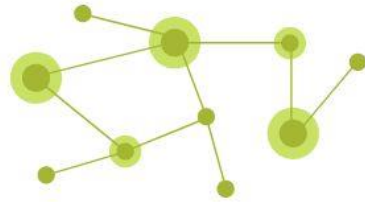


Capteurs embarqués sur un rotor entraîné par une machine électrique pour le monitoring de la température

Mouna Ben Salem, Laurent Petit, Frédéric Lamarque

ÉNERGIE
ÉLECTRIQUE 4.0



Comité de suivi EE4.0 – axe 2

12 février 2024



Le projet s'inscrit dans **l'axe 2 convertisseurs électriques intelligents**

- Ouverture thématique vers:

- les nouvelles technologies (Matériaux, Procédés, IA, Objets Connectés...)
- les sciences humaines et sociales (Economie, acceptabilité de nouveaux usages...)

ET /OU

- Poursuite du transfert technologique :

- Partenariat fort vers les industriels et les collectivités

Contexte : Instrumentation de machines électriques pour mesurer des déformations locales, la température à cœur et/ou en surface ou des paramètres dynamiques vibratoires.

Objectif : assurer le monitoring (ou surveillance) de la machine en terme de vibration ou de point chaud localisé sur son rotor

Le monitoring de la machine peut se faire avec :

- des capteurs situés dans son environnement (mesure à distance par capteur interférométrique - analyse vibratoire) ;
- des capteurs in-situ intégrés sur la machine (mesure locale de la température).

Objectifs du projet

- **Mesure In-situ** : réalisation des dispositifs de récupération d'énergie à partir de poutres piézoélectriques pour alimenter les capteurs intégrés aux machines tournantes
 - La machine fonctionne à différentes fréquences → poutres avec différentes géométries pour récupérer l'énergie de manière optimale.
 - Usinage des poutres piézoélectriques → Utilisation de la **Microfraiseuse** (Equipement N°2)
- **Caractérisation des déplacements** vibratoires de la machine tournante → utilisation d'un capteur externe : **Interféromètre Vibromètre laser** (Equipement N°1)

➤ **Problem:** Strong Integrated electrical rotating machines (automotive applications) leads to heating and magnets demagnetization

➔ There is a huge impact on the electrical motor heating with its performance

➔ Necessity of measuring local temperature, especially in the rotor which contains the magnets, for monitoring purpose

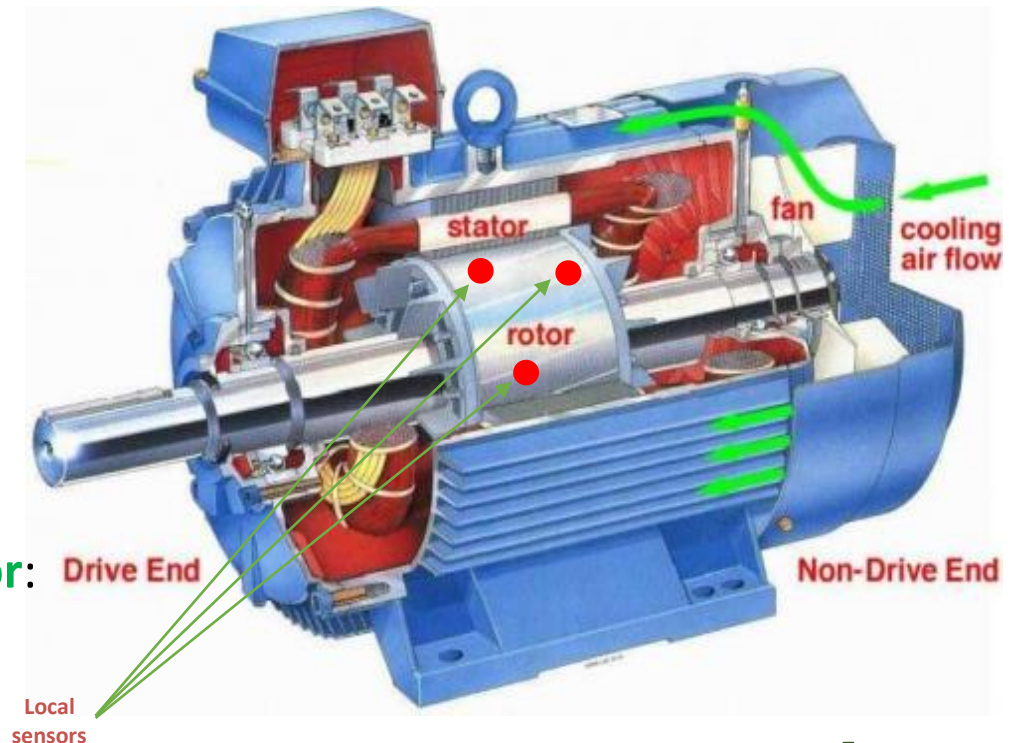
➤ **Solution:**

✓ **Measure Temperature** of the electrical machine:

- Enhance the machine performance
- Protect the machine by stopping its operation due to a heat spot

✓ Monitoring **local temperature especially inside the rotor:**

- Localizing heat spots
- Detection of early thermal aging of the machine



Existing mature approaches for temperature measurement are :

1. Direct measurement

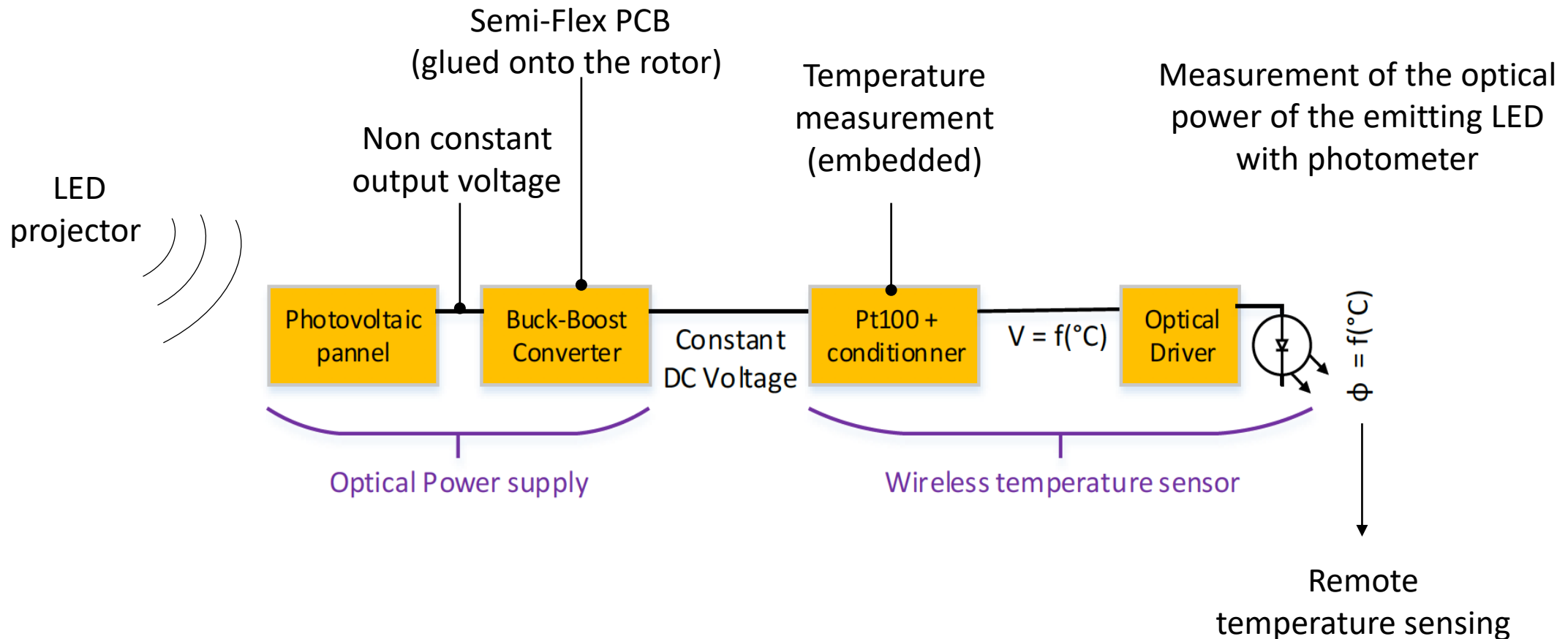
- Thermocouples-based methods
 - (onto stator or contacts due to rotating rings that limit speed of machines)
- Optical measurements based on phosphor excitation or IR thermal flux
 - problem in identifying the surface temperature, external measurement (not in the core of the stator)
- Fiber bragg based measurement
 - detection have to be done without spectrometers (fragile sensors, difficult to integrate)

2. Indirect measurement

- Electromagnetic modeling of electrical machine
 - pro : geometrical modeling in not required
 - contra : heat exchange parameters are difficult to identify, one modeling per machine, difficult calibration in the volume

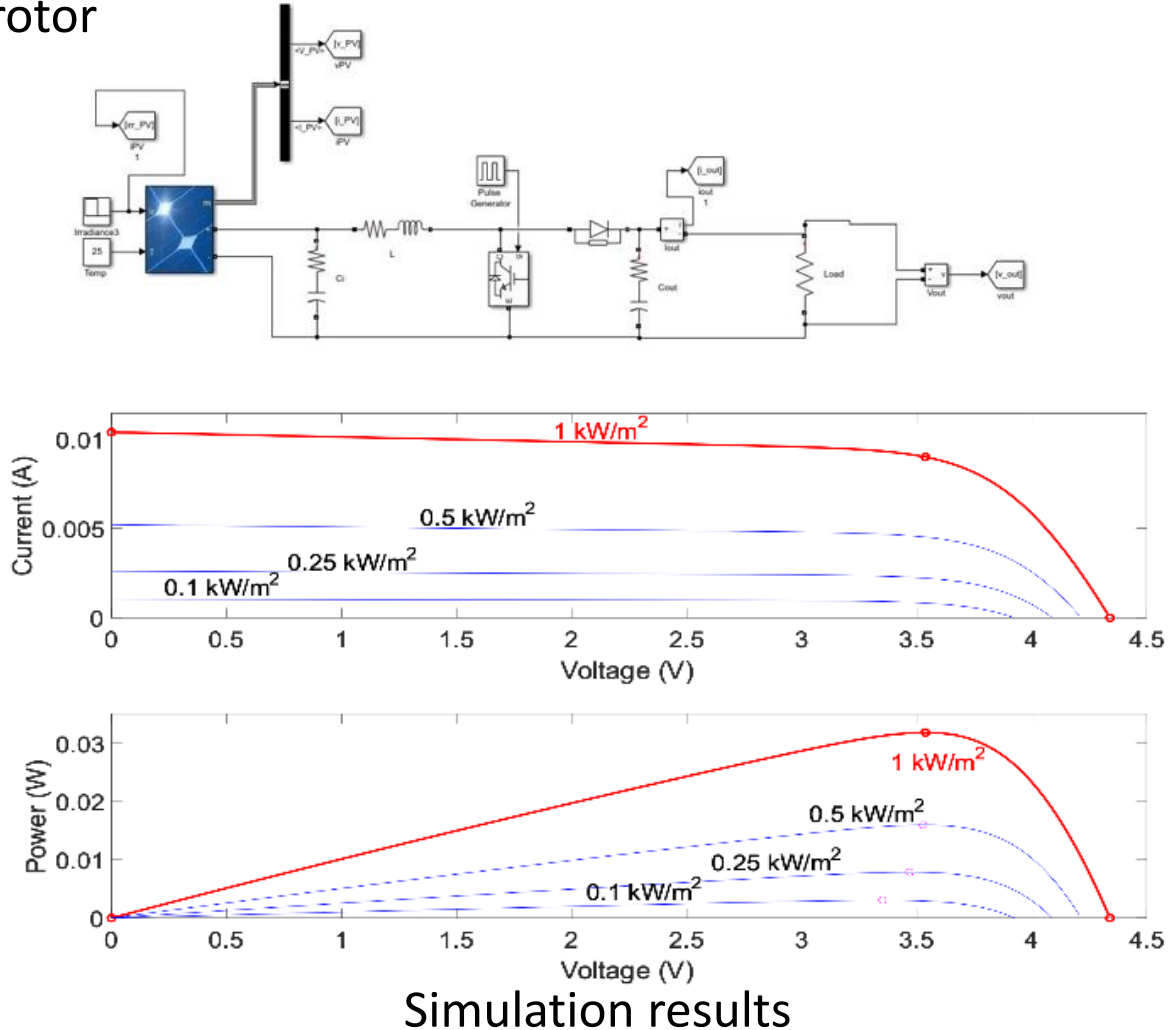
Lack of
accuracy

➔ This study presents the calibration of a **full-optical remote temperature sensing method** with a flexible electronic device embedded into an academic rotating machine



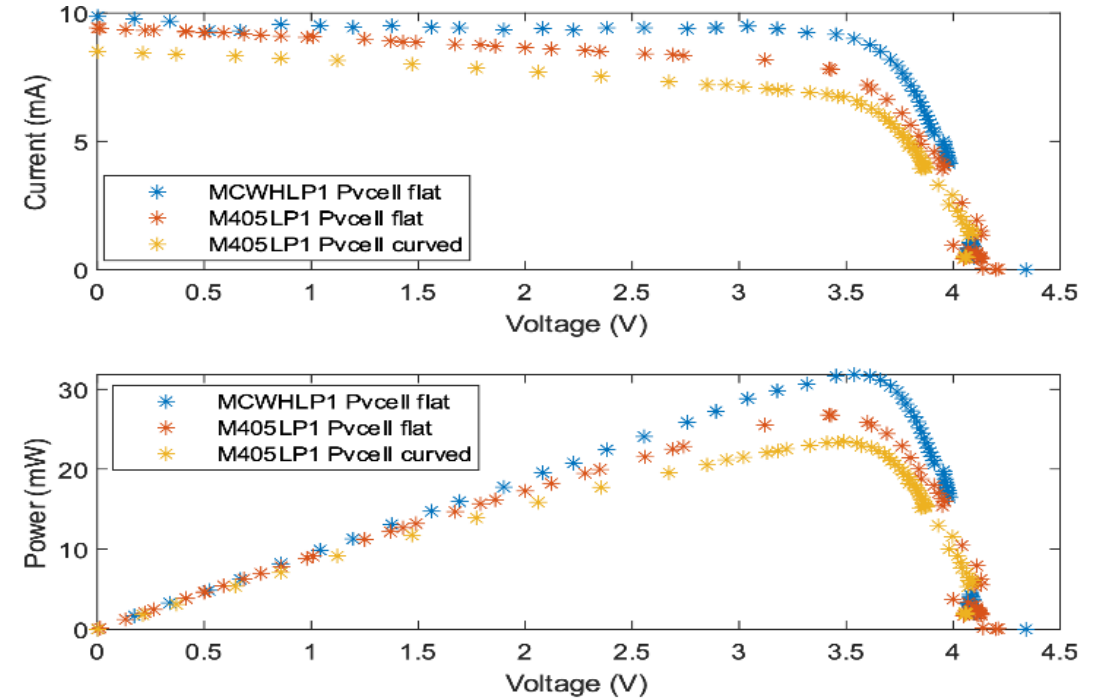
Modelling of the power supply line (1/2)

Matlab/Simulink modelling to mimic the pulsed illumination of the embedded mini PV panel onto the rotor



Simulation results

Experimental validation and curvature effect on sensitivity of the flexible mini PV panel

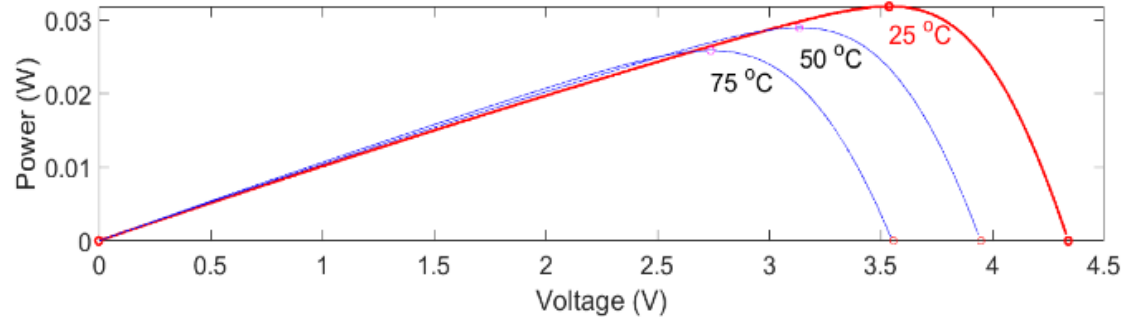
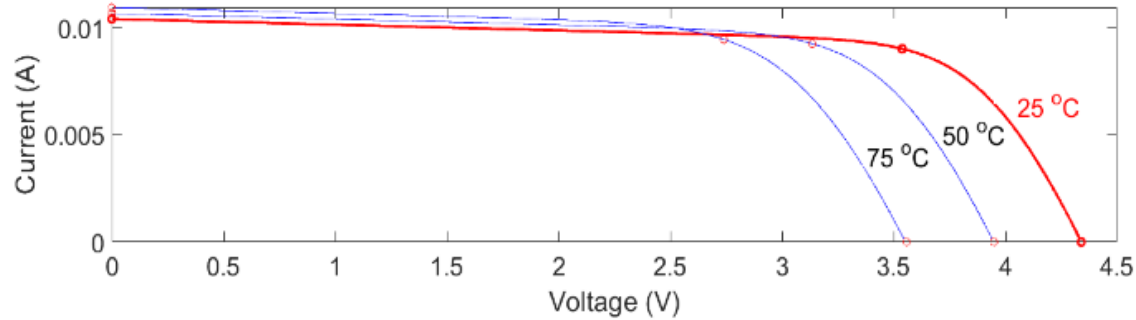


Experimental conditions :

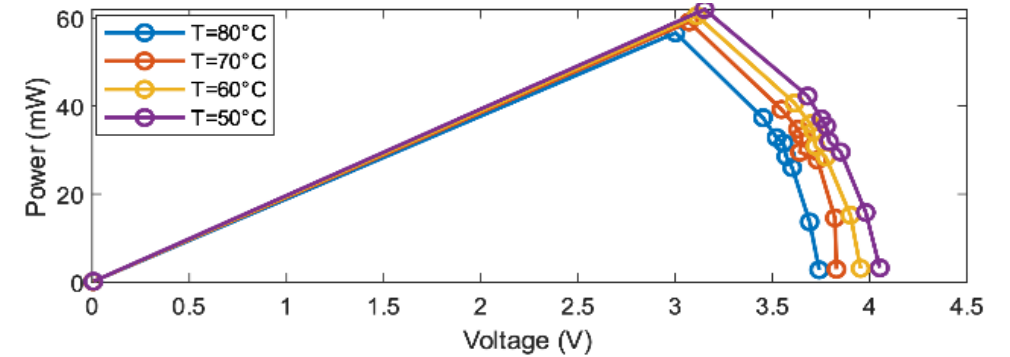
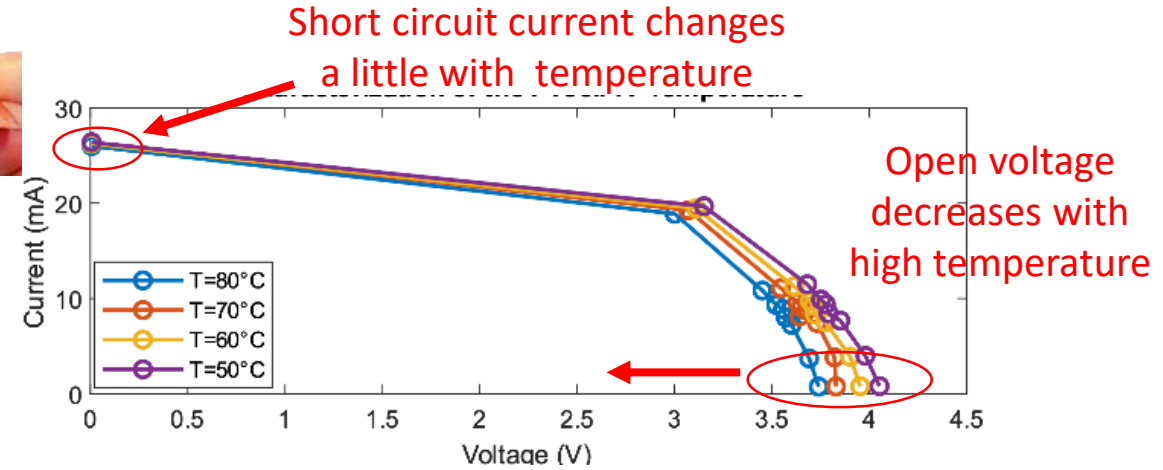
- Two LED projectors (UV and white light)
- Irradiance $\approx 1\text{ kW/m}^2$
- On-Off pulsed frequency @33,34 Hz (Equiv. 2000 RPM)

Modelling of the power supply line (2/2)

Sensitivity to temperature in curved shape

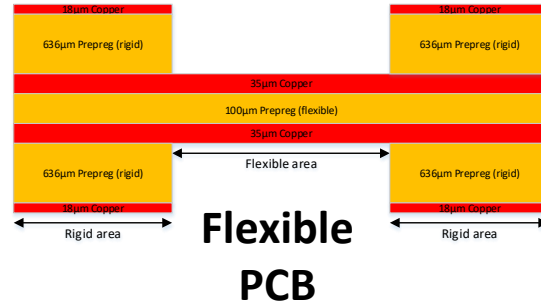
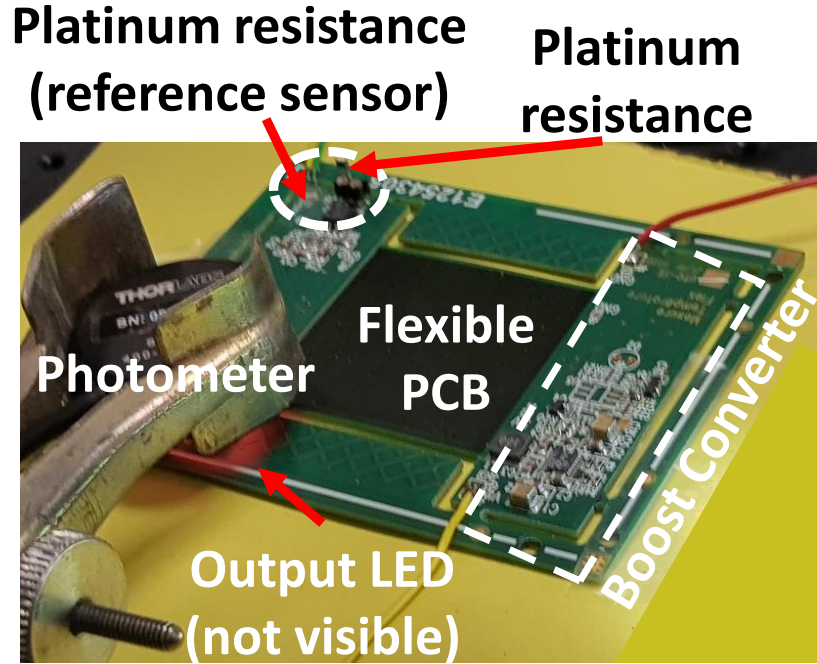


Simulation results (Irradiance : 1 kW/m²)

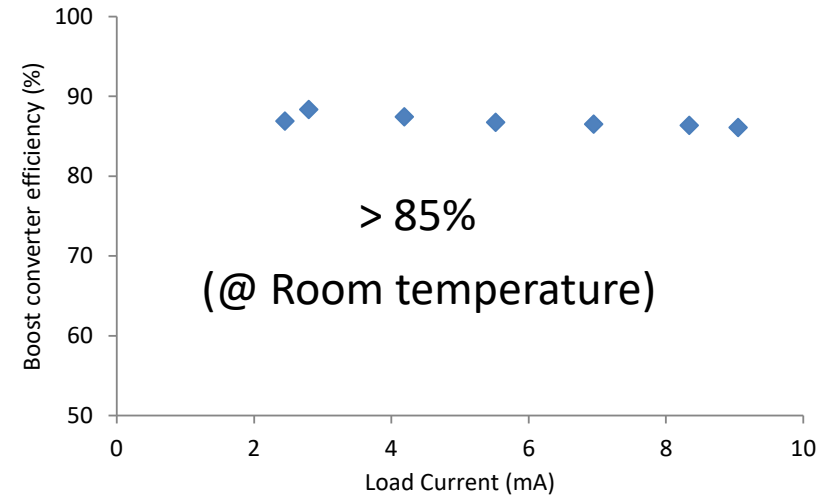


Experimental results (Irradiance : 2 kW/m²)

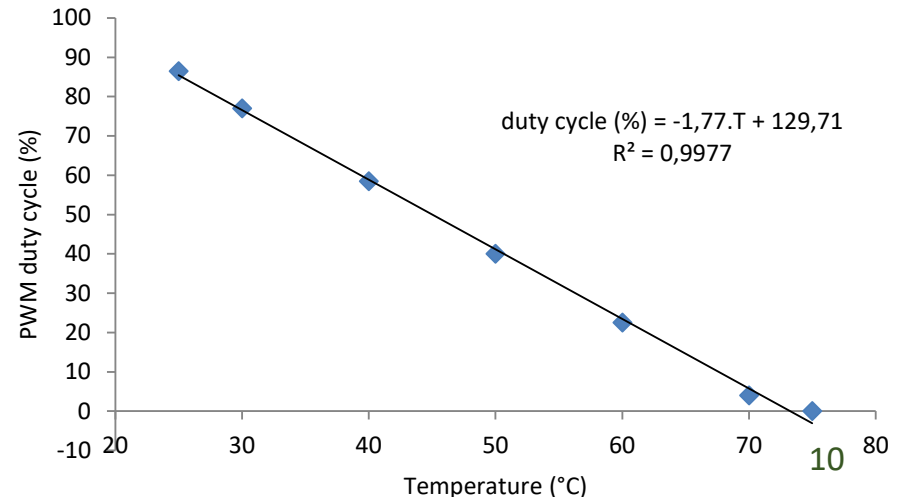
- 1/ The PV panel's efficiency decreases as the temperature rises (for every raise of 10°C the power drops by an average of 3% of its value)
- 2/ Maximum power point (MMP), corresponding to the best efficiency, is shifting with temperature changes



Stability of the DC-DC converter

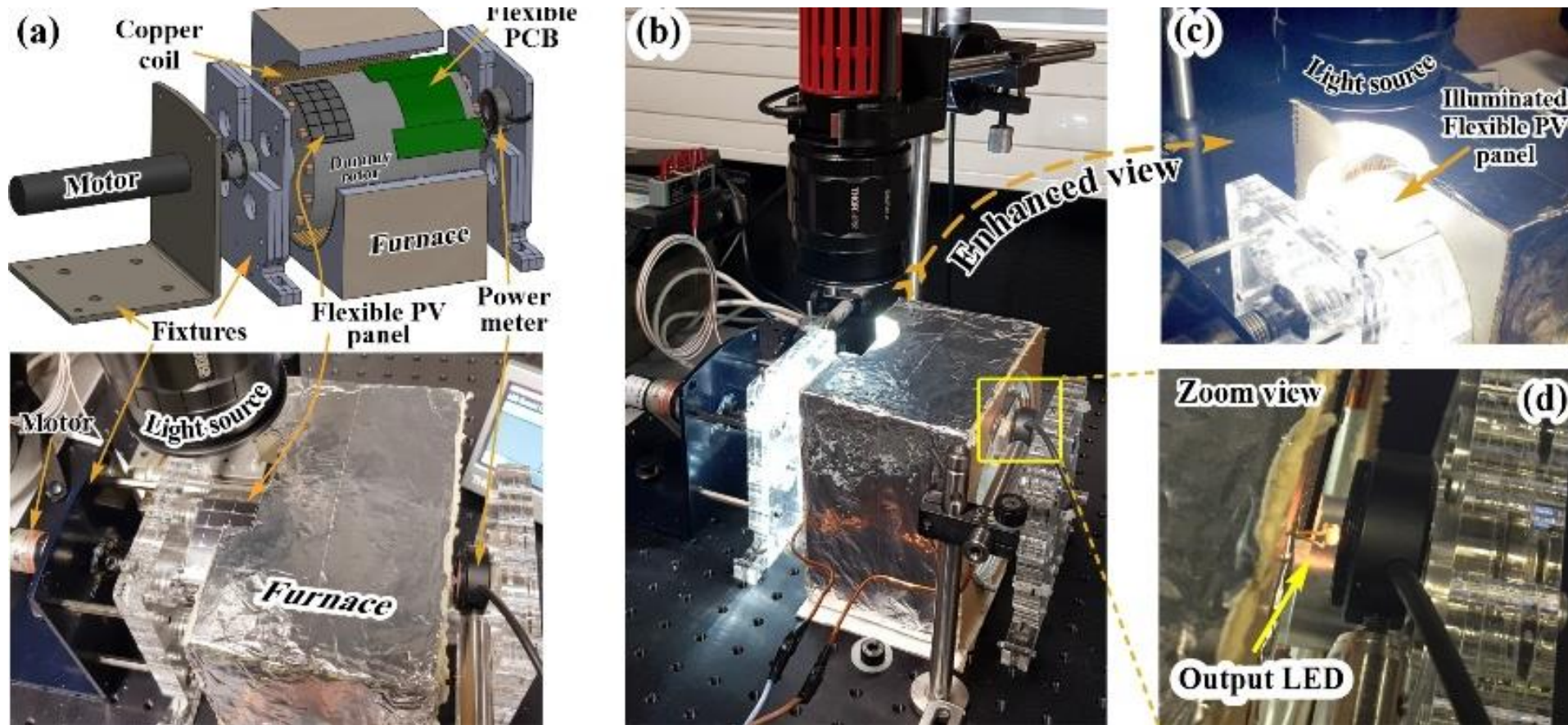


Linearity of the PWM transducer as a function of temperature



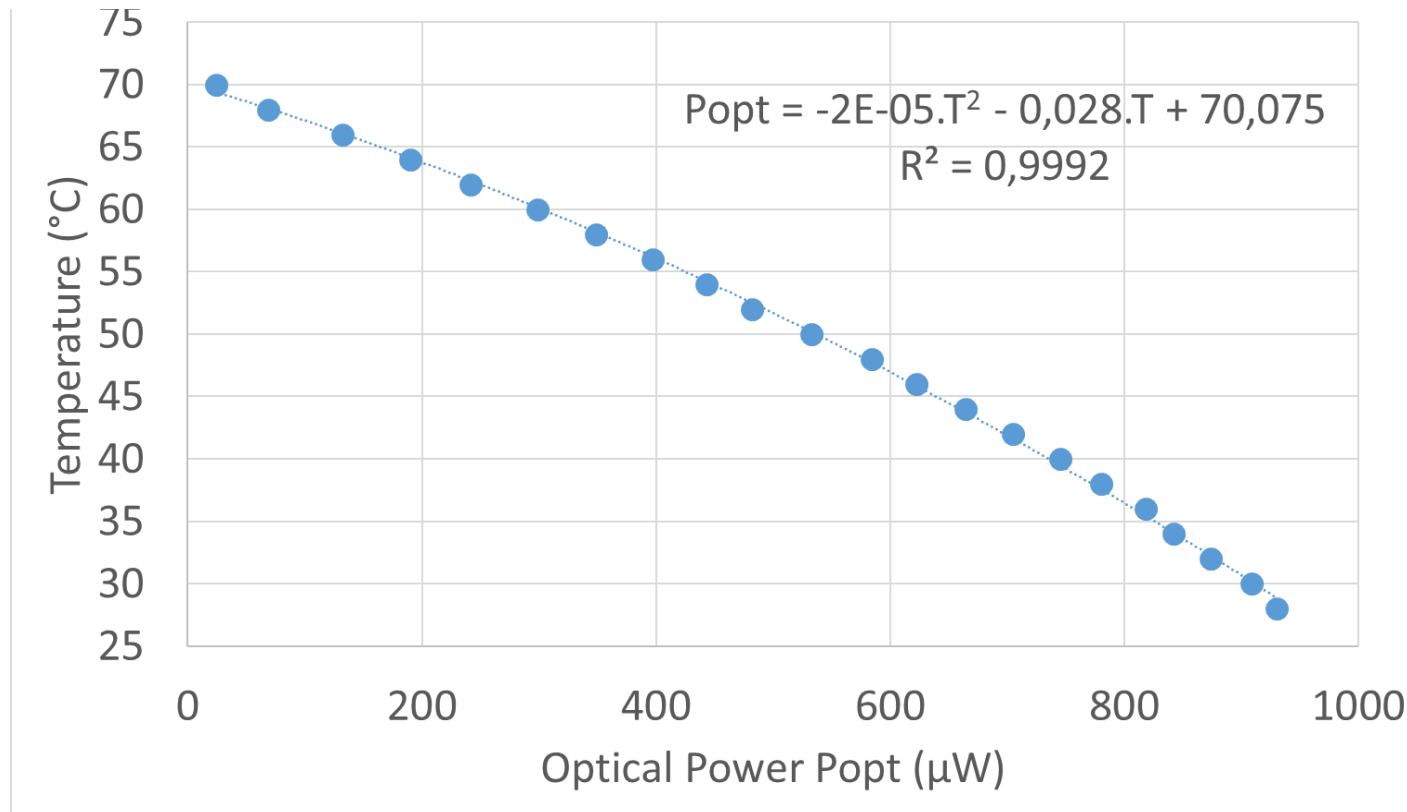
Experimental conditions

- 1/ No flexible PV panel => Boost-converter was powered by electrical supply source (realistic input current was used)
- 2/ Flexible PCB was heated up 75°C then duty cycle was measured (photometer in the picture was not used + no output LED)



(a) General set-up, (b) the rotor into the furnace, (c) lighting of the PV flexible mini-panel with the LED projector, (d) output LED, which light is a function of the rotor's temperature, is collected by the remote photometer

Calibration curve of the wireless temperature measurement system obtained in conditions close to the real case



Small non linearity comes from output LED temperature sensitivity

Accuracy stays within 1°C above 50°C (automotive app)

Multi-sensors potentiality

LED projector was pulsed @ 33,34 Hz (Equiv. 2000 RPM)

PV mini panel illumination duty cycle was set to 25% of the cylinder perimeter

- Microfraiseuse – réceptionné (Déc. 2022) et mise route (Mai 2023)
- Interféromètre - vibromètre – réceptionné en trois temps (Fév. 2023 / Juil. 2023 / Janv. 2024) et mis en marche (Juillet 2023)
- Postdoc 18 mois : Mouna Ben Salem (26/10/2022 – 25/04/2024)

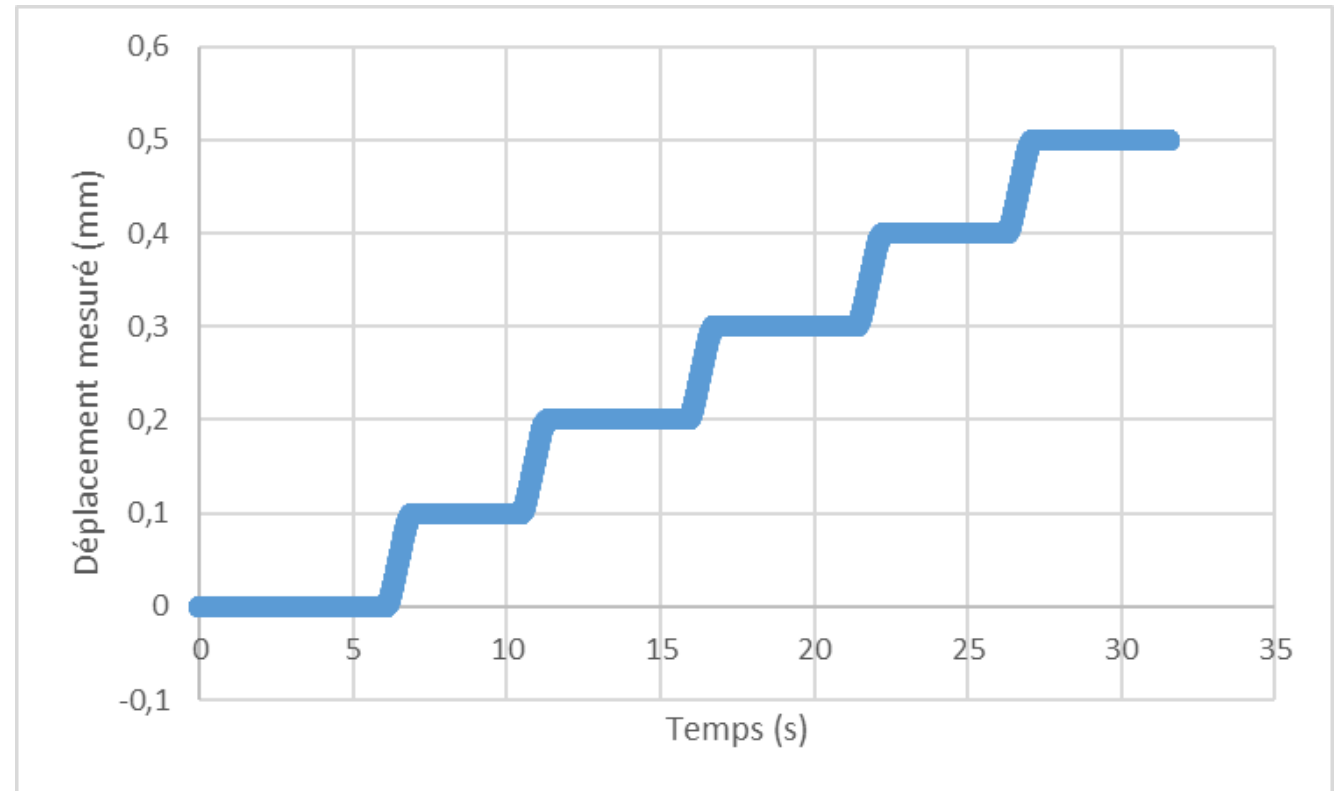
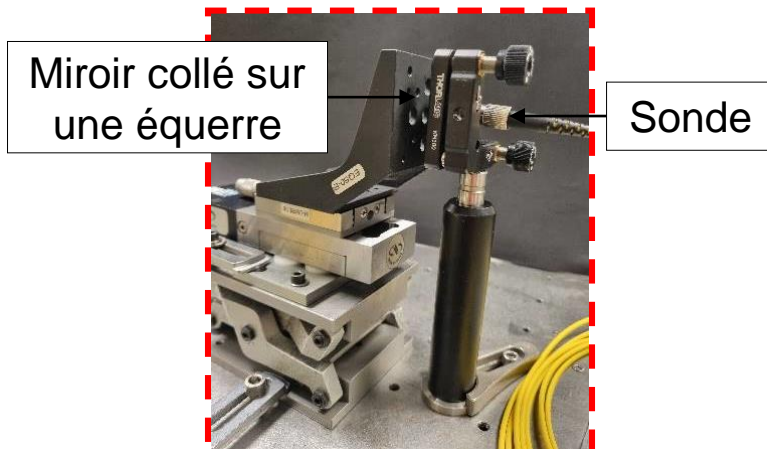
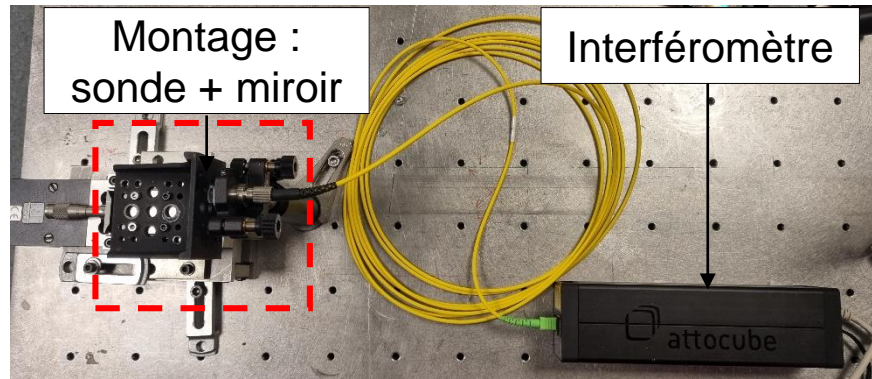
Installation et prise en main de l'équipement :

- Interféromètre / Vibromètre Attocube + accessoires (sondes...)
- Poste informatique pour pilotage (financé par laboratoire Roberval)



Installation et prise en main de l'équipement :

- Prise en main de l'équipement et vérification du fonctionnement



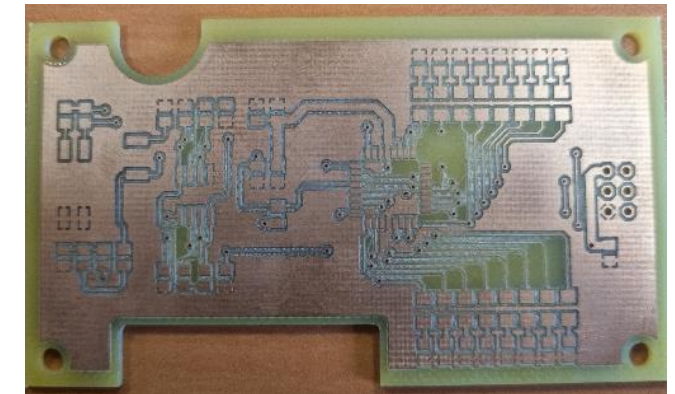
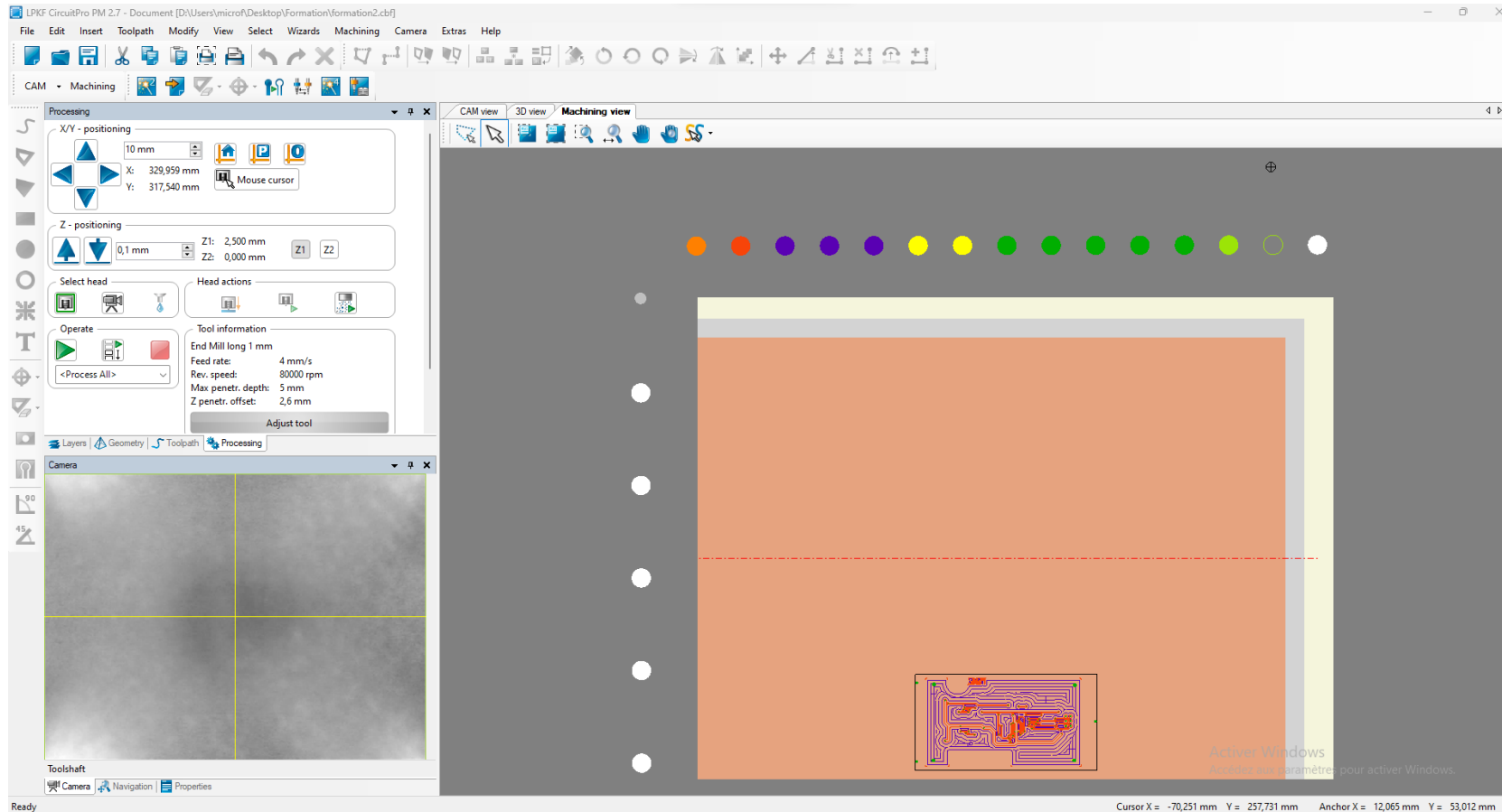
Installation et prise en main de l'équipement :

- Microfraiseuse LPKF
- Poste informatique pour pilotage (financé par laboratoire Roberval)



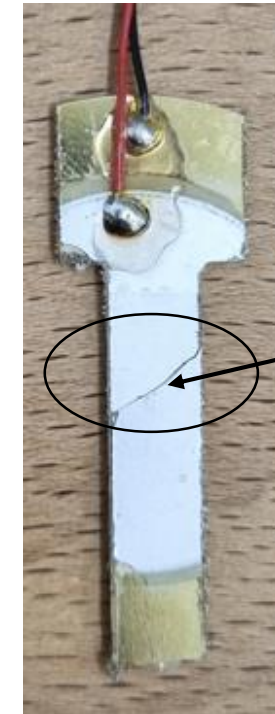
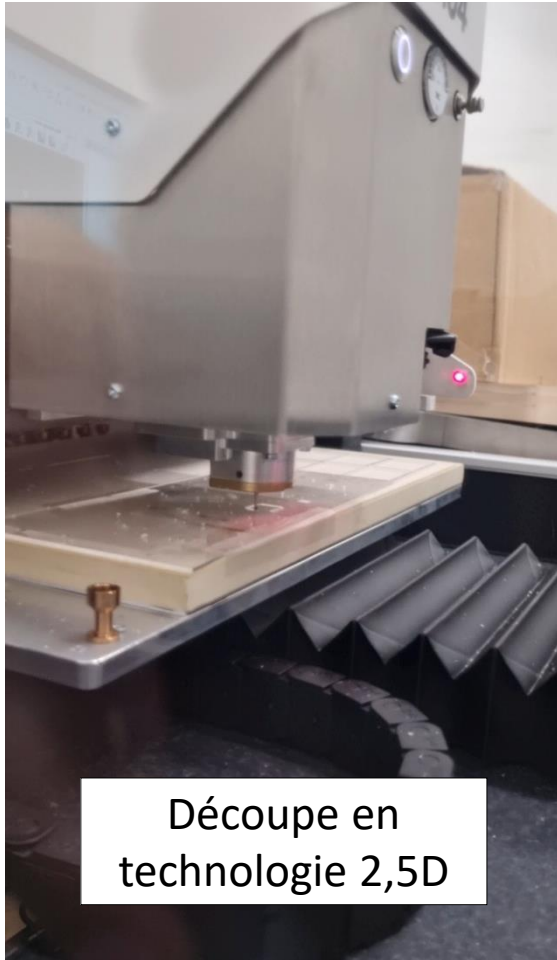
Installation et prise en main de l'équipement :

- Mise en service et formation sur la machine les 3 et 4 mai 2023
- Réalisation avec la machine :



Circuit test réalisé lors de la formation

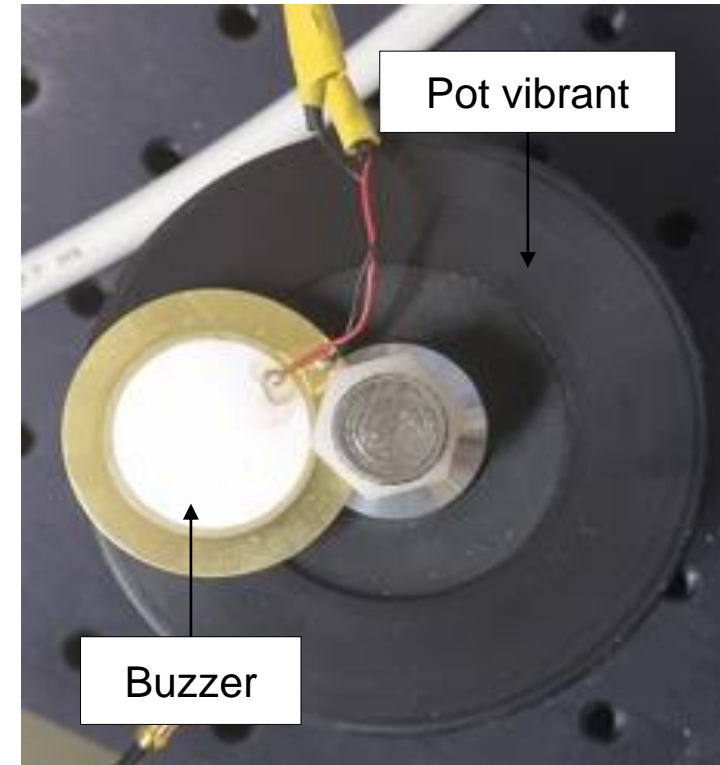
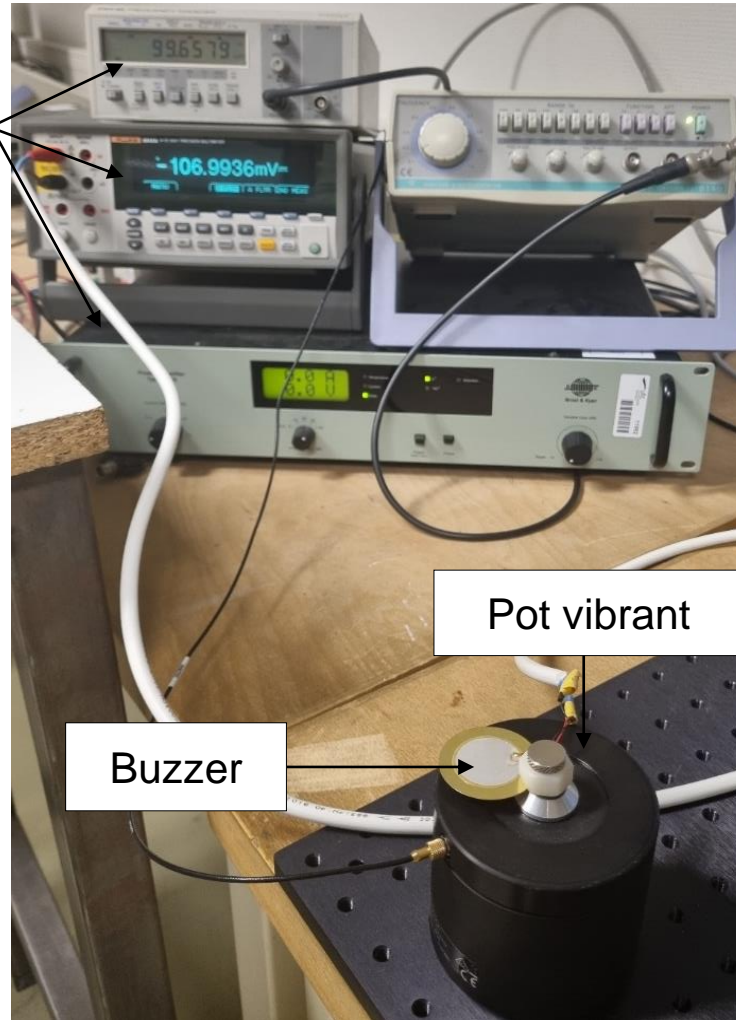
Découpe des buzzers avec la microfraiseuse :



Caractérisation du buzzer sur pot vibrant :

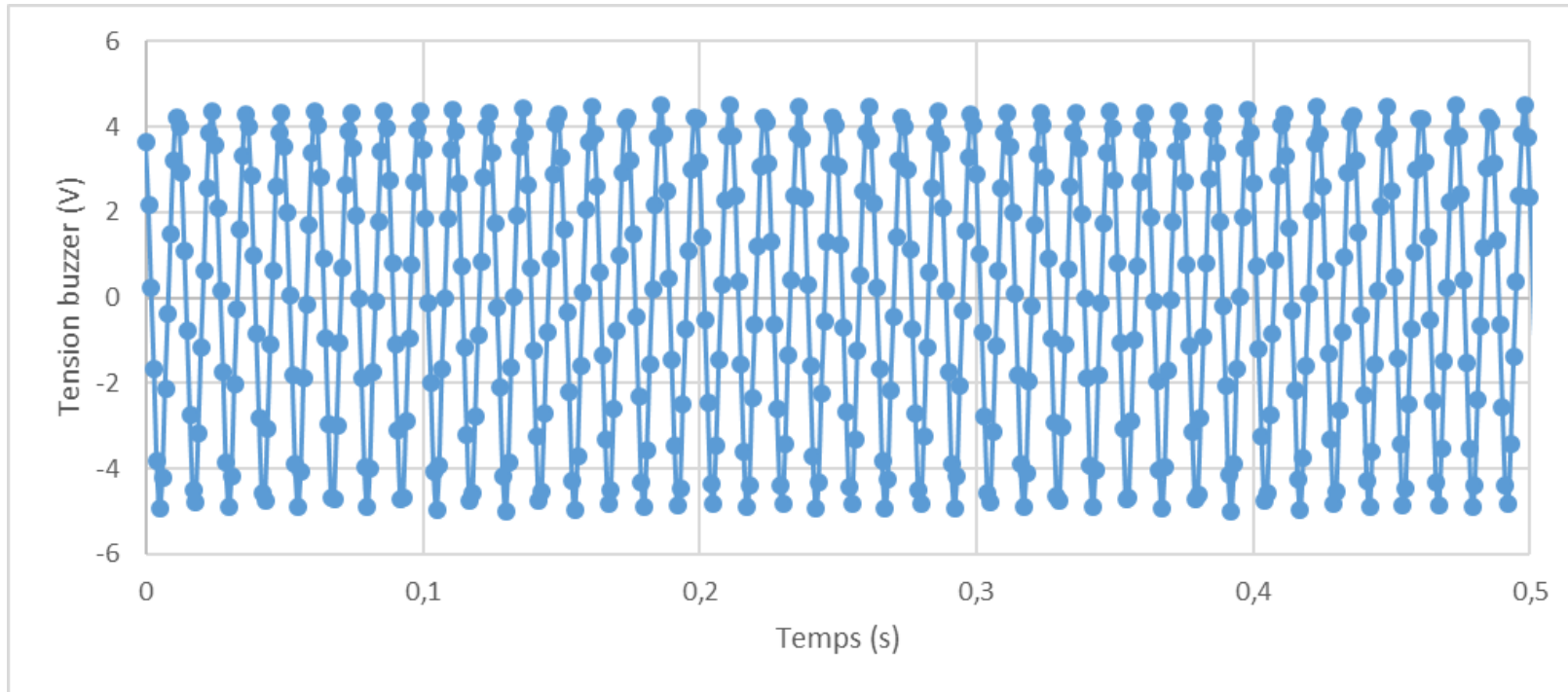
Montage expérimental :

Acquisition et
pilotage du pot
vibrant



Caractérisation du buzzer sur pot vibrant :

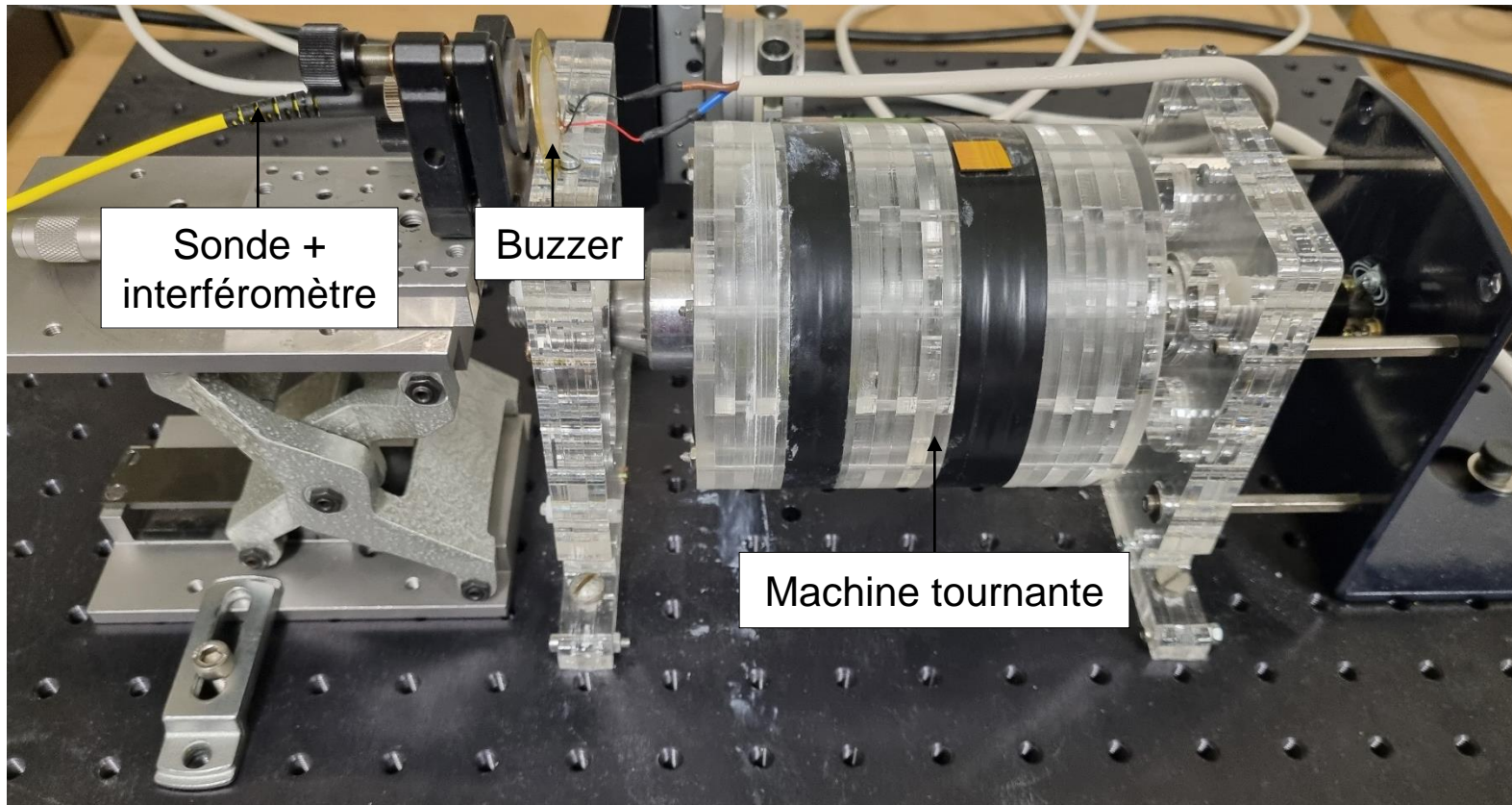
Mesure de la tension du buzzer (alimentation pot vibrant : 0,7 V/0,1 A – gain min)



Tension mesurée p-p = 8,77 V

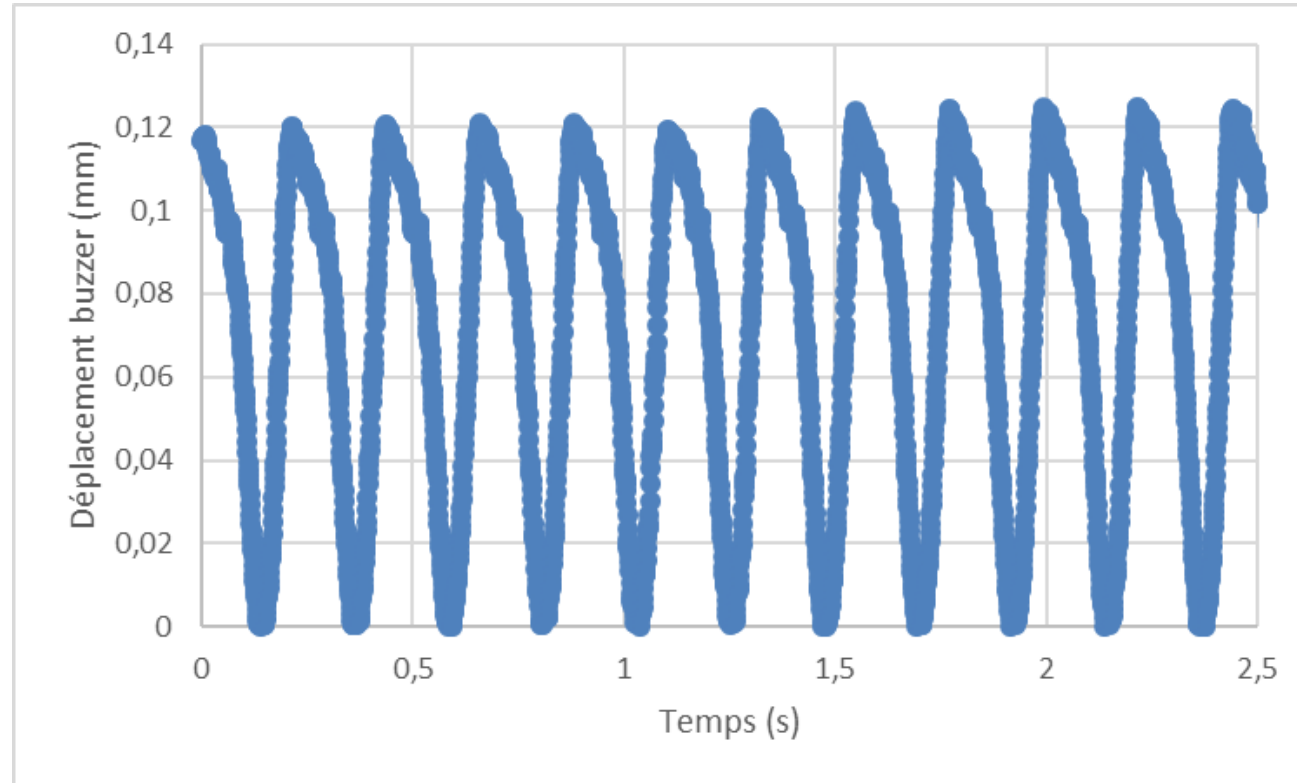
Caractérisation du buzzer sur machine tournante :

Montage expérimental (Vitesse de rotation = 297 tr/min) :



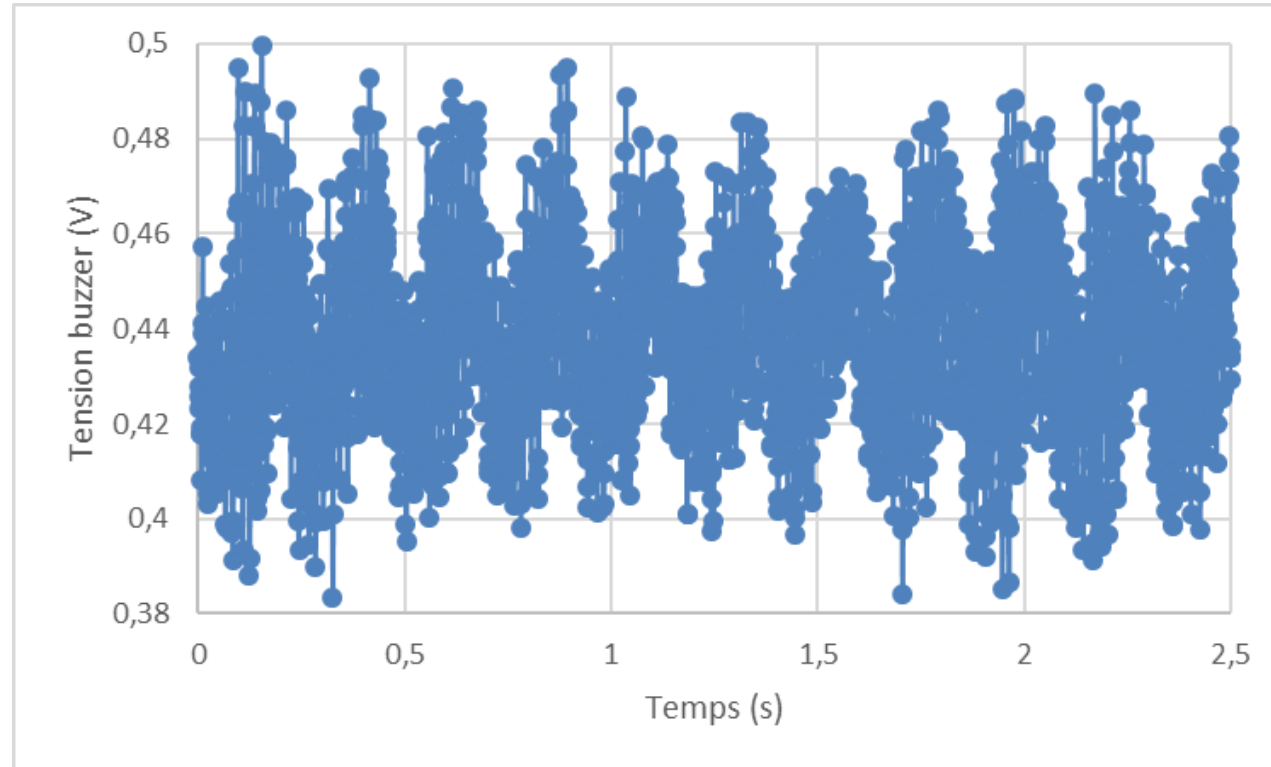
Caractérisation vibratoire du buzzer sur machine tournante :

Mesure du déplacement du buzzer monté sur le bâti de la machine tournante (Vitesse de rotation = 297 tr/min) :



Caractérisation électrique du buzzer sur machine tournante :

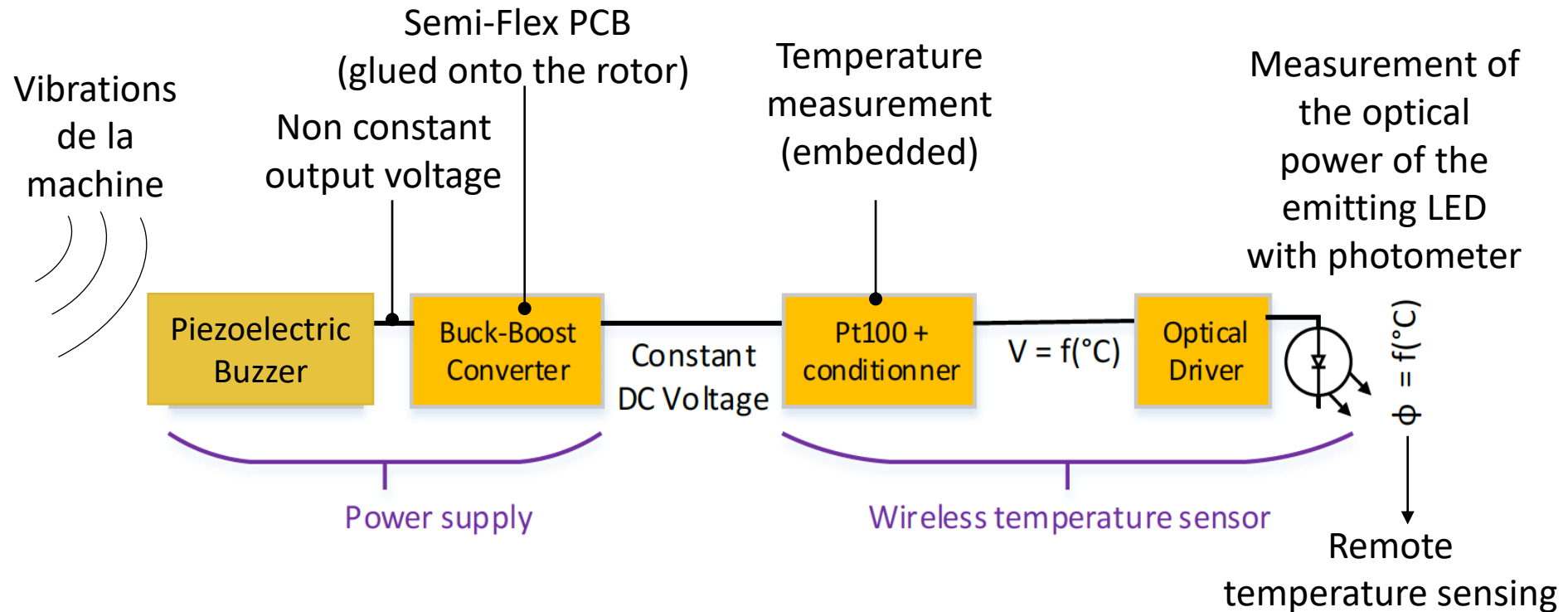
Mesure de la tension générée par le buzzer monté sur le bâti de la machine tournante (Vitesse de rotation = 297 tr/min) :



Tension mesurée p-p = 0,1 V => monter en vitesse de rotation (objectif = 800 - 1000 tours / mn)

➔ Le problème principal de la première étude est de devoir apporter de la lumière en face du panneau photovoltaïque flexible.

=> Intégrer des poutres piézoélectriques sur la partie tournante de la machine et utiliser la chaine de mesure existante



Merci !

QUESTIONS ?