

# Communication WiFi pour l'instrumentation.

## Application à l'étalonnage d'un gyromètre.

Frédéric CHAUSSE<sup>(1)</sup> et Laurent MALATERRE<sup>(2)</sup>

[chausse@iut.u-clermont1.fr](mailto:chausse@iut.u-clermont1.fr)

[malater@lasmea.univ-bpclermont.fr](mailto:malater@lasmea.univ-bpclermont.fr)

(1) IUT – Département Mesures Physiques - BP 86 - 63172 Aubière CEDEX

(2) LASMEA - 24 av. des Landais - 63177 Aubière CEDEX

**RESUME :** Cet article décrit un banc d'étalonnage pour gyromètre qui intègre une liaison WiFi pour l'acheminement des mesures vers un P.C. de traitement distant. Il s'agit d'initier les étudiants de deuxième année du D.U.T. Mesures Physiques à l'instrumentation sans fil par une séance de T.P. de 4 heures. Les étudiants sont plus habitués à l'utilisation du WiFi pour la connexion Internet de leur ordinateur. Ils ont apprécié son utilisation pratique pour leur métier de techniciens en instrumentation. Le travail demandé est orienté vers la métrologie. Ce même matériel pourrait être utilisé pour des formations réseaux ou informatique industrielle en insistant plus sur la programmation de l'interface.

**Mots clés :** instrumentation sans fil, Wi-Fi, gyromètre.

### 1 INTRODUCTION

Les départements Mesures Physiques des I.U.T. ont pour objectif de former des techniciens supérieurs en instrumentation (tests, essais, recherche et développement, ...), en contrôle industriel et en métrologie. Les étudiants suivent en moyenne trente heures d'enseignement par semaine dont la moitié en Travaux Pratiques.

Même si elles représentent une part importante du programme pédagogique national [1] de Mesures Physiques, les disciplines de l'E.E.A. n'en constituent pas le « cœur » comme dans une filière GEII par exemple. Elles y figurent en tant qu'outils pour l'instrumentation au service d'un ensemble qui s'étend sur à peu près tous les domaines de la physique et de la physico-chimie (électricité, magnétisme, optique, thermodynamique, matériaux, mécanique, etc...). C'est cette diversité qui fait l'intérêt de la formation et qui constitue aussi la principale difficulté pour les étudiants.

De plus, le D.U.T. est un diplôme à finalité professionnelle. Le programme est conçu pour doter les étudiants d'un bagage suffisamment complet pour assurer leur évolution professionnelle, y compris en E.E.A.

Il faut donc nécessairement suivre les évolutions technologiques en matière d'électronique et d'informatique pour l'instrumentation tout en les rendant accessibles à un public non-spécialiste. Des modules complémentaires sont ainsi prévus dans le programme pour suivre ces évolutions. Le contenu de ces modules peut être adapté localement sans validation par la commission pédagogique nationale. Ceci rend la formation très souple et adaptative tout en conservant largement le caractère national du diplôme.

Les réseaux de capteurs sans fil [2] comptent parmi ces évolutions récentes. Il s'agit d'associer à un capteur et son système d'acquisition numérique, à un dispositif de communication sans fil pour transmettre le résultat de la mesure vers une unité de traitement distante. Les intérêts sont nombreux comme par exemple :

- limiter l'accès à des locaux spécifiques (hangar de stockage réfrigérés des industries alimentaires, zones dangereuses des usines chimiques, bloc stériles pour la fabrication des médicaments, ...),
- réduire les coûts d'infrastructure et notamment le câblage cuivre,
- éviter des déplacements de personnels en raccourcissant les tournées de contrôle sur des sites vastes,
- contourner une limite physique à la mesure.

C'est pour aborder l'étude expérimentale de l'instrumentation sans fil qu'une séance de travaux pratiques de quatre heures a été conçue sur l'exemple d'un banc d'étalonnage d'un gyromètre. Il s'agit de soumettre ce capteur à des vitesses angulaires de valeur connue pour ensuite tracer sa caractéristique statique puis pour calculer des paramètres métrologiques comme la sensibilité dans la zone linéaire, l'écart de linéarité et de décalage de zéro.

Le dispositif pédagogique qui a été entièrement conçu et réalisé par nos soins est présenté dans la première partie de cet article. La seconde partie précise les objectifs pédagogiques rapidement évoqués ci-dessus. L'évaluation et le retour d'expérience sont discutés en conclusion.

## 2 BANC D'ÉTALONNAGE D'UN GYROMÈTRE

### 2.1 Présentation générale

Un banc de giration sur lequel est placé le gyromètre permet de le soumettre à des vitesses angulaires choisies. Il est constitué d'un plateau mis en rotation par un moteur pas-à-pas. La vitesse du moteur est contrôlée par un ordinateur qui envoie les consignes de rotation à une carte électronique de contrôle via une liaison RS232.

Une fonction de base existe cependant, elle permet, sans connexion avec l'ordinateur, de faire des rotations horaires ou anti-horaires selon des vitesses de rotations pré-programmées. Cette commande est accessible par deux boutons poussoirs sur la face avant.

L'ordinateur de contrôle de la vitesse de rotation sert aussi à l'acquisition des données en provenance du capteur : les valeurs conditionnées de la tension de sortie du gyromètre sont acquises par une carte micro-contrôleur qui les transmet au P.C. de commande par liaison WiFi. Cette architecture embarquée sur le plateau permet de se passer d'une liaison filaire entre le gyromètre et le P.C. qui n'est pas utilisable lorsque le plateau est en rotation.

C'est cette dernière remarque qui justifie la nécessité d'une liaison WiFi pour contourner une impossibilité physique de faire la mesure (raison évoquée parmi d'autres dans l'introduction). Il serait possible d'utiliser un joint à contact tournant pour résoudre cette difficulté technique mais cette solution s'avère d'un intérêt pédagogique bien moindre !

La photo de la figure 1.a est une vue d'ensemble de ce dispositif. Un schéma synoptique est représenté figure 1.b



(a)

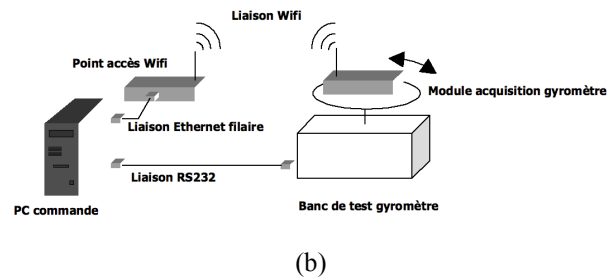


fig. 1 : Vue d'ensemble (a) et schéma synoptique (b) des éléments matériels du banc de giration

#### 2.1.1 Module d'acquisition et de communication

C'est une carte d'évaluation de la société DPAC [3] (figure 2). Elle permet de développer rapidement des applications électroniques autour du module DPAC Airborne 802.11b Wireless LAN Node [4].

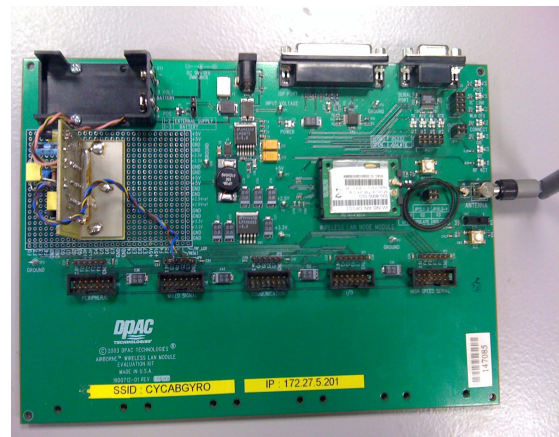


fig. 2 : Kit d'évaluation DPAC Airborne Wireless LAN Node

Ce module contient les composants et programmes nécessaires pour la mise en oeuvre d'une application WiFi compatible IEEE 802.11b. Il comporte aussi un microcontrôleur d'application avec notamment des entrées analogiques très utiles en instrumentation pour l'acquisition des signaux capteurs.

Le schéma bloc de ce module représenté figure 3 fait apparaître ses sous-ensembles.

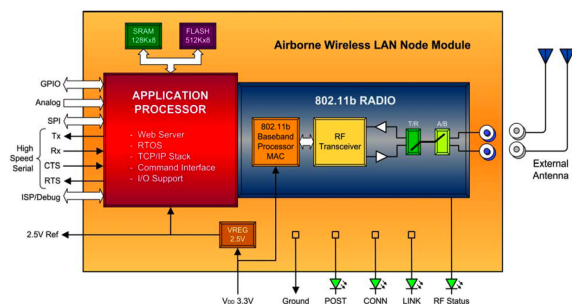


fig. 3 : Schéma bloc du module Airborne 802.11b Wireless LAN Node, extrait de la documentation DPAC.

### 2.1.2 Le gyromètre.

Le capteur est un gyromètre Murata Gyrostar série ENC (figure 4). Il génère en sortie une tension qui dépend de sa vitesse angulaire de rotation autour d'un axe de référence.

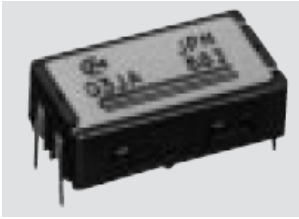


fig. 4 : Gyromètre Murata Gyrostar.

La dynamique de vitesse angulaire est de  $\mp 300^\circ/s$  avec une sensibilité statique moyenne de  $0,67^\circ/s$  constante à 5% près sur toute la dynamique.

Un circuit associant le capteur gyromètre à son électronique de conditionnement du signal (essentiellement constituée d'un circuit quad-AOP LM324N de Texas Instrument) est fixé sur la zone de prototypage de la carte d'évaluation DPAC.

### 2.1.3 Plateau tournant pour la mise en rotation du capteur

Le gyromètre monté sur la carte d'acquisition et de communication doit être soumis à une vitesse angulaire contrôlée.

Un plateau circulaire actionné par un moteur pas-à-pas est prévu à cet effet. L'électronique de commande du moteur est très classique et sa description ne présente pas d'intérêt particulier. Des photos sont présentées figure 5.

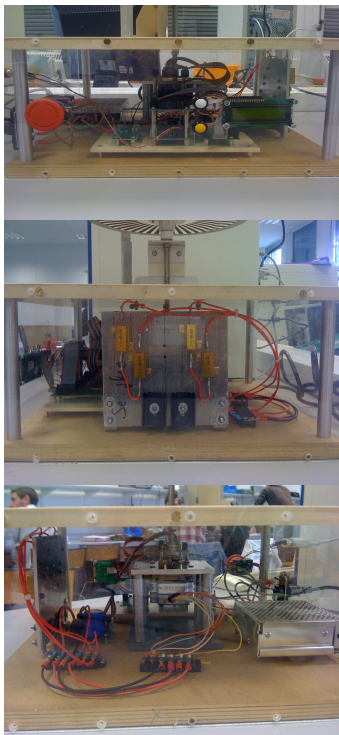


fig. 5 : Moteur pas-à-pas et son électronique de commande.

### 2.2 Organisation logicielle

Les fonctions logicielles se divisent en quatre processus distincts notés A, B, C et D, liés entre eux par des médias de communication (figure 6).

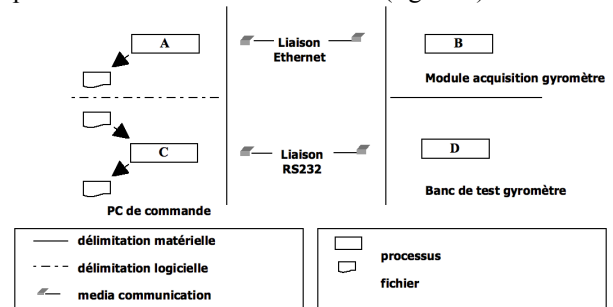


fig. 6 : Schéma synoptique de l'organisation logicielle du banc de rotation

Voici la description des processus :

A – Il récupère les valeurs transmises par le module d'acquisition des données gyrométriques et les stocke dans un fichier afin de les exploiter ultérieurement. Ces données correspondent à la valeur en tension de l'acquisition Analogique/Numérique et la date de réception de cette donnée.

B – C'est le processus d'acquisition du capteur. La valeur analogique lue sur une des entrées est transmise sur requête du processus A et sans traitement.

C – Ce processus lit un fichier de « trajectoire » ou profil de vitesses angulaires à faire effectuer au banc de test. Ce fichier donne la vitesse angulaire en mrad/s, la direction et la durée du palier de vitesse. Il peut être généré par exemple grâce à un tableur selon un format ASCII qu'il convient de respecter. Ces données sont ensuite envoyées au processus D au fur et à mesure des changements de paliers de vitesse angulaire.

D – A partir données reçues, ce processus pilote la commande en vitesse du moteur.

Le schéma de la figure 7 détaille le principe général de chaque processus et les interactions entre eux.

### 2.3 Utilisation

Deux modes d'utilisation sont prévus :

1. Mode non connecté : l'ensemble étant sous tension, il suffit d'appuyer sur les poussoirs de la face avant pour faire entrer le banc en rotation. La vitesse peut évoluer par pas de  $\pi/12 \text{ rad.s}^{-1}$  entre  $0 \text{ mrad.s}^{-1}$  et  $6284 \text{ mrad.s}^{-1}$ .
2. Mode connecté : l'utilisation en mode connecté permet de tester le gyromètre dans un profil de vitesse angulaire plus complexe dont les valeurs varient dans le temps. C'est un P.C. distant et connecté au banc par liaison RS232 qui génère ces consignes de vitesse

angulaire. Ce mode est prioritaire sur le mode non connecté : à la fin de la séquence, la vitesse de rotation est la dernière commande issue du P.C.

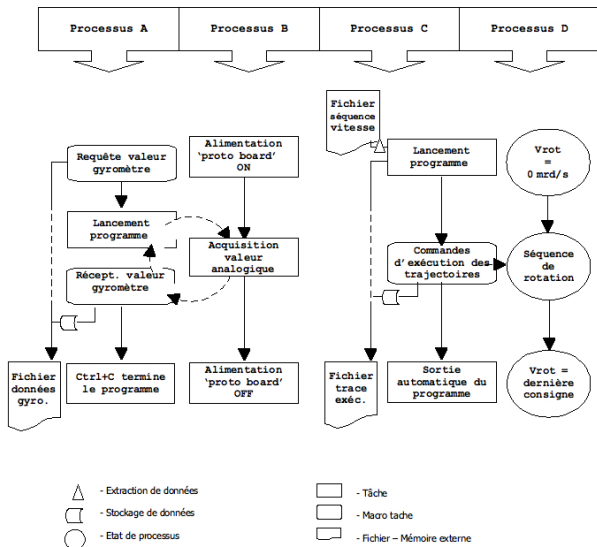


fig. 7 : Schéma synoptique de l'organisation logicielle du système d'acquisition et de commande de la rotation.

### 3. OBJECTIFS PEDAGOGIQUES

#### 3.1 Prérequis

La séance se déroule au semestre 4 de la formation D.U.T. Mesures Physiques soit en fin de cycle. Le travail est à situer dans le contexte de l'instrumentation et de la métrologie. Il s'agit bien de réaliser l'étalonnage du gyromètre en utilisateur d'un dispositif électronique d'acquisition et de commande existant.

A ce titre les étudiants doivent maîtriser au préalable les notions élémentaires de métrologie des systèmes de mesure (vocabulaire, principes, calculs d'incertitudes). Les outils mathématiques correspondants, principalement les statistiques descriptives et le calcul différentiel sont donc bien sûr à connaître également. L'exploitation des mesures nécessite une maîtrise correcte de l'utilisation d'un tableur.

#### 3.2 Travail à réaliser

La séance, d'une durée de 4 heures, se déroule en trois phases. Pour chacune d'elle, il s'agit d'utiliser les logiciels fournis pour acquérir les valeurs mesurées qui sont sauvegardées dans un fichier dans le P.C. de contrôle. Ces valeurs sont ensuite exploitées dans un tableur qui effectue les calculs et le tracé des courbes.

##### 3.2.1 Etalonnage statique

Le banc est utilisé en mode non connecté (§ 2.3). Pour chacun des deux sens de rotation et pour 16 valeurs de

la vitesse angulaire  $\Omega$  comprises entre 0mrad/s et 6284mrad/s, 128 valeurs de la tension de sortie  $U_{\Omega}$  du capteur sont acquises.

Dans chaque cas, la moyenne des  $U_{\Omega}$  et son écart-type sont estimés en utilisant le tableur. L'étude se poursuit par le tracé du diagramme d'étalonnage statique ( $U_{\Omega}=f(\Omega)$ ). Pour exploiter ce diagramme, les points expérimentaux sont ajustés à un modèle affine par régression linéaire. La pente et l'ordonnée à l'origine de la droite de régression correspondent respectivement à la sensibilité statique et au décalage de zéro du capteur.

Le logiciel estime également l'écart-type de ces deux paramètres ce qui permet aux étudiants de déterminer l'incertitude d'étalonnage du capteur.

##### 3.2.2 Etalonnage dynamique

Il s'agit de déterminer le temps de réponse et la fréquence de coupure du capteur en étudiant sa réponse indicielle et sa réponse harmonique.

Dans ce cas les valeurs sont acquises en mode connecté. Des profils de vitesse angulaire en échelon pour la réponse indicielle et en sinusoides de fréquence variable sont tout d'abord générés à l'aide du tableur. Ils sont ensuite appliqués au capteur via le programme de commande.

L'acquisition des tensions de réponse du capteur est effectuée en même temps pour chaque profil de vitesse angulaire.

Le tableur est ensuite utilisé pour le tracé des courbes (réponse indicielle et diagramme de Bode).

Dans les deux cas (statique et dynamique) les caractéristiques calculées sont comparées à leur valeur « constructeur ».

##### 3.2.3 Application à la reconstruction d'une trajectoire.

Une fois l'étalonnage terminé, il est intéressant d'en exploiter les résultats par une utilisation du capteur. L'exemple choisi est celui d'un calcul simple de trajectographie.

Le capteur monté sur la carte d'évaluation DPAC est déplacé selon une trajectoire rectiligne d'environ 20cm, il subit une rotation de 90° puis est à nouveau déplacé en ligne droite sur quelques dizaines de centimètres.

Pendant cette opération, les valeurs de tension de sortie du capteur sont acquises et stockées dans le P.C. Elles sont converties en vitesse angulaire (utilisation des caractéristiques statiques) grâce au tableur.

Comme le processus d'acquisition fournit aussi la valeur des instants d'échantillonnage, il est possible de

tracer la courbe d'évolution temporelle de la vitesse angulaire.

L'intégration numérique de cette courbe fournit l'angle de rotation instantanée à une constante près. La rotation de 90° appliquée au capteur est retrouvée par cette méthode.

Il n'est pas possible de déterminer la trajectoire suivie dans un repère plan puisque la vitesse de déplacement linéaire est inconnue.

#### **4CONCLUSION – RETOUR D'EXPERIENCE**

La séance de T.P. présentée ici propose à des étudiants de niveau D.U.T. Mesures Physiques non spécialistes de l'E.E.A. et de l'informatique, de découvrir les possibilités offertes par les communications sans fil pour l'instrumentation.

Elle fonctionne depuis l'année 2008/2009 et environ 90 étudiants l'ont suivie. Les retours sont positifs, ce qu'a confirmé globalement le résultat du contrôle des connaissances.

Cependant quelques difficultés demeurent.

Il s'agit d'une chaîne d'instrumentation numérique complète qui part du capteur et finit par l'exploitation des mesures. Même en fin de formation les étudiants ont du mal à faire converger vers un même but toutes les notions de physiques, d'électronique, d'informatique « de calcul » et d'informatique industrielle qui leur ont été enseignées séparément par ailleurs. En d'autres termes, cette séance reconstitue le puzzle de la chaîne d'instrumentation et la difficulté consiste à continuer d'en distinguer les pièces.

Les étudiants n'ont pas de problème particulier pour exécuter le travail demandé en suivant le mode opératoire qui leur est proposé. Cependant, ils ont un peu plus de mal à ré-expliquer le cheminement de l'information. En particulier il restituent très mal les principes de l'organisation logicielle décrite à la section 2.2. Ils leur sont pourtant présentés en détail dans le document pédagogique d'accompagnement du T.P. et à nouveau précisés oralement pendant la séance.

Pour palier ce problème, il est envisagé de modifier le travail demandé en y incluant une partie où les étudiants devront configurer eux même les paramètres (vitesse de modulation, nombres de bits, parité, ...) de la liaison série entre le P.C. et le banc d'étalonnage. De même il est prévu de leur donner un aperçu plus concret du protocole de communication WiFi.

#### **Bibliographie**

[1] "Programme Pédagogique National du DUT Mesures physiques - Présentation de la formation", *Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche, Juillet 2007.*

[2] Houda Labiod, "Réseaux mobiles ad hoc et réseaux de capteurs sans fil", *SBN 9782746212923, Hermes Science Publications, 2006.*

[3] "Airborne™ Embedded Serial/Ethernet to Wireless LAN (module) Evaluation & Design Kit", note d'application DPAC, [http://www.dpactech.com/docs/wireless\\_products/ab%20eval%20kit.pdf](http://www.dpactech.com/docs/wireless_products/ab%20eval%20kit.pdf), septembre 2009.

[4] "Airborne™ Wireless LAN Node Module Data Book", note d'application DPAC, [http://www.dpactech.com/docs/wireless\\_products/Airborne\\_WLN\\_DataBook\\_RevE.pdf](http://www.dpactech.com/docs/wireless_products/Airborne_WLN_DataBook_RevE.pdf) septembre 2009.