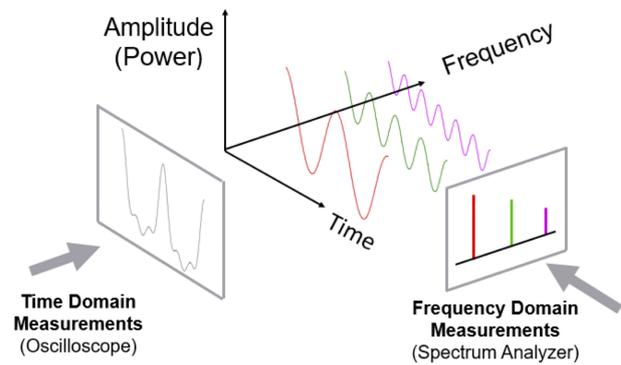


TP

SURVEILLANCE D'UNE MICRO-ÉOLIENNE PAR ANALYSE SPECTRALE



CAPTEURS ET TRAITEMENT DE L'INFORMATION

Travaux pratiques

Ense3 1A

Organisation – deux heures par séance

TP 1 : Échantillonnage

TP 2 : Surveillance d'une micro-éolienne par analyse spectrale

TP 3 : Signaux déterministes, signaux aléatoires

TP 4 : Détection-estimation par intercorrélation

Évaluation

La note globale de TP est égale à la moyenne des notes obtenues à chaque séance, qui tient compte de manière équivalente :

- de la préparation vérifiée par l'enseignant en début de séance
- de la participation de chaque étudiant au cours de la séance
- du compte rendu rédigé pendant la séance et récupéré par l'enseignant en fin de séance.

Absences

En cas d'absence prévisible lors d'une séance, les étudiants doivent prévenir l'enseignant qui les encadre ainsi que la scolarité pour validation. En cas d'absence imprévisible, l'étudiant doit faire valider son absence par la scolarité le plus rapidement possible. Toute absence injustifiée donne lieu à une note égale à zéro pour la séance concernée.

Informations complémentaires

Lieu : Plate-forme ISEE, salle 3 D 005
GreEnER
21 avenue des Martyrs CS 90624
38031 GRENOBLE CEDEX 1

Contact : Pierre GRANJON, Cornel IOANA
GIPSA-lab
11 rue des Mathématiques BP 46
38402 Saint Martin d'Hères cedex
Tél : 04 76 82 64 57
E-mail : pierre.granjon@gipsa-lab.grenoble-inp.fr
cornel.ioana@gipsa-lab.grenoble-inp.fr

RESPECTEZ ET REMETTEZ EN ORDRE LE MATÉRIEL UTILISÉ EN FIN DE SÉANCE

A. PRÉPARATION

Dans ce TP, tous les signaux sont considérés comme déterministes.

1. Représentations temporelle et fréquentielle de signaux

Dessinez l'allure et donnez l'expression du module de la transformée de Fourier des signaux suivants :

- Signal sinusoïdal

$$x(t) = A \cos(2\pi f_0 t + \varphi).$$

- Signal d'impulsions T_0 -périodiques

$$x(t) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} p(t - kT_0),$$

où $p(t)$ est une impulsion de forme quelconque, de largeur $\ll T_0$ et de transformée de Fourier $P(f)$. Vous pouvez vous inspirer si besoin de la vidéo de l'exercice 2 sur le site chamilo du cours.

- Signal sinusoïdal modulé sinusoïdalement en amplitude

$$x(t) = A(1 + \epsilon \cos(2\pi f_m t)) \cos(2\pi f_0 t + \varphi),$$

où les paramètres de modulation vérifient $\epsilon \ll 1$ et $f_m \ll f_0$.

2. Effet fréquentiel d'un fenêtrage temporel

Soit un signal sinusoïdal auquel on applique un fenêtrage temporel $w(t)$:

$$x(t) = Aw(t)\cos(2\pi f_0 t).$$

- Donner l'expression de la transformée de Fourier de $x(t)$ en fonction de celle de $w(t)$.
- Particulariser pour le cas d'une fenêtre rectangulaire de durée $T \gg \frac{1}{f_0}$.
- En déduire l'impact du fenêtrage temporel sur l'analyse par transformée de Fourier.

B. DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

1. Micro-éolienne

La maquette expérimentale utilisée pour ce TP est une micro-éolienne dont un exemplaire est montré à la figure 1.



Figure 1 : micro-éolienne utilisée dans le cadre du TP1 de l'UE CTI

Elle est constituée d'un ventilateur branché au secteur par l'intermédiaire d'un bloc d'alimentation, et d'un générateur éolien consistant en un système de pâles entraînant un générateur de tension.

Un système d'acquisition TiePie est également utilisé pour l'acquisition de signaux, ainsi qu'un PC pour l'affichage et le traitement en temps-réel des données mesurées.

2. Grandeurs physiques disponibles

Vous allez étudier le fonctionnement d'une micro-éolienne en analysant deux grandeurs physiques complémentaires :

1. La tension de sortie du générateur électrique.
 Le générateur électrique est constitué d'un générateur synchrone triphasé à aimants permanents à 6 paires de pôles générant un champ magnétique de forme sinusoïdale. Une fois en rotation, il délivre donc entre deux de ses phases une tension alternative quasi-sinusoïdale de fréquence et d'amplitude proportionnelles à la fréquence de rotation de l'arbre du générateur.
2. Le signal de sortie du tachymètre.
 Les éoliennes sont équipées d'un "tachymètre" chargé de mesurer la vitesse de rotation de leurs pâles. Dans notre cas, ce capteur est composé d'un élément magnétique mobile (un aimant) collé sur une des pâles et d'une bobine fixe. À chaque rotation, lorsque l'aimant passe devant la bobine, le flux magnétique $\phi(t)$ vu par la bobine varie comme une impulsion de forme gaussienne. Cette variation induit alors aux bornes de la bobine une impulsion de tension $e(t)$ suivant la loi de Lenz-Faraday : $e(t) = -\frac{d\phi(t)}{dt}$. Le signal de sortie du tachymètre, également appelé "top-tour", est donc composé d'une série d'impulsions séparées de la période de rotation de l'arbre de l'éolienne.

3. Système d'acquisition

La carte TiePie HS3/HS5 représentée à la figure 2 est le système d'acquisition utilisé pour ce TP. Son paramétrage (niveau d'entrée, fréquence d'acquisition de la carte F_e , taille du bloc d'acquisition) se fait par l'intermédiaire du logiciel Multi Channel Software qui joue également le rôle de

- oscilloscope numérique : visualisation des échantillons numérisés, zoom, curseurs temporels, mesures temporelles, ...
- analyseur de spectre : visualisation sur $\left[0, \frac{F_e}{2}\right]$ Hertz du module de la transformée de Fourier du bloc d'échantillons numérisés, zoom, curseurs fréquentiels, mesures fréquentielles, ...



Figure 2 : cartes d'acquisition utilisées dans le cadre de ce TP : HS 3 (à gauche) et HS5 (à droite)

Plus d'informations sont disponibles en annexe, et pour un bon déroulement de la séance, nous vous conseillons de consulter le [manuel d'utilisation](#) de ces cartes.

4. Mise en route

Voici les instructions pour mettre en route le dispositif expérimental lié à ce TP :

- connectez vous au PC à l'aide de vos identifiants institutionnels et téléchargez les fichiers nécessaires du [site chamilo du cours de traitement du signal](#).
- reliez la sortie du générateur électrique et celle du tachymètre à la carte TiePie à l'aide des connecteurs BNC disponibles, et reliez la carte TiePie au PC par le connecteur USB disponible,
- lancez le logiciel Multi Channel Software sur le PC,
- chargez le fichier de configuration `Config MicroEolienne.tps`
- branchez l'alimentation électrique du ventilateur au réseau puis allumez le ventilateur pour faire démarrer la micro-éolienne.

Si le dispositif expérimental est correctement configuré, vous pouvez alors voir s'afficher en temps-réel les signaux numérisés en sortie de micro-éolienne ainsi que leur spectre d'amplitude, et commencer votre TP.

C. TRAVAIL EN SÉANCE

I. Analyse et modélisation de signaux

Dans cette partie, l'objectif est de comprendre et d'analyser les signaux disponibles à la fois dans les domaines temporel et fréquentiel, pour en déduire un modèle mathématique utile. Pour cela, mettez en marche la micro-éolienne, puis attendez qu'elle atteigne son régime permanent.

1. Analyse temporelle

- Mesurez et expliquez les formes temporelles observées pour le signal de sortie du générateur électrique et celui du tachymètre.
- En déduire un modèle mathématique pour chacun de ces 2 signaux. Inspirez-vous pour cela de la partie 1. de votre préparation.

2. Analyse fréquentielle

- Mesurez et expliquez les spectres observés pour le signal de sortie du générateur électrique et celui du tachymètre. Justifiez en particulier la forme générale des spectres ainsi que la valeur des principales fréquences observées.
- En déduire un modèle mathématique en cohérence avec celui issu de l'analyse temporelle. Inspirez-vous pour cela de la partie 1. de votre préparation.
- Comparez les observations fréquentielles réalisées en échelle linéaire avec celles réalisées en décibels (dB). Donnez les avantages et les inconvénients de ces 2 échelles.

II. Mesure d'informations physiques

Dans cette partie, l'objectif est d'extraire des signaux disponibles des informations physiques permettant de caractériser le fonctionnement de la micro-éolienne en se basant sur les modèles mathématiques établis dans la partie précédente. Pour cela, faites à nouveau fonctionner la micro-éolienne à son régime permanent.

- Informations mécaniques : mesurez précisément la fréquence de rotation f_r de la micro-éolienne, et justifiez votre méthode de mesure.
- Informations électriques : mesurez l'amplitude A_0 et la fréquence électrique f_0 fournies en sortie de micro-éolienne, et justifiez votre méthode de mesure.
- Pour toutes ces mesures, inspirez-vous de la partie 2. de votre préparation pour discuter l'influence de :
 - la taille du bloc d'acquisition,
 - la forme de la fenêtre temporelle utilisée pour l'analyse spectrale.

III. Détection de défaut

En hiver, les éoliennes sont souvent sujettes au givrage (apparition de glace sur certaines de leurs pâles). Ce phénomène induit un balourd mécanique et des efforts centrifuges dangereux pour le système. Il est donc considéré comme un défaut et doit être détecté le plus rapidement possible. Une étude théorique montre que ce défaut provoque une faible modulation sinusoïdale de l'amplitude et de la fréquence du signal électrique fourni par le générateur à la fréquence de rotation de l'arbre de l'éolienne. L'objectif est ici d'être capable de détecter ce défaut à partir des grandeurs mesurées sur la micro-éolienne.

- Modélisez mathématiquement la signature temporelle et fréquentielle de ce défaut sur la tension fournie par le générateur électrique en ne prenant en compte que la modulation d'amplitude. Inspirez-vous pour cela de la partie 1. de votre préparation.
- Simulez expérimentalement ce défaut en ajoutant un poids sur une des pâles de la micro-éolienne, et en la faisant fonctionner comme précédemment.
- Vérifiez la validité de votre modèle par des mesures expérimentales.
- En déduire un traitement permettant d'obtenir un détecteur de défaut de givrage à partir de la tension électrique en sortie d'éolienne.

D. ANNEXE : SYSTÈME D'ACQUISITION DE SIGNAUX TIEPIE

La carte TiePie HS3/HS5 représentée à la figure D.1 est le système d'acquisition utilisé pour ce TP.



Figure D.1 : cartes TiePie HS 3 (à gauche) et HS5 (à droite) utilisées comme système d'acquisition

Elle est reliée à un PC par l'intermédiaire d'un câble +USB, et son paramétrage (niveau d'entrée de ± 200 mV à ± 10 V, fréquence d'acquisition de la carte F_e jusqu'à 50 MHz, taille N du bloc d'acquisition en échantillons) se fait par l'intermédiaire du logiciel Multi Channel Software. Le schéma fonctionnel général de ce système d'acquisition est donc donné à la figure D.2.

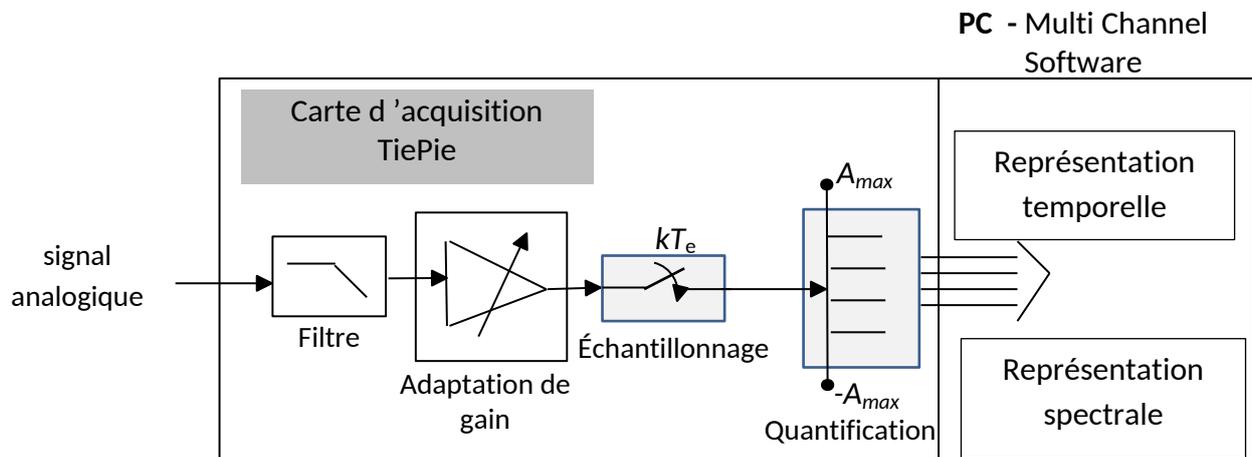


Figure D.2 : schéma fonctionnel du système d'acquisition utilisé en TP

L'interface principale du logiciel Multi Channel Software est illustrée à la figure D.3.

fréquence d'acquisition de la carte F_e

taille du bloc d'acquisition N

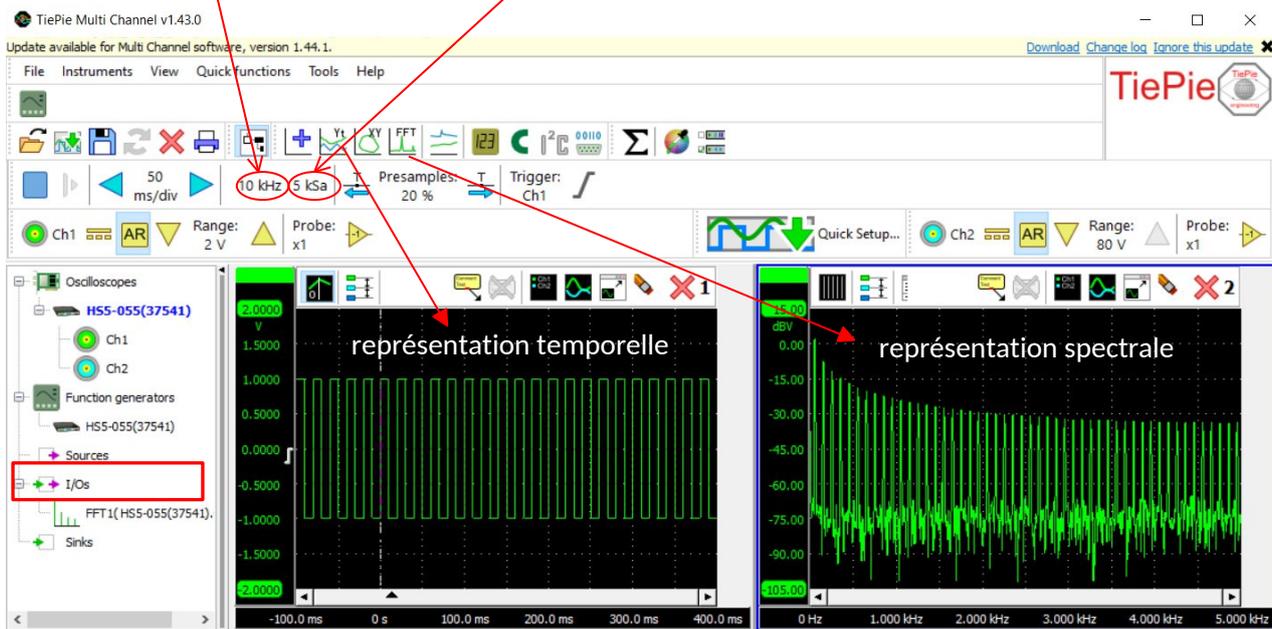
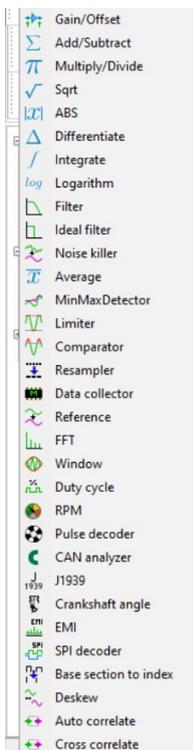


Figure D.3 : interface homme-machine du logiciel Multi Channel Software

L'acquisition peut être réalisée en continu ou sur un seul bloc, selon la configuration. Le logiciel Multi Channel Software joue également le rôle de :

- oscilloscope numérique : visualisation de la représentation temporelle du bloc d'échantillons numérisés, zoom, curseurs temporels, mesures temporelles, ...
- analyseur de spectre : visualisation sur $\left[0, \frac{F_e}{2}\right]$ Hertz du module de la transformée de Fourier du bloc d'échantillons numérisés, zoom, curseurs fréquentiels, mesures fréquentielles, ...



La carte permet aussi de réaliser un nombre important d'opérations :

En cliquant sur **I/Os** (Inputs/Outputs – voir figure A.3), on peut sélectionner une opération parmi la liste donnée à gauche.

Une fois l'opération sélectionnée, il faut ajouter les variables qui sont soit les signaux mesurés sur les deux entrées de la carte (CH1 et CH2) soit des résultats d'autres opérations. La sélection se fait en cliquant sur la variable d'intérêt et en la glissant-déposant sur l'opération qu'on souhaite lui appliquer

La vidéo suivante illustre l'exemple d'une opération de sommation d'une sinusoïde et d'un signal carré périodique.

<https://youtu.be/mpK7SIFpg48>