprenants. Chaque année 4 à 8 étudiants de l'ENSAM travaillent sur le projet Mini-APTERROS une demi-journée par semaine pendant l'année (soit 20 séances de 4 heures au total) dans le cadre leur projet de 2^e année.

Le véhicule Mini-APTERROS embarque plusieurs systèmes de mesure afin d'obtenir la position et l'orientation du repère lié au véhicule :

- Le système de géolocalisation *indoor* IIDRE, utilisé en mode 2D fournit la position (x, y) du véhicule dans un plan horizontal. Il est constitué de 4 ancres fixées sur les quatre pieds du portique de vol et d'un récepteur mobile embarquée sur le véhicule.
- Un LiDAR permet la mesure de la distance «Véhicule-sol » dans la direction de l'axe du véhicule.
- La centrale inertielle Xsens MTi-30 fournit l'orientation du repère lié au véhicule.

Le présent document présente le fonctionnement, la configuration et l'exploitation de la centrale Xsens Mti-30.

3 La centrale inertielle Xsens Mti-30

Source : « MTi 10/100-series User Manual »

<https://mtidocs.xsens.com/mti-10-100-series-user-manual>

La centrale Xsens Mti-30 fait partie de la famille « MTi-10 ». C'est une centrale de type **AHRS** (*Attitude and Heading Reference System*, voir figure 1) qui intègre un processeur et trois capteurs :

- un accéléromètre 3 axes (mesure les accélérations),
- un gyromètre 3 axes (mesure des vitesses angulaires),
- un magnétomètre 3 axes (mesure du champ magnétique environnant).

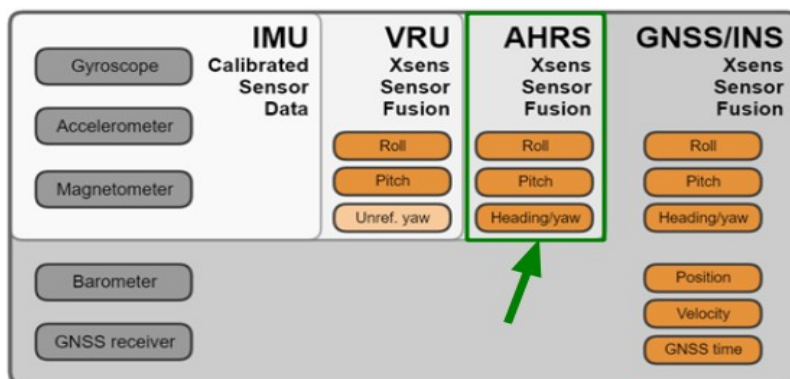


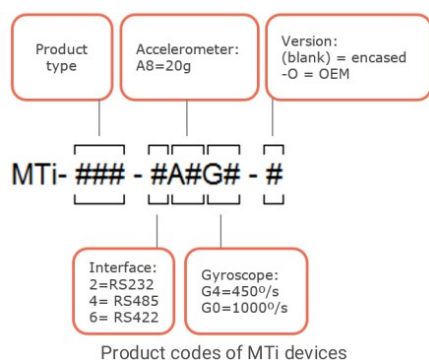
Figure 1: Les catégories de centrales Xsens

Les capteurs inertiels (accéléromètres et gyromètres) et les magnétomètres des centrales Xsens sont basés sur la technologie MEMS (*Micro Electro Mechanical System*) :

- MEM capacitif pour les accéléromètres : une micro-masse se déplace entre des micro-éléments capacitifs sous l'effet de l'accélération, ce qui modifie l'état électrique du MEMS et permet la mesure de l'accélération au travers d'une grandeur électrique
- MEMS résonnants pour les gyromètres : un micro-élément est mis en résonance, et la vitesse de rotation modifie la résonance sous l'effet de la force de Coriolis.

3.1 Identification du produit

L'identification des centrales inertielle Xsens est codée comme indiqué sur la figure 2a :



a) Code produit



Type	30	MTi-30
Interface	2	RS232
Accéléromètre	A8	20g
Gyromètre	G4	450°/s

b) Centrale MTi-30 de l'ENSAM

Figure 2: Code produit des centrales MTi Xsens

La centrale MTi-30-2A8G4 disponible à l'ENSAM de Talence a été achetée pour l'édition 2017-2018 du projet. La figure 2b) montre les informations portées par son code produit.

3.2 Caractéristiques globales

Calibration

Les capteurs des centrales MTi-30 sont calibrés individuellement en usine par Xsens, permettant de fournir des mesures calibrées pour les accélérations et les vitesses angulaires. Par contre les valeurs du champ magnétique disponibles en sortie sont des valeurs normalisées.

Le tableau 1 précise les unités des grandeurs mesurées par l'accéléromètre, le gyromètre et le magnétomètre.

Output specifications inertial and magnetometer data outputs	
Vector	Unit
Acceleration (DataID 0x4020)	m/s ²
Angular velocity (RateOfTurn) (DataID 0x8020)	rad/s
Magnetic field (DataID 0xC020)	a.u. (arbitrary units; normalized to earth field strength at the location the MFM is performed)

Figure 3: Tableau des unités des capteurs de la centrale inertielle

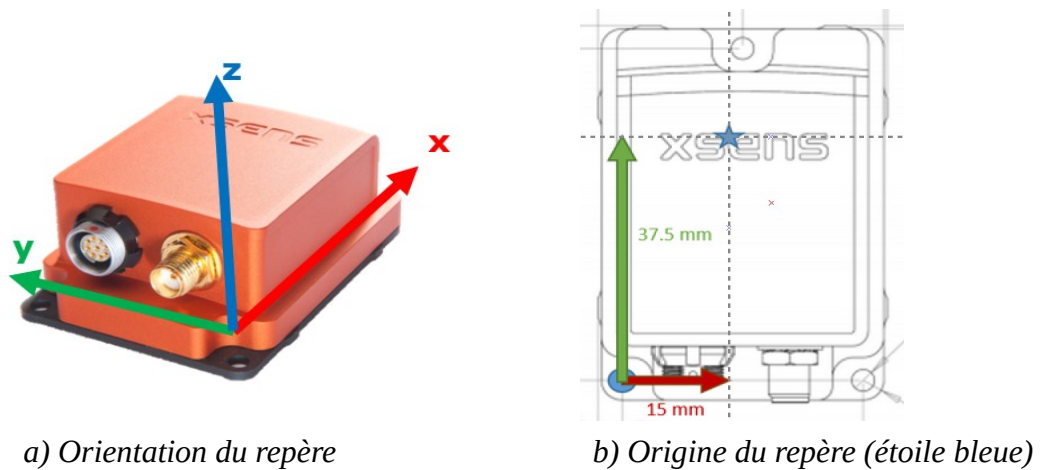
[source : <https://mtidocs.xsens.com/output-specifications>]

Chaque centrale MTi contient des données individuelles d'étalonnage qui sont stockées de façon permanente dans la mémoire *eMTS* (*electronic Motion Tracker Settings*) de la centrale. Ces données stockent les valeurs d'étalonnage en usine. On peut y accéder grâce au logiciel *MT Manager*, en naviguant dans le menu « *Device Settings* → *Modeling Parameters* ». L'annexe 1-B montre les valeurs d'étalonnage de la centrale Mti-30 utilisée à l'ENSAM.

Spécifications des données de sortie

Les 9 valeurs brutes délivrées par les 9 capteurs calibrés (3 accéléromètre, 3 gyromètres et 3 magnétomètres) sont accessibles dans le paquet des données fournies en sortie, **exprimées dans le repère lié à la centrale MTi**.

La figure 5a) illustre l'orientation du repère S_{xyz} (*Sensor frame*) lié à la centrale. Dans la base de connaissance Xsens, la page [MTi 10/100-series Origin of Coordinate system](#) précise la position de l'origine du repère lié à la centrale, illustré par l'étoile bleue sur la figure 4b.



a) Orientation du repère

b) Origine du repère (étoile bleue)

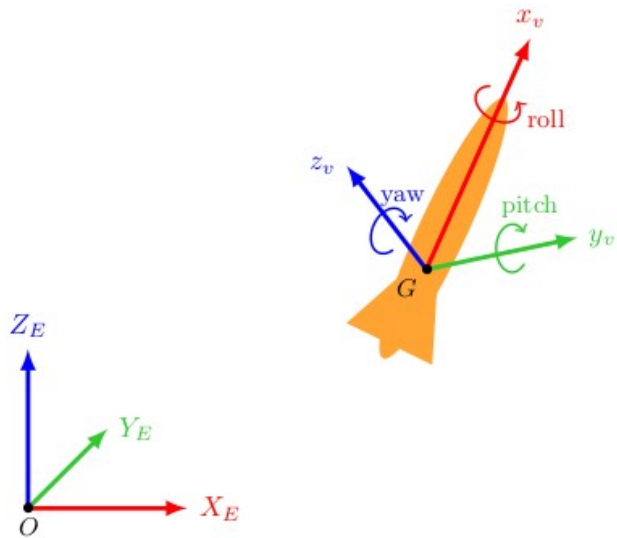
Figure 4: Le repère S lié à la centrale inertielle

La sortie d'orientation d'Euler est calculée selon la séquence Z-Y'-X" (également connue sous le nom de *séquence aéronautique* ou *représentation lacet-tangage-roulis*).

Filtre de Kalman XKF3i

L'orientation dans l'espace de la centrale MTi-30 est obtenue grâce au logiciel *Xsens Kalman Filter (XKF3i)* implémenté dans le processeur de la centrale. Il utilise les données des gyromètres, des accéléromètres et des magnétomètre pour calculer une estimation statistique optimale de l'orientation 3D, théoriquement sans dérive.

L'algorithme XKF3i peut être résumé comme un algorithme de fusion des données de capteurs où la mesure de la gravité (accéléromètre 3D) et du nord magnétique terrestre (magnétomètre 3D) compensent les erreurs (dérive lente par exemple) de l'intégration des vitesses de rotation (gyromètre 3D). Ce type de compensation de dérive est appelé « *référencement d'attitude et de cap* » et un tel système est appelé « *Attitude and System de référence de cap* » (*AHRS : Attitude and Heading Reference System*).



$[O, (X_E, Y_E, Z_E)]$: inertial frame fixed to the Earth

$[G, (x_v, y_v, z_v)]$: non inertial frame fixed to the vehicle

Figure 5: Repère lié au véhicule et repère inertiel

Utilisation de la gravité pour stabiliser l'inclinaison (roulis/tangage)

Le filtre XKF3i stabilise l'inclinaison (roulis et tangage) avec les données des l'accéléromètre (accélération gravitationnelle plus l'accélération due au mouvement de l'objet). Le filtre est basé sur l'hypothèse qu'en moyenne l'accélération due au mouvement est nulle : la direction de la gravité peut ainsi être observée et utilisée pour stabiliser l'attitude. L'orientation de la centrale dans le champ de gravité est prise en compte de sorte que les accélérations centripètes ou les mouvements asymétriques ne dégradent pas le calcul de l'orientation : en pratique, tout dépend du temps pendant

lequel l'accélération est moyennée pour que cette hypothèse soit valide. Pendant ce temps, le gyromètre doit pouvoir suivre l'orientation avec précision : en pratique, cela limite le temps pendant lequel l'hypothèse reste vraie.

Dans certains cas cette hypothèse ne tient pas : par exemple, un mobile en train d'accélérer peut générer des accélérations importantes sur des intervalles de temps plus longs que la durée maximale sur laquelle les gyromètres peuvent suivre l'orientation de manière fiable. Dans ce cas l'estimation de l'orientation sera dégradée, car l'hypothèse utilisée par l'algorithme n'est plus vérifiée. Cependant, dès que le mouvement correspond à nouveau aux hypothèses formulées, le filtre XKF3i se stabilisera de nouveau.

Utilisation du champ magnétique terrestre pour stabiliser le lacet (yaw)

Avec les centrales de type AHRS, comme la MTi-30, la valeur du lacet (yaw) est stabilisée à l'aide du champ magnétique terrestre local : le champ magnétique mesuré sert de boussole. Si le champ magnétique terrestre est temporairement perturbé, le filtre XKF3i suivra cette perturbation. En cas de perturbation durable (>10 à 30 s, selon le réglage du filtre), le cap calculé convergera lentement vers une solution en utilisant le «nouveau» nord magnétique.

Quand la centrale MTi-30 est fixée de manière rigide à un objet contenant des matériaux ferromagnétiques, des perturbations magnétiques durables peuvent exister. Dans ce cas, il existe des solutions pour utiliser le magnétomètre qui sont décrites dans l'article [Estimating Yaw in magnetically disturbed](#) de la base de connaissances Xsens.

Estimation du biais du gyromètre en environnement magnétique perturbé

Le biais du gyromètre est estimé en continu. Pour les rotations autour des axes x et y, le biais du gyromètre est évalué en utilisant la gravité, mesurée par l'accéléromètre 3D. Dans un champ magnétique homogène, en réglant les profils du filtre pour utiliser le magnétomètre, le biais du gyromètre autour de l'axe z sera estimé avec succès.

Dans certaines situations, le cap ne peut pas être référencé avec le nord magnétique, par exemple lorsque le champ magnétique n'est pas homogène. Il existe plusieurs façons de compenser la dérive de cap (rotation autour de l'axe z) :

1. Le biais du gyroscope peut être estimé à l'aide de la « stabilisation de cap active » (*AHS : Active Heading Stabilization*). Voir le chapitre « Stabilisation active du cap » pour plus de détails.
2. Lorsque la centrale a suffisamment de mouvement en roulis et en tangage (> 30 degrés pendant plus de 10 secondes), le biais du gyroscope sera estimé pour l'axe z. Lors de la rotation en roulis et tangage autour de 0, le cap sera plus stable qu'avant les mouvements de roulis/tangage.
3. Lorsque le MTi ne peut pas être tourné autour du roulis et du tangage, il est possible d'estimer le biais du gyromètre, voir le chapitre « Manual Gyro Bias Estimation ».

Initialisation

L'algorithme XKF3i calcule non seulement l'orientation, mais garde également la trace de variables telles que le biais des capteurs ou les propriétés du champ magnétique local. Pour cette raison, la sortie d'orientation peut avoir besoin d'un certain temps pour se stabiliser après que la centrale est mise en mode « mesure ». Le temps nécessaire pour obtenir une sortie stable optimale dépend de

plusieurs facteurs. Un facteur important déterminant le temps de stabilisation est lié au temps de correction des petites erreurs sur le biais du gyromètre : ce biais peut changer lentement en raison de différents effets tels que le changement de température ou l'exposition à un impact.

Les profils du filtre XKF3i

Le filtre XKF3i utilise des hypothèses sur l'accélération et sur le champ magnétique pour estimer au mieux l'orientation du repère lié au boîtier de la centrale. Comme les caractéristiques de l'accélération ou du champ magnétique diffèrent selon les utilisations, le filtre XKF3i peut utiliser des profils pré-paramétrés selon les cas d'utilisation, comme illustré sur la Figure 6 :

Number	Name	IMU	Magnetometer	Product
39	General	•	•	30/300-AHRS
40	High_mag_dep	•	•	30/300-AHRS
41	Dynamic	•	•	30/300-AHRS
42	Low_mag_dep	•	•	30/300-AHRS
43	VRU_general	•		30/300-AHRS; 20/200-VRU

Figure 6: Les profils du filtre XKF3i

- General** profil par défaut : suppose une dynamique modérée et un champ magnétique homogène. Les distorsions magnétiques externes sont considérées comme relativement courtes (jusqu'à ~20 secondes). Applications typiques : suivi de caméra, bras robotiques télécommandés sur les ROV...
- High_mag_dep** suppose un champ magnétique homogène et une excellente cartographie du champ magnétique. Dépend fortement du magnétomètre pour le cap. La dynamique du mouvement doit être relativement lente. Applications typiques : navigation de ROV, contrôle de petits hélicoptères sans pilote...
- Dynamique** adapté aux mouvements saccadés, avec une vitesse pas trop grande. Il utilise le magnétomètre pour la stabilisation du cap et suppose des distorsions magnétiques très courtes. Applications typiques : celles où la centrale est montée sur des personnes ou tenue à la main (par exemple HMD, attributs sportifs...).
- Low_mag_dep** suppose que la dynamique est relativement faible et qu'il existe des distorsions magnétiques externes de longue durée. Adapté au cas où il est difficile de faire une très bonne cartographie du champ magnétique (MFM). Peut être utile pour limiter la dérive de cap tout en n'étant pas dans un champ magnétique homogène. Applications typiques : navires, véhicules terrestres sans pilote dans les bâtiments.
- VRU_general** suppose une dynamique modérée dans un champ magnétique instable qui empêche de bénéficier de la fonction AHS. Également adapté aux situations où une source alternative de lacet est disponible. Le lacet du VRU n'est pas référencé ; notez cependant qu'en raison du principe de fonctionnement du VRU, la dérive en lacet

sera beaucoup plus faible que lorsque les signaux du gyroscope seraient intégrés.
Applications typiques : outils d'inspection des pipelines...

Dans le contexte d'utilisation du MiniAPTERROS, la MTi-30 est configurée avec le profile « General ».

Active Heading Stabilization (AHS)

La stabilisation active du cap (*AHS : Active Header Stabilization*) est un composant logiciel du moteur de fusion de capteurs conçu pour fournir une solution de **lacet (yaw) non référencée au nord** à faible dérive, même dans un environnement magnétique perturbé. Il vise à lutter contre les distorsions magnétiques qui ne bougent pas avec le capteur, c'est-à-dire les distorsions temporaires ou spatiales. AHS est conçu pour être utilisé avec les produits VRU de Xsens. Lorsque AHS est appliqué à un profil de filtre qui utilise normalement le champ magnétique comme référence, le champ magnétique ne sera plus utilisé comme référence.

→ **La sortie yaw sera référencée par rapport à l'orientation du cap de démarrage, au lieu d'être référencée par le nord.**

À l'initialisation du capteur, l'estimation de lacet sera donc de 0 degré. Avec l'AHS activé, la dérive en lacet peut être aussi faible que 1 à 3 degrés par heure. Cela dépend cependant du type d'application. AHS fonctionne mieux pour les applications qui sont parfois immobiles, telles que la robotique d'entrepôt et d'autres véhicules terrestres.

Pour plus d'informations sur l'activation et l'utilisation de l'AHS sont données dans l'article [Active Heading Stabilization](#) de la base de connaissance Xsens.

Dans le contexte d'utilisation du MiniAPTERROS, la Mti-30 est configurée avec traitement ARHS activé.

Meilleures pratiques pour les performances de fusion des capteurs Xsens au démarrage

Pendant l'étalonnage en usine, les caractéristiques des capteurs sont écrites dans la mémoire du Mti. Mais certaines caractéristiques, par exemple la polarisation du gyromètre, peuvent changer au cours de la durée de vie de la centrale (plus d'informations sur les biais des capteurs se trouve dans la page [Understanding Sensor Bias](#) sur la base connaissance Xsens).

Pendant la phase d'initialisation, les performances du MTi peuvent être sous-optimales, car les biais du gyroscope ne sont pas encore estimés correctement. Deux « bonnes pratiques » permettent à l'algorithme interne de la centrale d'atteindre des performances optimales le plus rapidement possible en lui permettant d'estimer les biais du gyromètre :

1/ Estimation manuelle du biais gyroscopique

Les algorithmes internes peuvent estimer les biais des gyroscopes pendant leur utilisation. Cependant, au démarrage, il n'a pas encore été possible d'estimer correctement les biais. La fonctionnalité d'« estimation manuelle des biais gyroscopiques » permet à la centrale d'estimer les biais gyroscopiques rapidement (<10 s) et avec précision.

La procédure de démarrage recommandée est la suivante :

- Mettre la centrale sous tension.

- Comme le système est encore 100% stationnaire, envoyer à la centrale la commande d'estimation manuelle de la polarisation du gyromètre.
- Pendant la durée définie (entre 2 et 10 secondes), la centrale avec précision les polarisations du gyromètre.
- Les estimations de biais sont utilisées immédiatement par le filtre de la centrale.
- Le système peut maintenant être utilisé normalement.

2/ Appliquer un mouvement 3D

La centrale peut utiliser la direction de la gravité pour déterminer les biais de son gyromètre 3D. Elle utilise trois gyromètres dans des axes perpendiculaires : cela signifie que deux axes sont perpendiculaires à la gravité et qu'un axe est aligné avec la gravité lorsque la centrale est placée sur un plan horizontal. Dans cette situation, le biais du gyromètre aligné avec la gravité ne peut pas être estimé. Par conséquent, si un mouvement 3D est appliqué au capteur, par exemple l'axe vertical est tourné suffisamment loin de la verticale, le dernier biais du capteur devient observable pour le filtre de la centrale.

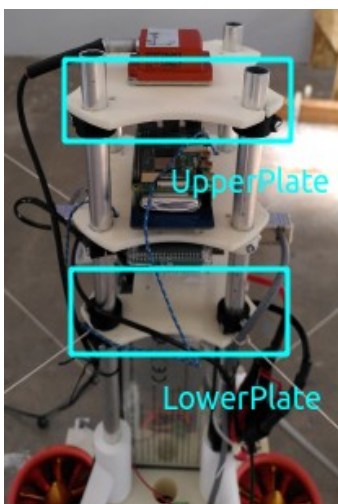
4 Caractérisation de la centrale MTi-30

Le but de la campagne d'essais menée dans le cadre du projet Mini-APTERROS à l'ENSAM dans la période mai-juillet 2022 est de valider (ou non) les mesures d'angles fournies par l'algorithme ARHS de la centrale MTi-30, en particulier dans l'environnement magnétique perturbé généré par les courants forts alimentant les turbines électriques du véhicule (jusqu'à 80 A par turbine).

4.1 Protocole expérimental

Dispositions de la centrale MTi-30

Après plusieurs essais exploratoires préliminaires, nous avons choisi deux endroits où positionner la centrale et plusieurs orientations de la centrale pour chacun de ces endroits :

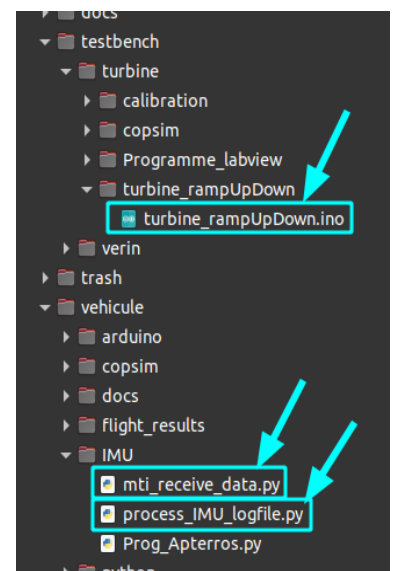


- **LowerPlate** : le plateau inférieur, fabriqué en PLA par impression additive, situé juste au-dessus de la batterie.
- **UpperPlate** : le plateau supérieur du véhicule, dans deux types de matériau :
 - **UpperPlate-PLA** : version PLA par impression additive
 - **UpperPlate-Steel** : plateau fabriqué dans une plaque d'acier.

pour chacune des dispositions, quatre orientations sont testées obtenues par rotation successive de 90 ° autour de l'axe de symétrie du véhicule (confondu avec la verticale lorsque le véhicule repose sur ses pieds).

Protocole d'essais

1. Fixer la centrale MTi-30 (adhésif double face) sur un plateau du véhicule, prendre la photo montrant l'emplacement de la centrale.
2. Les programmes sont sur le dépôt gitlab du projet <https://gitlab.com/jlc/miniapterros> :
 - **turbine_rampUpDown.ino** assure le pilotage des turbines,
 - **mti_receive_data.py** gère l'acquisition des données de la centrale MTi-30,
 - **process_IMU_logfile.py** trace les courbes.
3. Charger le fichier **turbine_rampUpDown.ino** avec l'IDE Arduino et le téléverser dans la carte Arduino du Mini-APTERROS. Le programme génère une rampe PWM croissante jusqu'à un plateau, puis une rampe décroissant jusqu'à extinction des turbines.
4. À l'exécution du programme Arduino, ouvrir le moniteur série pour choisir :
 - **pulseWidthLimit (µs)** : valeur maximale de la largeur d'impulsion PWM en µs pour le pilotage des turbines. 1000 µs : arrêt des turbines, 2000 µs : vitesse maximale.



- `pulseWidthStep` (μs) : pas pour incrémenter/décroître la largeur d'impulsion PWM.
 - `time_step` : temps entre chaque pas (ms).
- Le programme attend l'appui sur la touche ENTER pour démarrer la rampe.

5. Dans un terminal du PC relié en USB à la centrale inertielle taper la commande : `python mti_receive_data.py`

Cette commande démarre l'acquisition des données de la centrale inertielle et les stocke dans un fichier binaire nommé `logfile.mtb`. La durée de l'essai peut être réglée grâce à l'option `total_duration_ms` qui fixe la durée de l'essai en millisecondes (par exemple 50000 pour un essai de 50 secondes).

6. Appuyer sur ENTER dans le terminal série Arduino pour lancer la rampe PWM .
7. À la fin de l'essai renommer le fichier binaire `logfile.mtb` pour éviter tout écrasement.

L'ensemble des combinaisons possibles donne les dispositions du Tableau 1 .

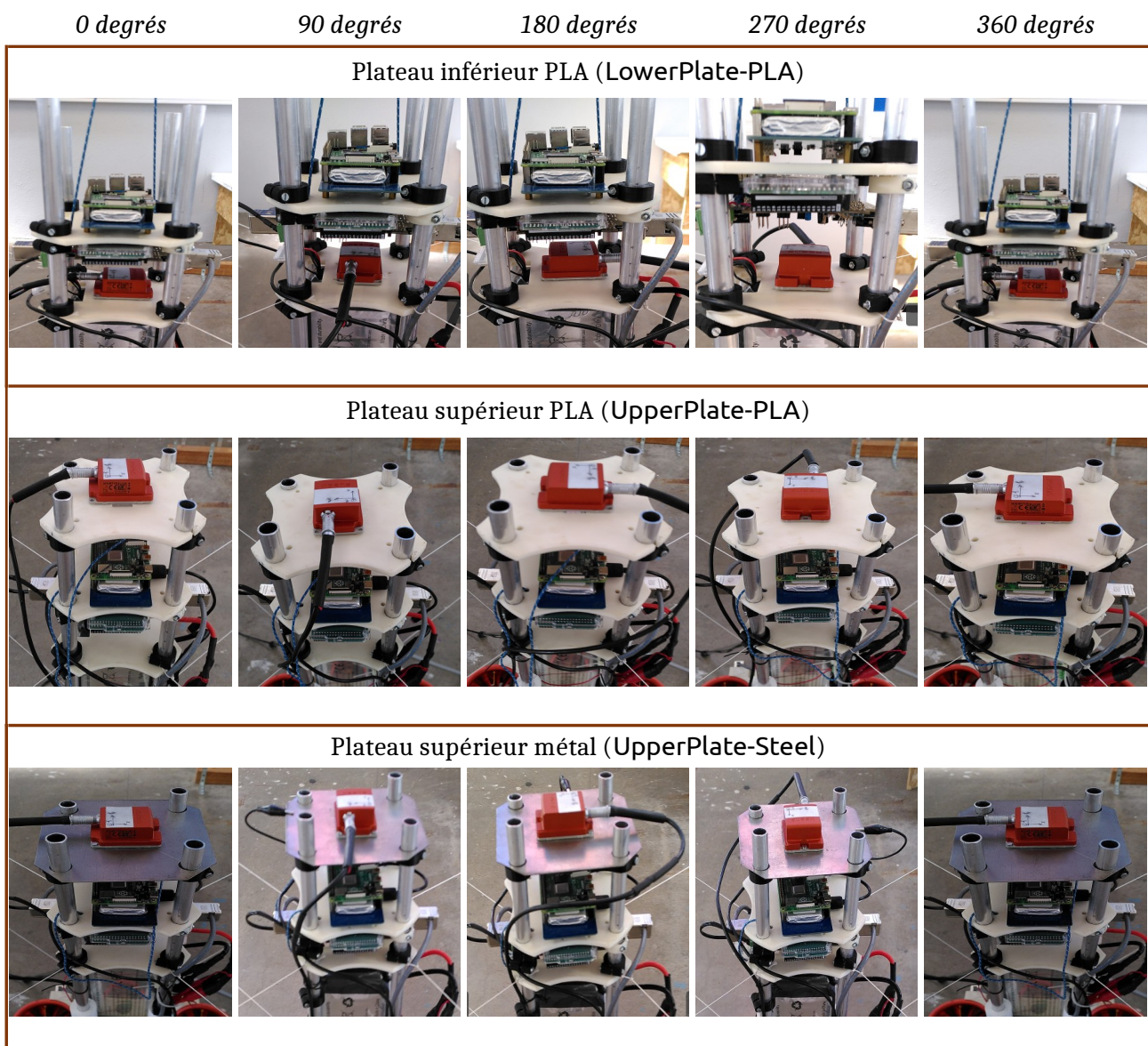


Tableau 1: Dispositions de la centrale Mti-30 pour les essais.

4.2 Résultats

Enregistrement de référencement

Plusieurs enregistrements « de référence » sont faits, véhicule immobile, turbines éteintes, pour enregistrer les valeurs de référence des accélérations, champs magnétiques, vitesses de rotation et angles.

La Figure 7 montrent l'allure typique des courbes obtenue avec la centrale positionnée sur le plateau inférieur LowerPlate-PLA :

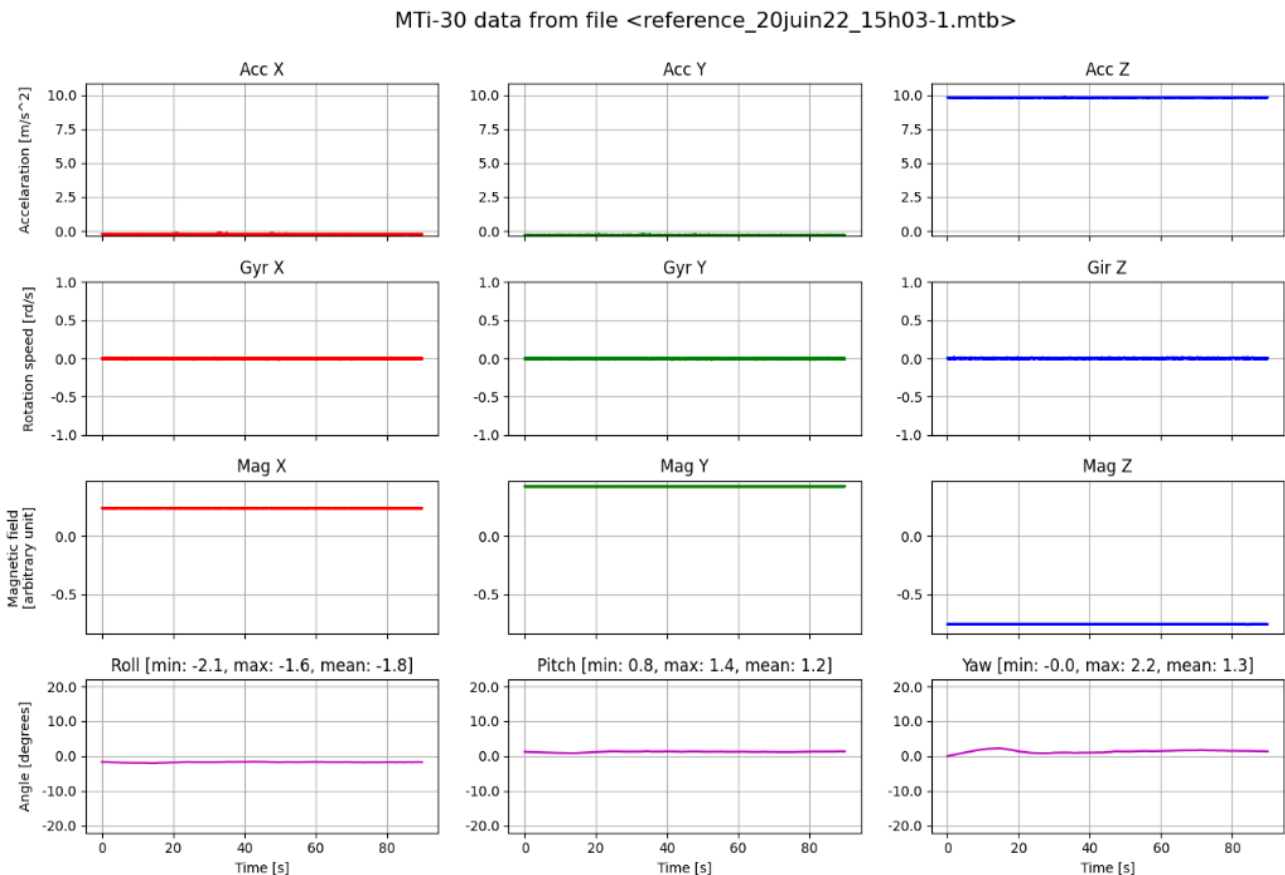


Figure 7: Courbes de référence MTi-30, LowerPlate-PLA.

- Les courbes des accéléromètres montrent bien la pesanteur ($\sim 9.81 \text{ m/s}^2$) selon la composante Acc_z et zéro pour Acc_x et Acc_y.
- Les trois gyromètres donnent bien des vitesses de rotation nulles.
- Les magnétomètres montrent les 3 composantes du champ magnétique terrestre pour l'orientation de la centrale Mti-30 choisie.
- L'intégration/fusion des vitesses angulaires donne les 3 angles Roll, Pitch et Yaw voisins de zéro, sans dérive notable sur plus de 80 secondes.

On remarque aussi que le traitement de l'angle yaw nécessite environ 20 secondes après le démarrage de l'acquisition pour stabiliser l'offset du traitement ARHS.

En posant la centrale sur le plateau UpperPlate-Steel, on obtient le même type de courbes, comme le montre la figure 8 :

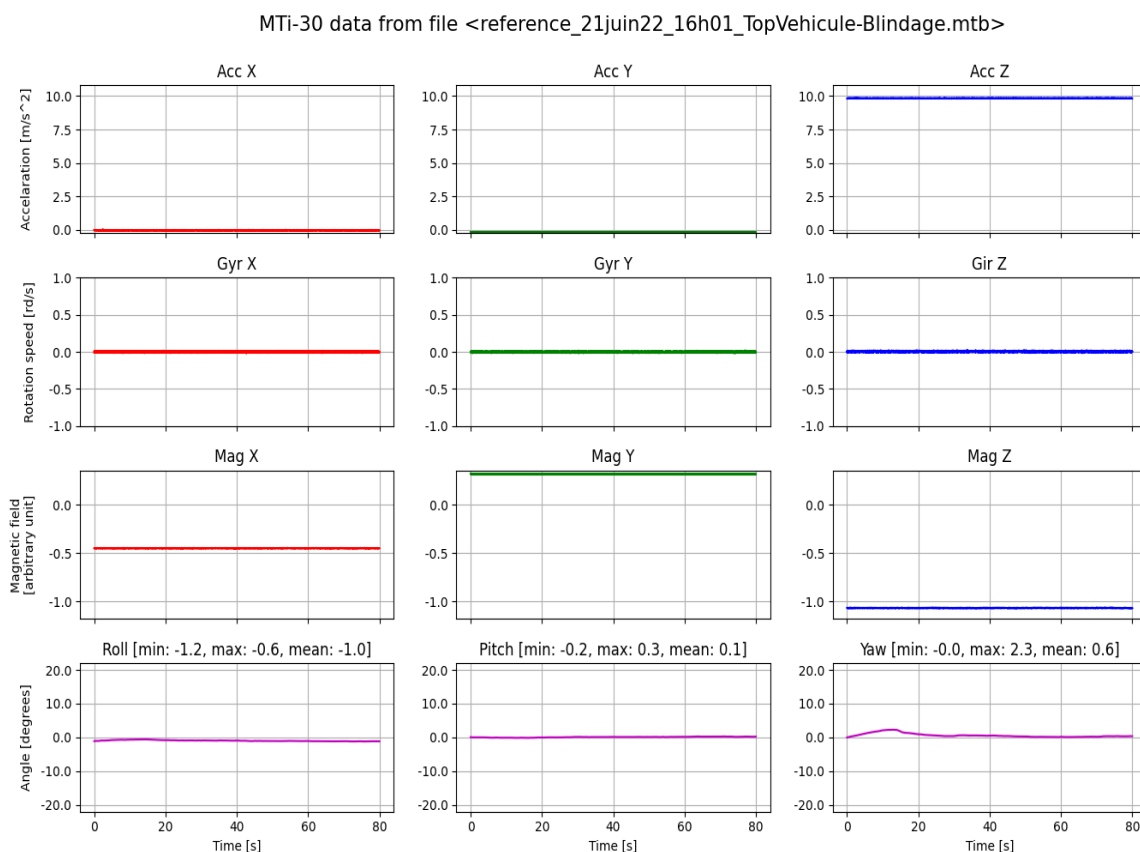


Figure 8: Courbes de référence MTi-30, UpperPlate-Steel.

Mesures – MTi-30, véhicule immobile, rampe turbines

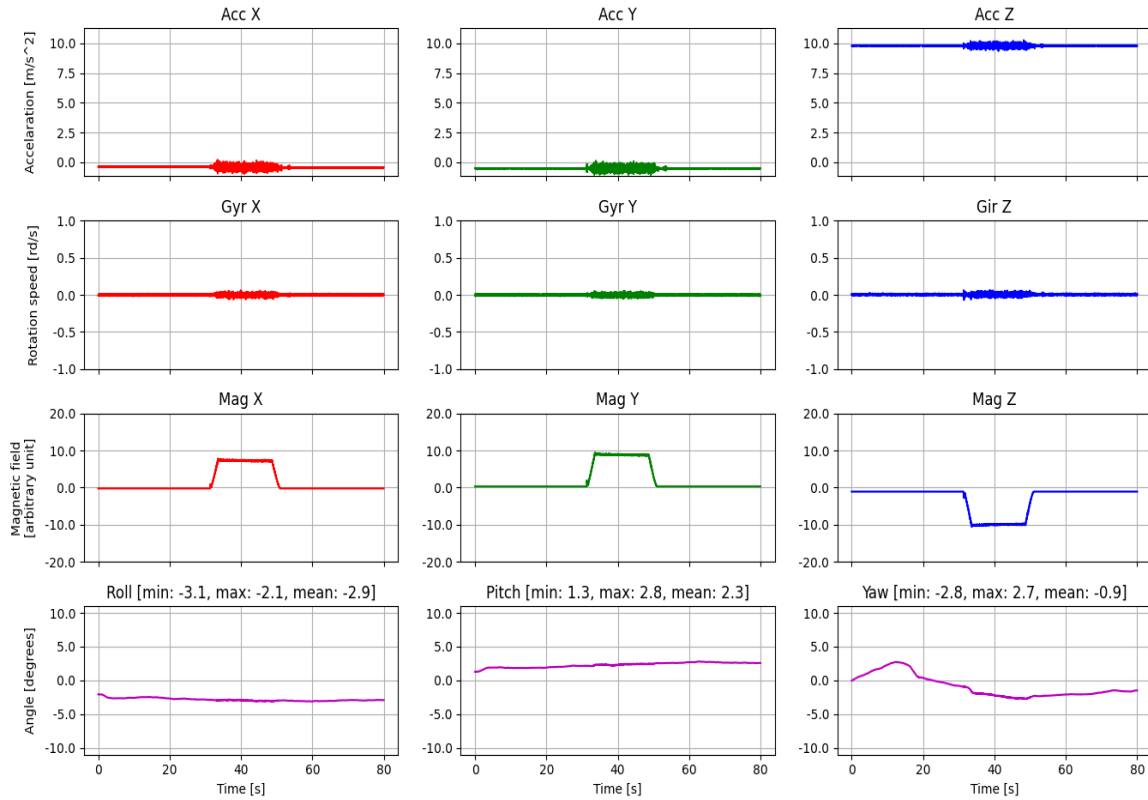
Une rampe turbine est appliquée pour voir l'influence du champ magnétique généré par les turbines sur les mesures d'angles de la centrale Mti-30, en tournant la centrale de 0°, 0° ; 180° et 270° autour d'un axe vertical, comme illustré sur le tableau 1 de la page 14.

Au travers des courbes mesurées pour les différentes positions, on voit que les composantes du champ magnétique varient de façon significative, ce qui se traduit par des altérations du calcul de l'angle yaw de plusieurs degrés par rapport à la valeur des courbes de référence, voisine de 0°.

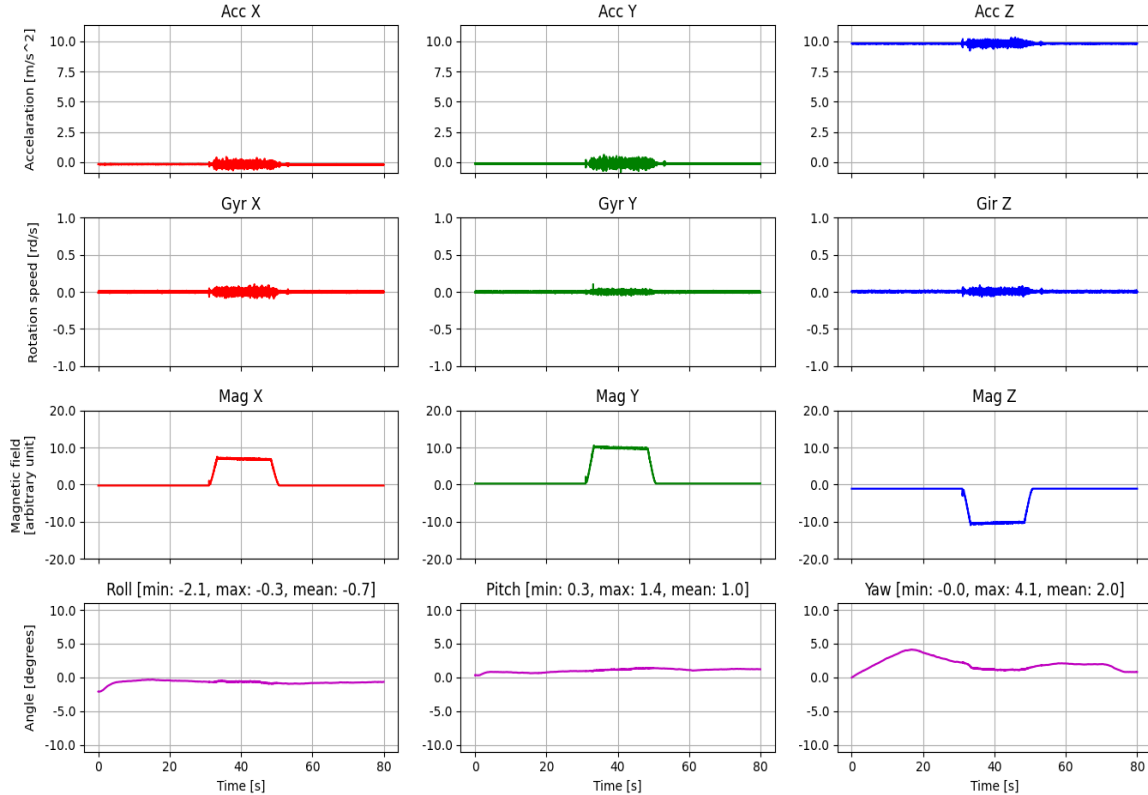
LowerPlate-PLA – 0 degré

3 mesures sont répétées pour estimer la dispersion :

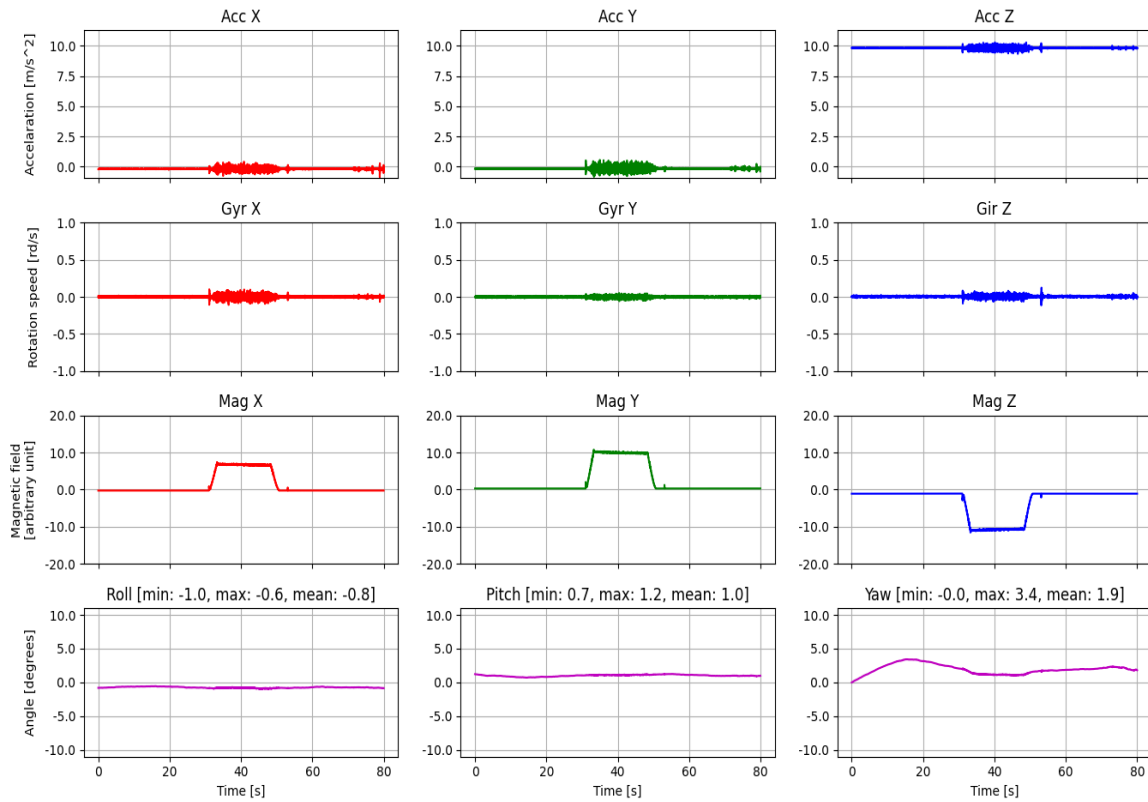
MTi-30 data from file <MTi-30_LowerPLA_000deg-1.mtb>



MTi-30 data from file <MTi-30_LowerPLA_000deg-2.mtb>

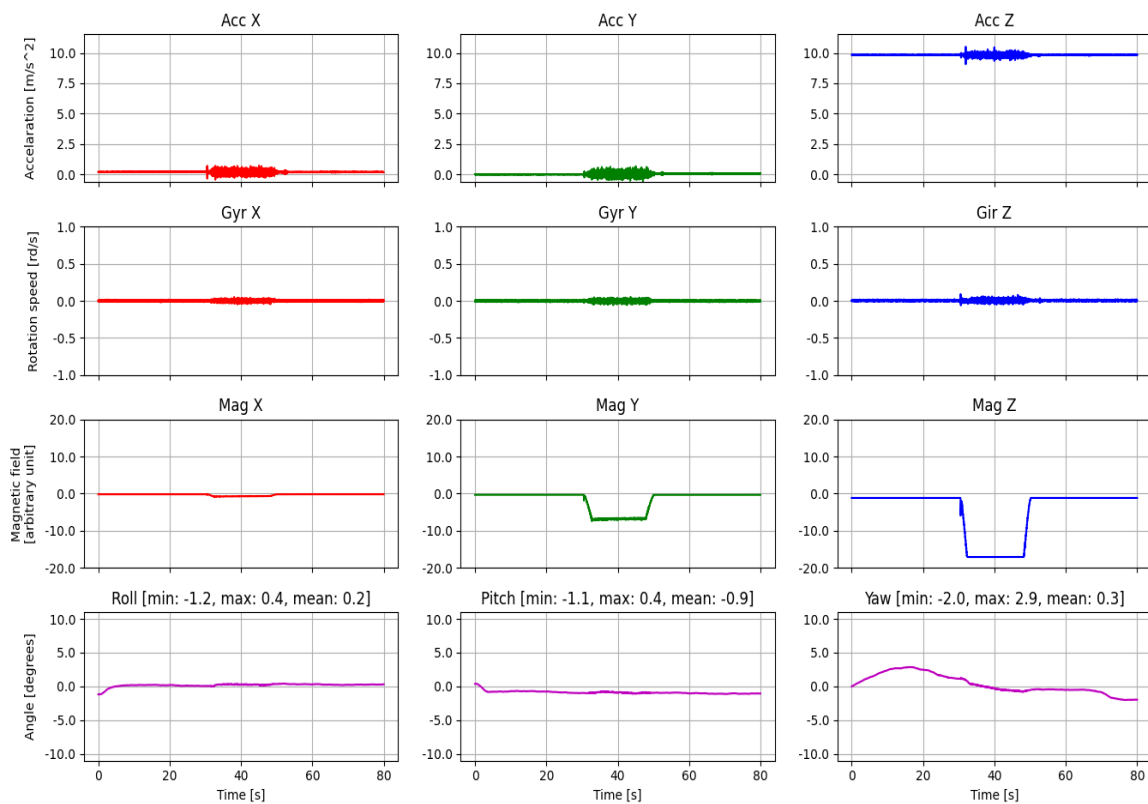


MTi-30 data from file <MTi-30_LowerPLA_000deg-3.mtb>



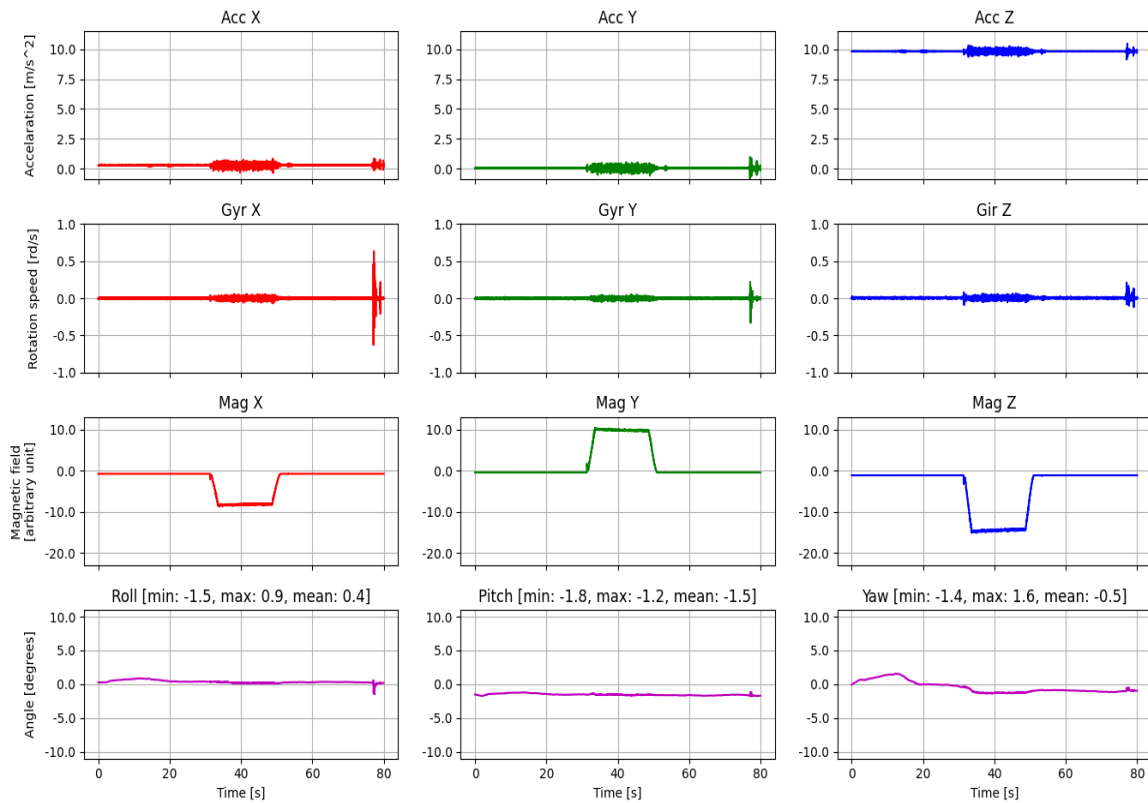
LowerPlate-PLA – 90 degrés

MTi-30 data from file <MTi-30_LowerPLA_090deg-1.mtb>



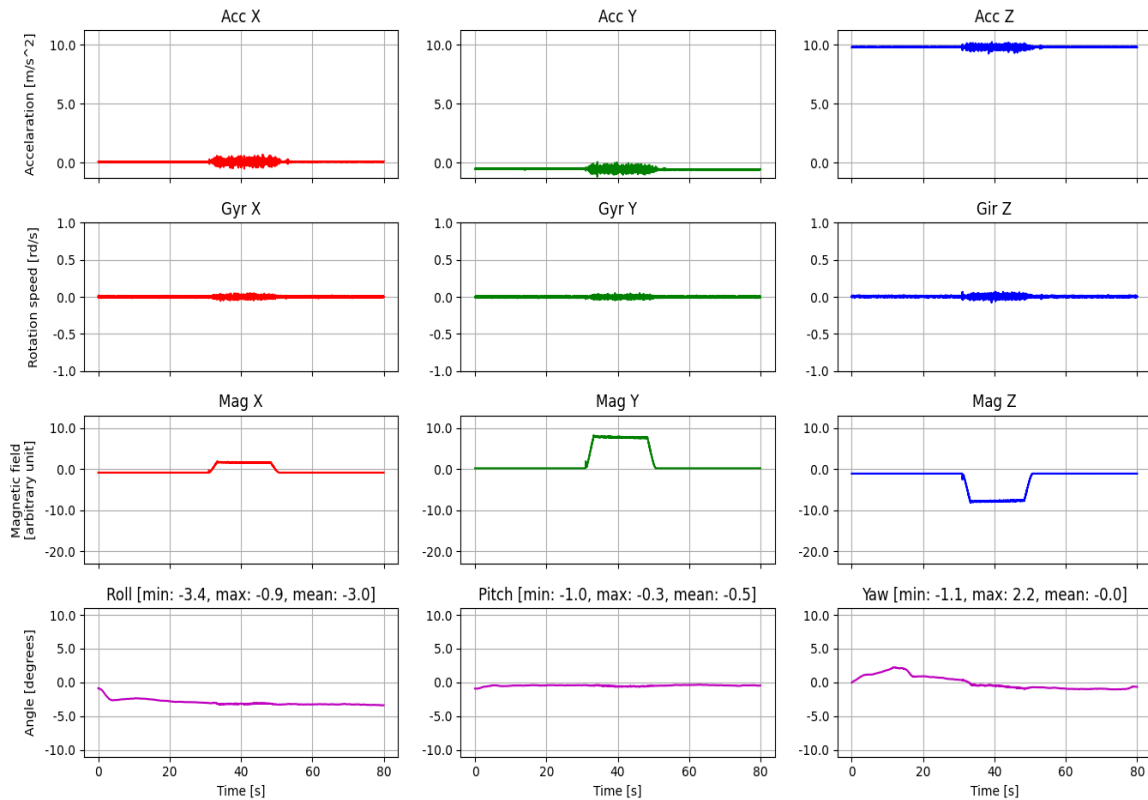
LowerPlate-PLA – 180 degrés

MTi-30 data from file <MTi-30_LowerPLA_180deg-1.mtb>



LowerPlate-PLA – 270 degrés

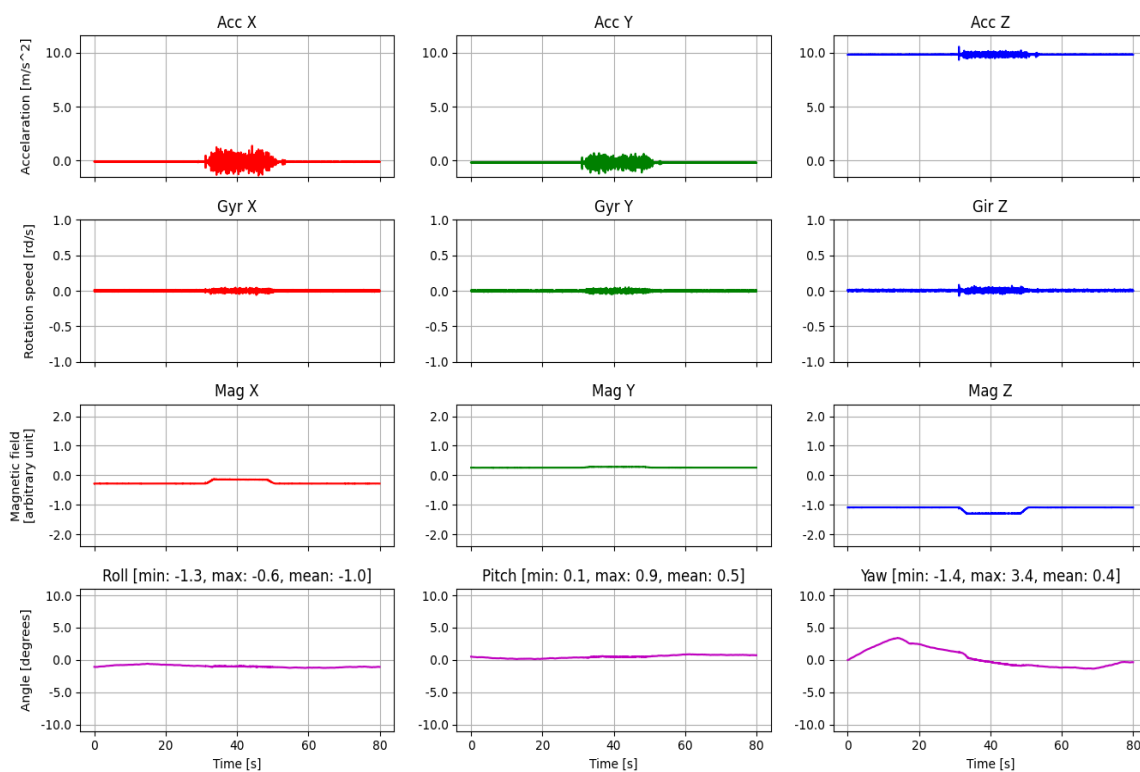
MTi-30 data from file <MTi-30_LowerPLA_270deg-1.mtb>



La série de mesures suivante est obtenue avec la centrale posée sur le plateau UpperPlate-PLA. L'éloignement de la centrale par rapport aux turbines donnent une diminution notable de l'amplitude des composantes du champ magnétique, d'où une perturbation assez faible de la valeur de l'angle yaw calculé par la centrale Mti-30 :

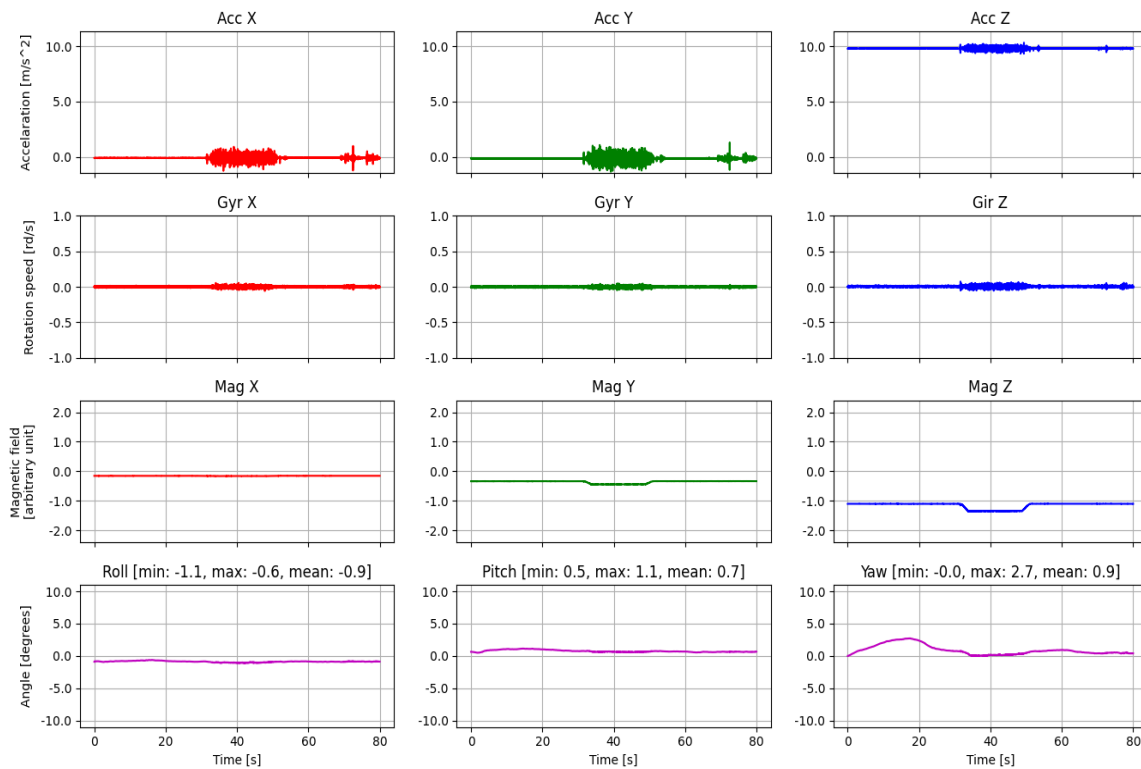
UpperPlate-PLA – 0 degré

MTi-30 data from file <MTi-30_UpperPLA_000deg-1.mtb>



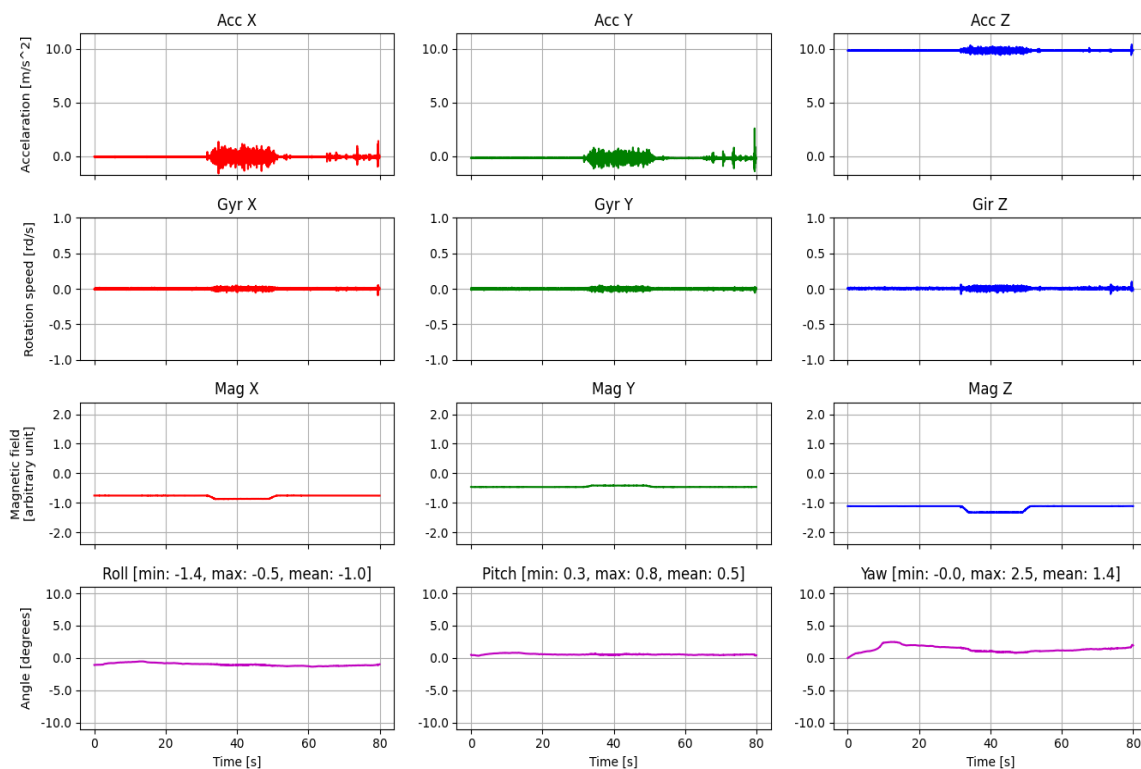
UpperPlate-PLA – 90 degrés

MTi-30 data from file <MTi-30_UpperPLA_090deg-1.mtb>



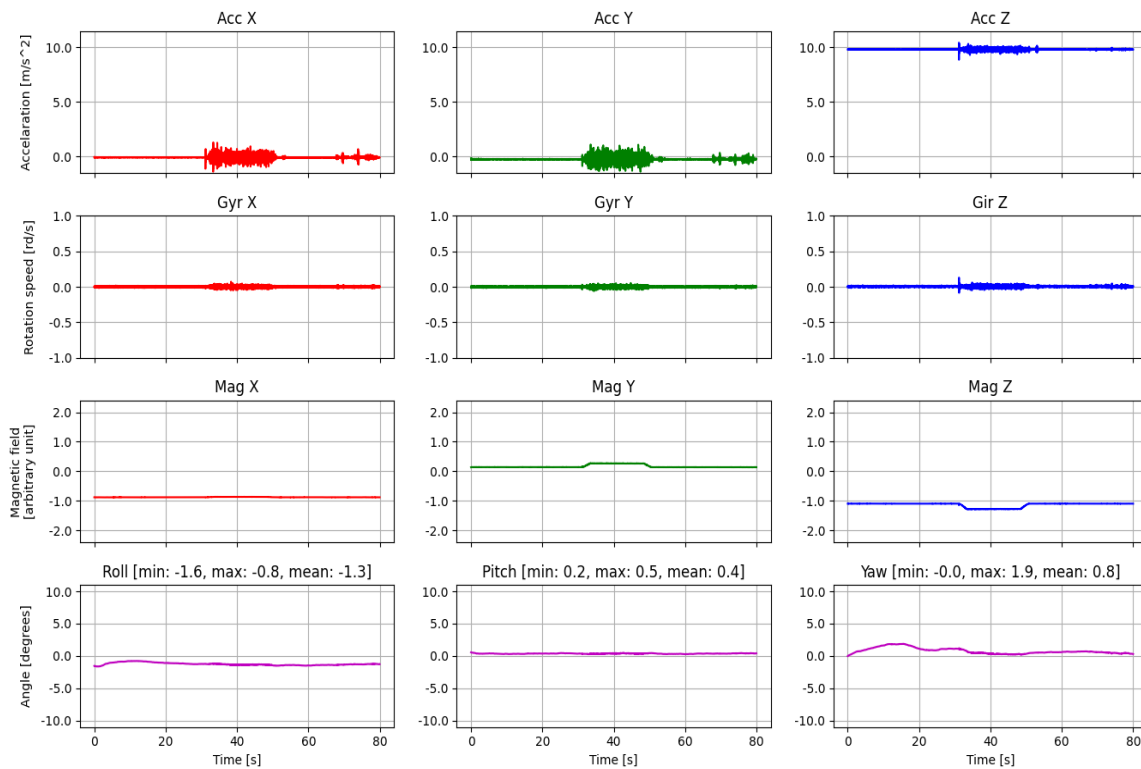
UpperPlate-PLA – 180 degrés

MTi-30 data from file <MTi-30_UpperPLA_180deg-1.mtb>



UpperPlate-PLA – 270 degré

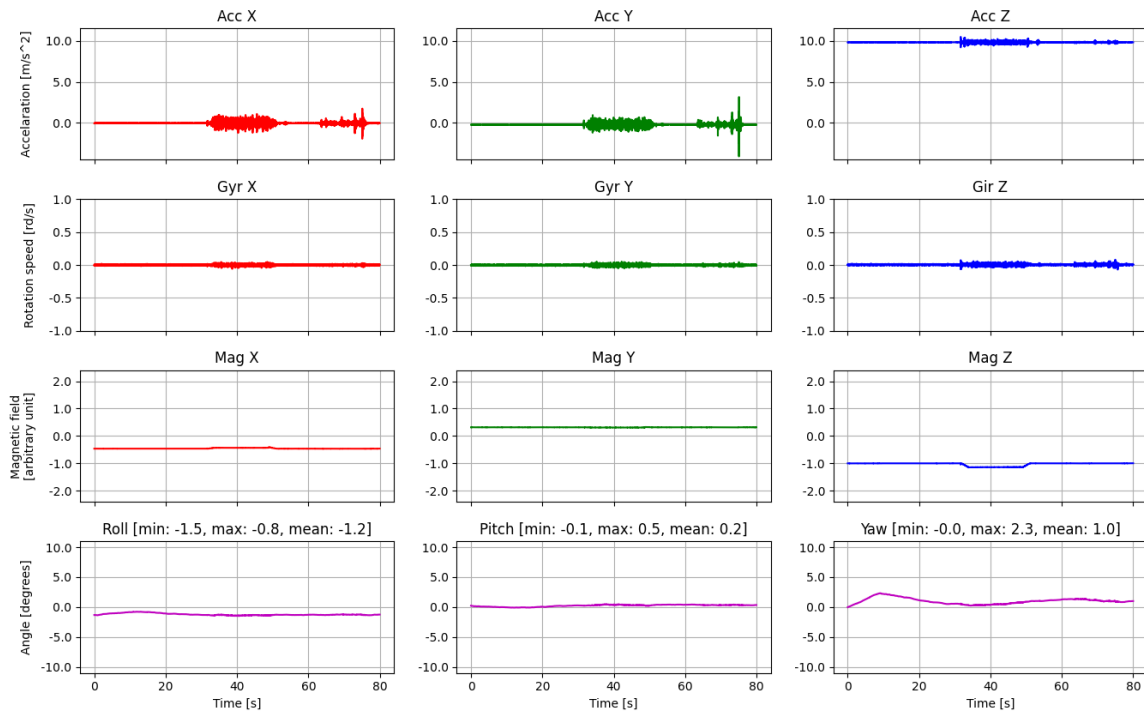
MTi-30 data from file <MTi-30_UpperPLA_270deg-1.mtb>



Enfin, la dernière position testée est celle où la centrale MTi-30 est fixée sur un plateau supérieur métallique, relié à la masse électrique du véhicule. Avec cette configuration, on observe des variations de la valeur yaw inférieures au degré :

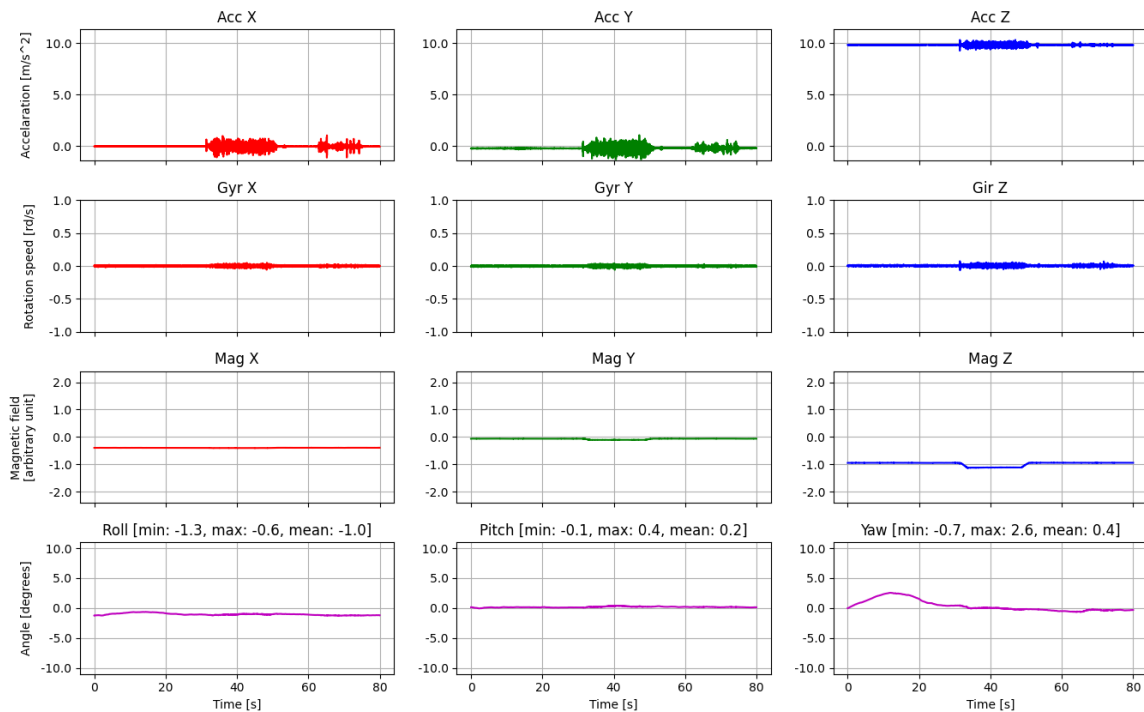
UpperPlate-Steel grounded – 0 degré

MTi-30 data from file <MTi-30_UpperSeel_00deg-1.mtb>



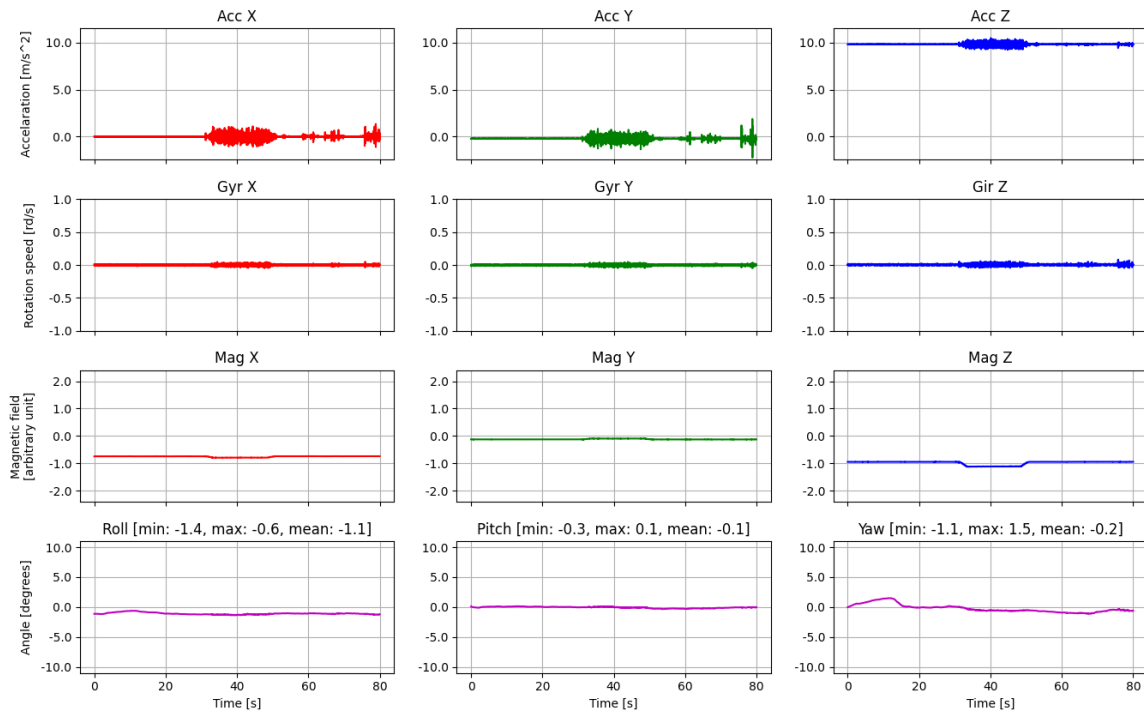
UpperPlate-Steel grounded – 90 degré

MTi-30 data from file <MTi-30_UpperSeel_90deg-1.mtb>



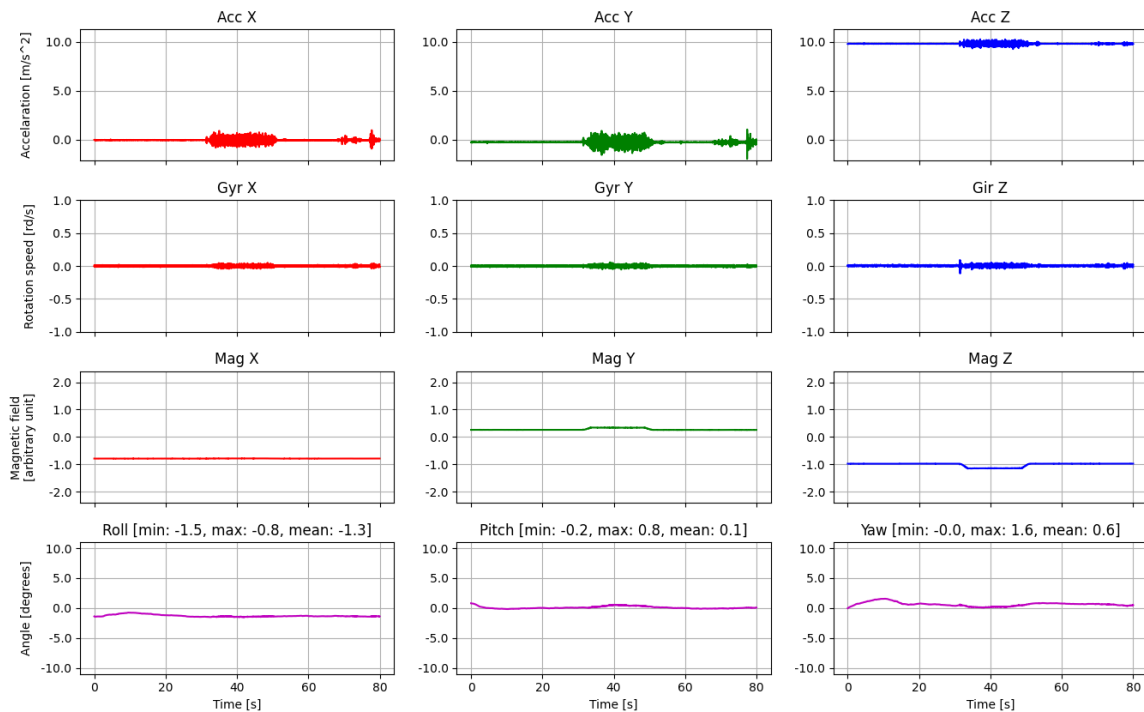
UpperPlate-Steel grounded – 180 degré

MTi-30 data from file <MTi-30_UpperSeel_180deg-1.mtb>



UpperPlate-Steel grounded – 270 degrés

MTi-30 data from file <MTi-30_UpperSeel_270deg-1.mtb>



5 Conclusion

Cette étude nous a permis de prendre en main la centrale Xsens MTi-30 pour obtenir et tracer avec un programme Python l'accélération, la vitesse de rotation, le champ magnétique mesurés par les capteur de la centrale, ainsi que les valeurs des angles d'Euler, yaw, pitch et row obtenu par traitement-fusion des données brutes.

L'étude montre en particulier la capacité de la centrale inertielle MTi-30 à fournir une estimation de l'angle **yaw** (rotation autour d'un axe vertical) robuste. C'est l'angle qui permet de mesurer le roulis du véhicule, et qui sera fourni en entrée du système anti-roulis.

L'étude montre également que l'influence du champ magnétique généré par les quatre turbines du véhicule peut être minimisée en plaçant la centrale le plus loin possible des turbines (en haut du véhicule), sur un plan métallique relié à la masse électrique du véhicule.

6 Bibliographie

Missile guidance and control systems, George M. Siouris. 2004 Springer-Verlag New York
ISBN 0-387-00726-1

Documentation constructeur Xsens

[XS-01] – Xsens MTi Product Documentation

<https://mtidocs.xsens.com/home>

Point d'entrée du site Xsens.

[XS-02] – MTi 10/100-series User Manual

<https://mtidocs.xsens.com/mti-10-100-series-user-manual>

Technologie MEMS

[ME-01] – Les Technologies MEMS, ENS CACHAN, 18/12/2014

<https://eduscol.education.fr/sti/sites/eduscol.education.fr/sti/files/ressources/pedagogiques/5616/5616-les-technologies-mems-ens.pdf>

Présentation simplifiée de la technologie MEMS.

[ME-02] – MEMS Magnetic field sensor

https://en.wikipedia.org/wiki/MEMS_magnetic_field_sensor

Géolocalisation

[GL-01] – Système IIDRE

<https://www.iidre.com/solutions-materielles-et-logicielles-uw/>

7 Annexes

7.1 Config du 2 juin2022

DeviceId	036822D3	MT Settings Revision	5.1
Product Code	MTi-30-2A8G4	Firmware Revision	1.7.2 build 42 rev 64903
LocationID	0	Selftest	000001FF
HardwareID	3104C0D1	Test & Calibration Date	08/03/2018
Hardware Revision	3.0		

Accelerometers				Rate Gyros		
Offset	32808	32766	32752.5	32732.2	32864.7	33148.6
Gain	145.428	144.949	149.333	3022	3038.74	2962.24
Misalignment	0.999822	0.0161057	-0.00983763	0.99991	0.0126837	-0.012256
	-0.0151333	0.999881	0.00314346	0.0024144	1.00006	-0.000439378
	0.00855018	-0.00263658	0.99996	-0.000564995	-2.21762e-05	1.00007

Magnetometers			
Offset	33597	32809.3	33297
Gain	2110.08	2041.48	2005.58
Misalignment	0.980805	0.0228364	-0.0330714
	0.0200801	0.989429	0.0112387
	-0.000876713	-0.0220268	0.98907

Device Settings
Synchronization Options
Modeling Parameters

COM port name

/dev/ttyUSB0

COM port baudrate

115200

Filter Settings

XDA:

39.16 general

Onboard:

39.16 general

Manage

Option Flags

☐ In-Run Compass Calibration (ICC) - Beta ☐ Active Heading Stabilization (AHS)

Position

Latitude [deg]

44.8

Longitude [deg]

-0.6

Altitude [m]

0

UTC Time

01/01/1970 00:00

Get

Set current

RotSensor

1

-1.29848e-08

-2.87516e-05

0.900506

0.434845

0

2.25434e-07

0.999973

0.00738912

-0.434845

0.900506

0

2.87508e-05

-0.00738912

0.999973

0

0

1

ss'_R

$L'_L R$