

# Journée Technique - Mécatronique

## Un exemple de projet collaboratif en mécatronique : « Contactless Optical Torque Sensor (COTS) »

Eric PADIOLLEAU

CETIM

Pôle Mécatronique, Transmissions et Capteurs



# Sommaire

---

- 1. Contexte**
- 2. Partenaires**
- 3. Description du projet**
- 4. Principaux résultats obtenus**
- 5. Synthèse**

# Utilisation de la mesure de couple

- Dans le domaine de la surveillance des machines tournantes
  - Maintenance prédictive
    - Calcul de durée de vie résiduelle
    - Calcul de cumul de charge
    - Disponibilité machine
  - Détection de défauts
- Besoin
  - Technologie robuste et fiable
  - Coût réduit

## 1. Contexte

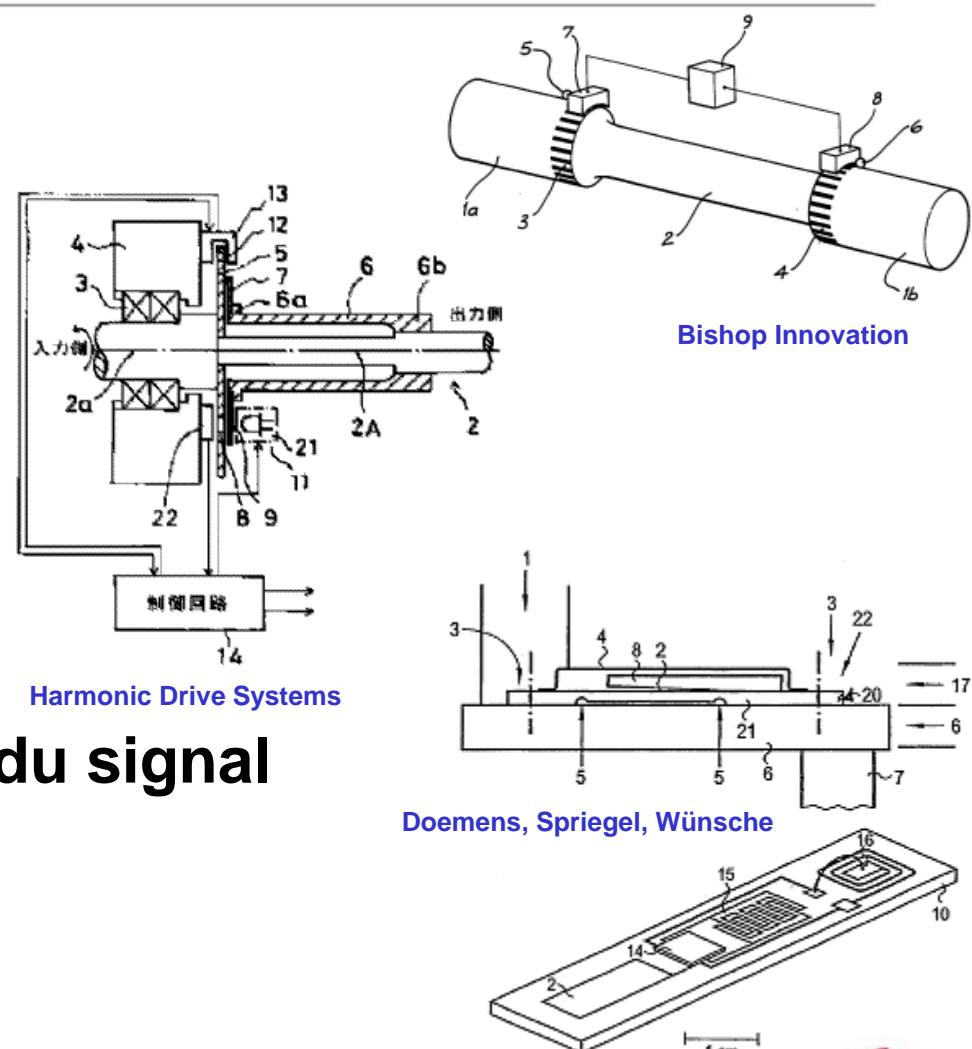
# Mesure de couple

## ● Technologies de mesure

- Pont de jauge
  - Méthode magnétique
  - Méthode optique
  - Ondes acoustiques de surface (SAW)
  - Capacités
  - Interférométrie
  - Pression dans un liquide
  - Impédance magnétique géante (GMI)

## ● Technologies de transmission du signal

- Boucle d'induction
  - Ondes radio
  - Méthode optique



# UTC - Laboratoire Roberval

### ● Mesure de déplacement

- Capteur à fibres optiques
- Haute résolution et grands déplacements
- Composants simples et bon marché



Fig. 15. Experimental setup for long-range measurement.

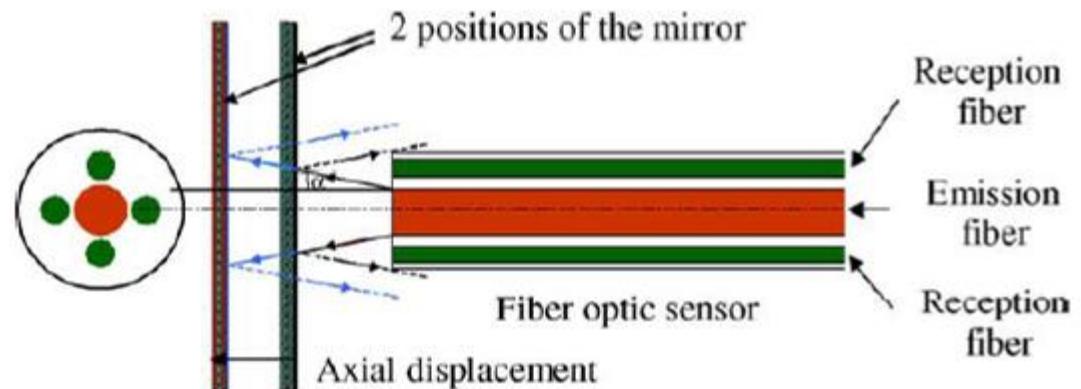


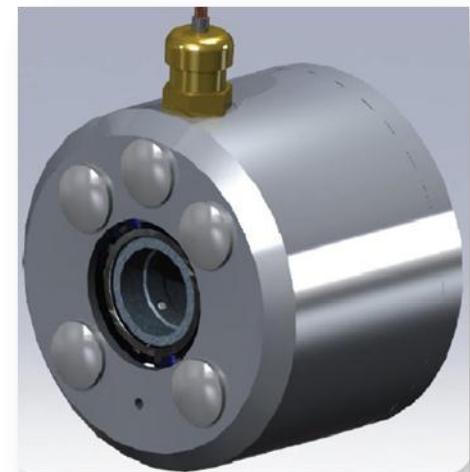
Fig. 1. Fiber optic sensor.

# CEDRAT Technologies

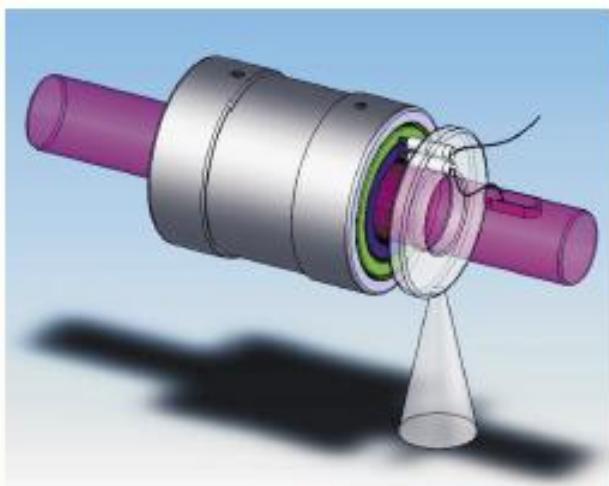
### ● Conversion torsion / déplacement

- Capteur de couple existant mais...
- ... mesure de déplacement onéreuse

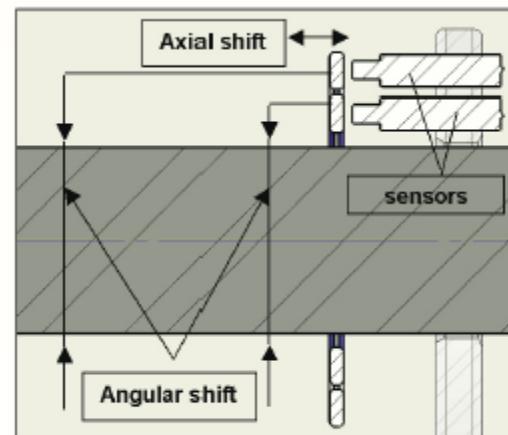
➤ Recherche d'une solution à bas coût



*Fig.3: Overview of a hollow shaft contactless sensor CTS 10*



*Fig.1: Contactless torque sensor mechanical design.*

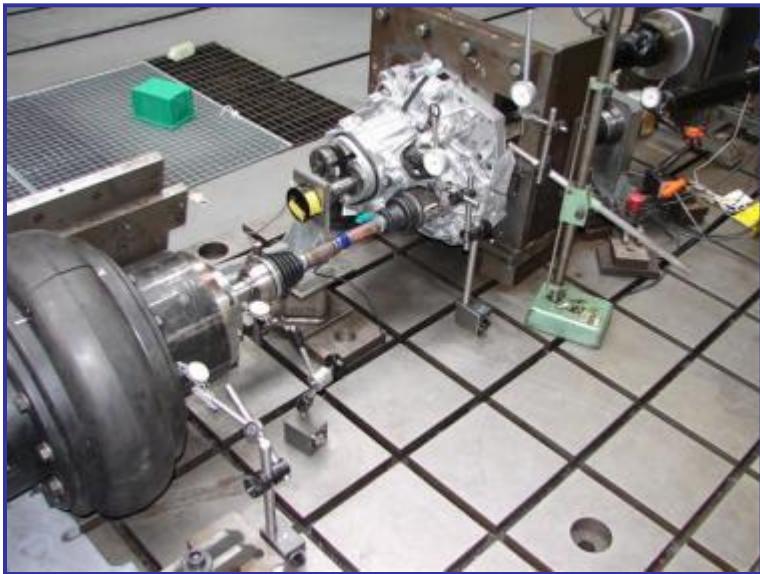


*Fig.2: Contactless torque sensor principle*

# Centre Technique des Industries Mécaniques

### ● Application de la mesure de couple

- Cahiers des charges industriels
- Moyens d'essais de caractérisation
- Miniaturisation et intégration de l'électronique



# Proposition

---

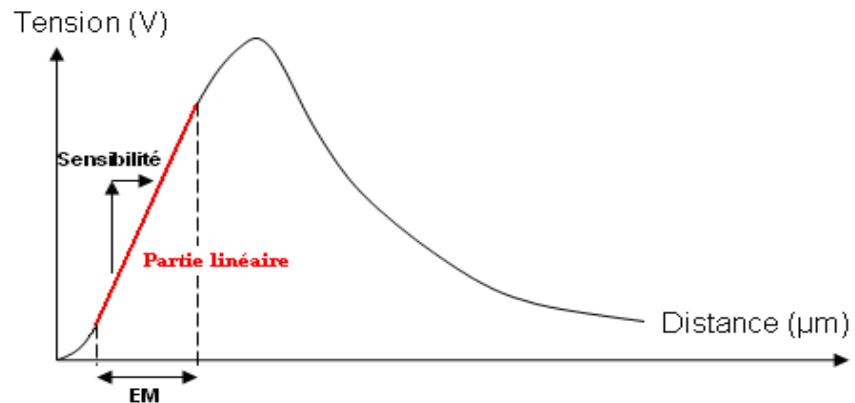
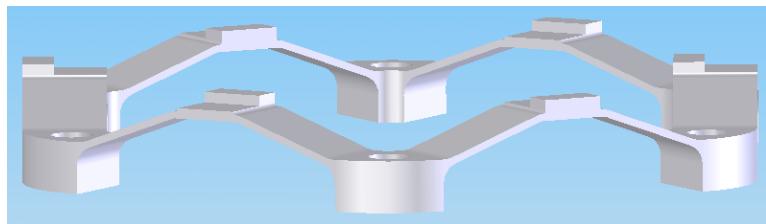
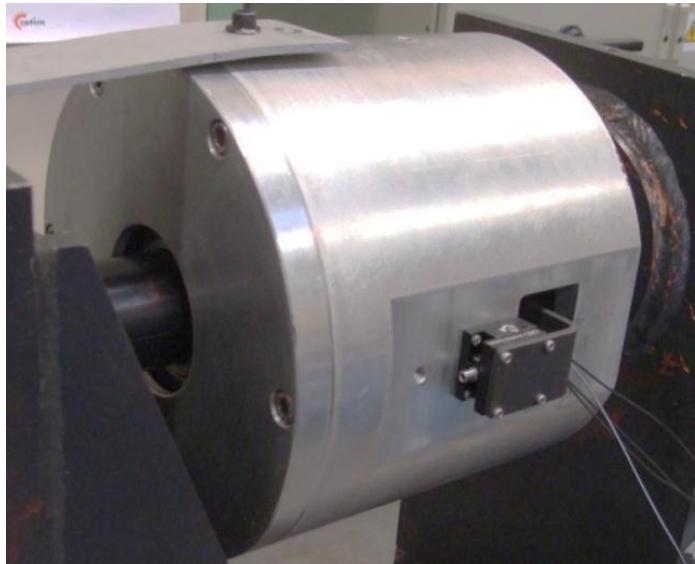
## ● Réalisation d'un capteur de couple à fibres optiques

- Conversion de la torsion d'un arbre en déplacement
- Mesure du déplacement
- Calcul de couple correspondant

## ● Avantages

- Mesure sans contact → pas de pertes d'énergie, pas d'usure
- Système non intrusif → fixé autour de l'arbre, raideur conservée
- Résolution importante → potentiel de très haute précision
- Principe de mesure simple → coût réduit

# Présentation du démonstrateur COTS



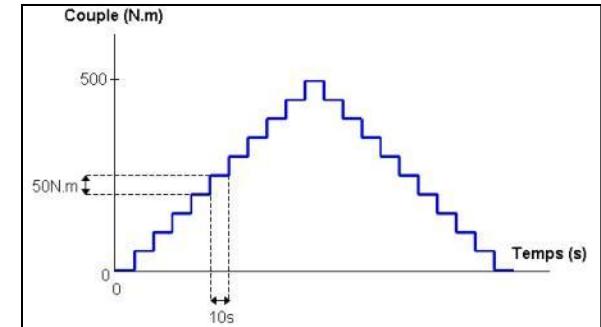
## Caractéristiques recherchées

<b>Couple</b>	<b>0 – 500 Nm</b>
<b>Vitesse</b>	<b>0 – 3000 Tr/min</b>
<b>Sensibilité</b>	<b>0.16 μm / Nm</b>
<b>Précision</b>	<b>+/- 1%</b>
<b>Encombrement</b>	<b>L = 146 mm / Ø = 144 mm</b>

# Conditions d'essais

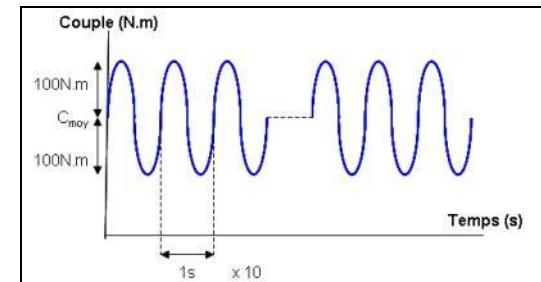
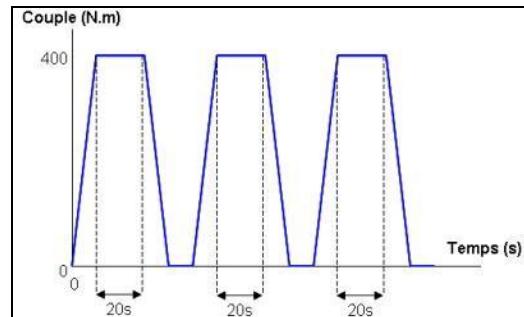
## ● Caractérisation quasi-statique :

- Vérifications des caractéristiques techniques
- Essais de calibration
- Suivi de consigne de couple sans rotation



## ● Caractérisation dynamique

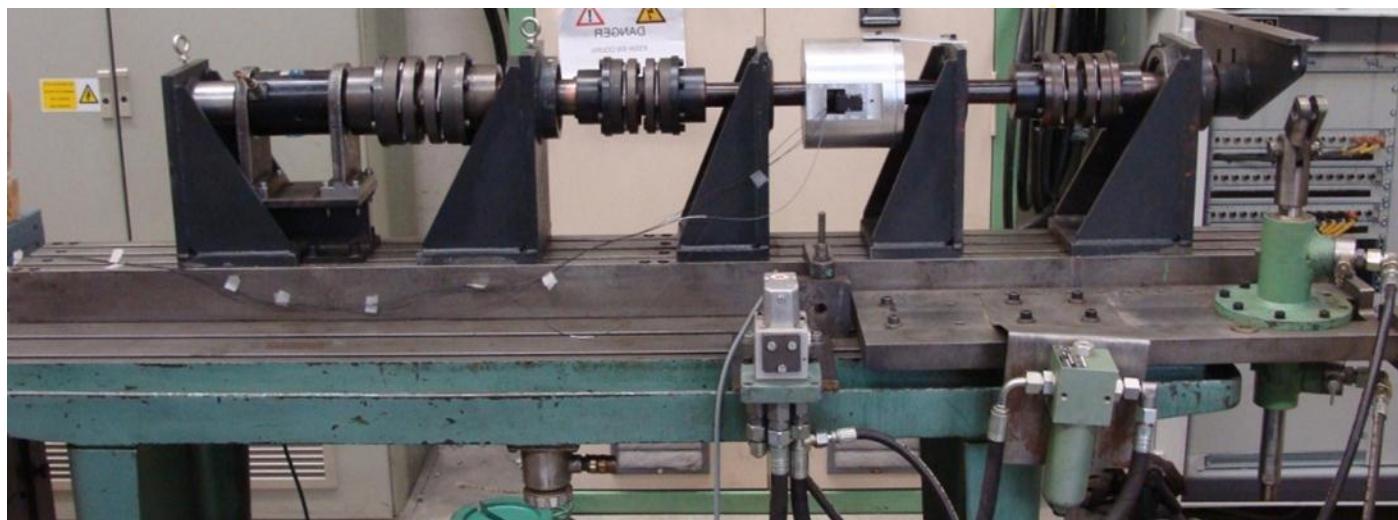
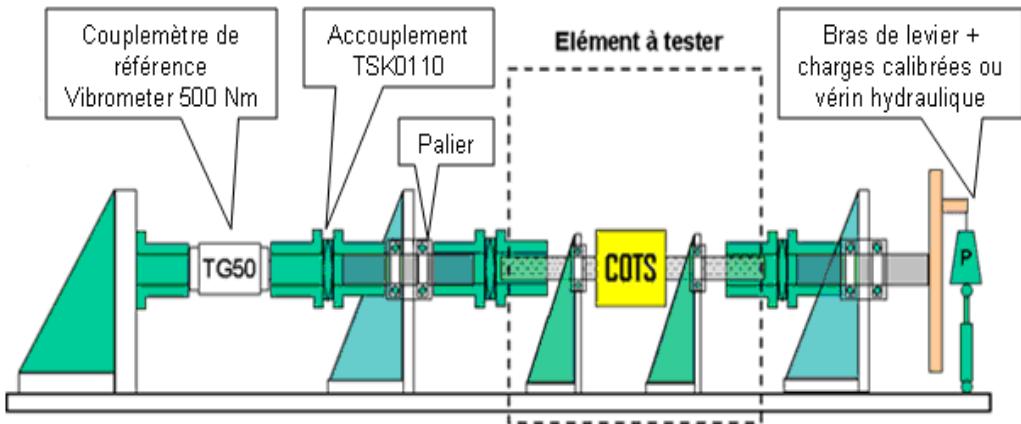
- Linéarité
- Chocs (Créneaux)
- Ondulations sinusoïdales
- Alternance couples positifs et négatifs
- Influence de la vitesse de rotation, des accélérations, du niveau de couple
- Réponse aux perturbations dans la ligne de transmission (engrènement)



# Moyens d'essais du capteur COTS

## ● Banc statique

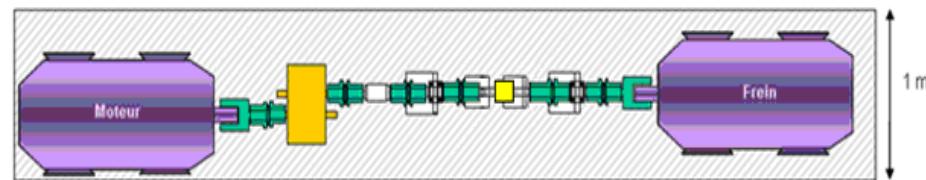
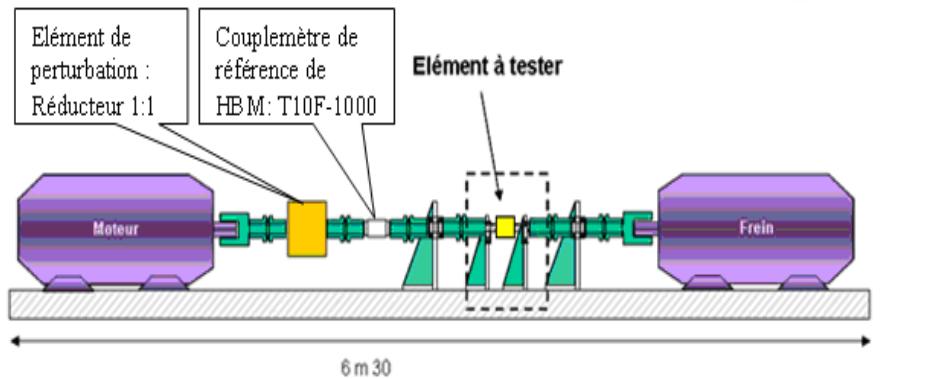
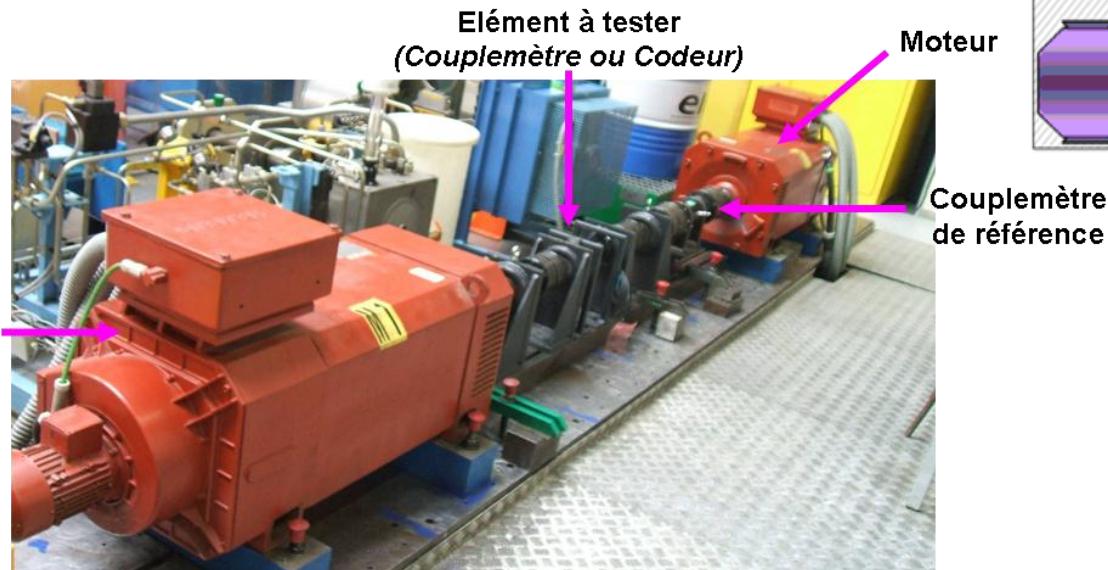
- Bras de levier + charges calibrées / vérin hydraulique
- Equerre de reprise de couple
- Capteur de référence Vibrometer TG50



# Moyens d'essais du capteur COTS

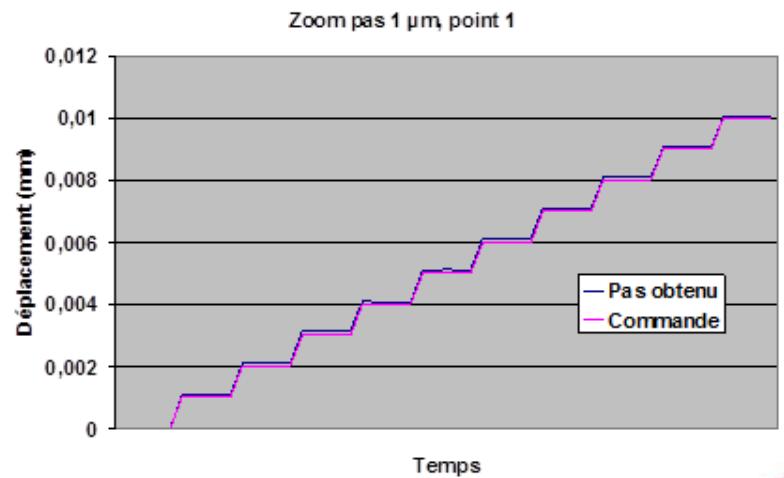
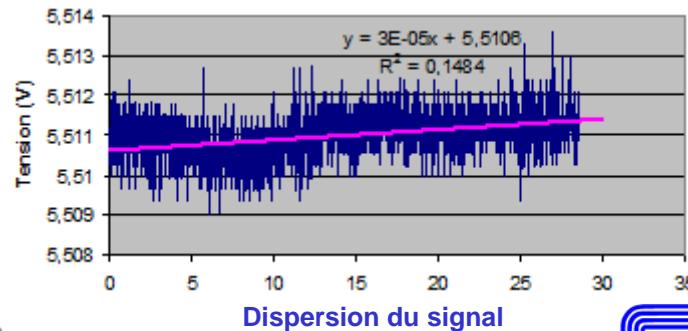
## ● Banc dynamique - 160kW

- Moteur d'entrainement en vitesse : 3000 tr/min
- Moteur de charge en couple : 500 Nm
- Capteur de référence HBM T10F-1000

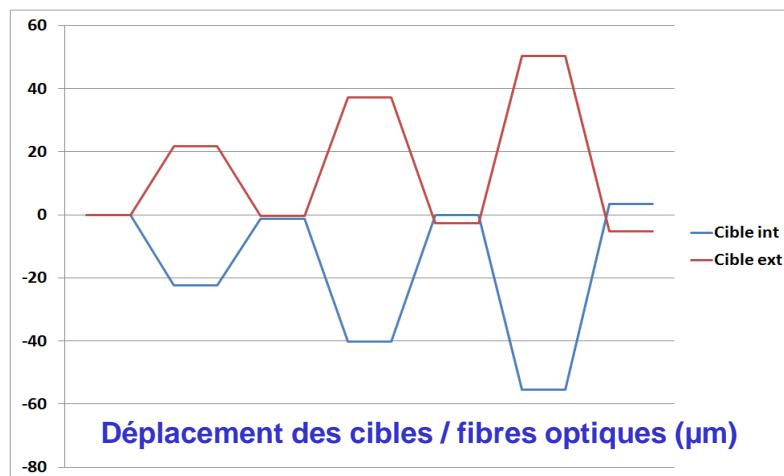
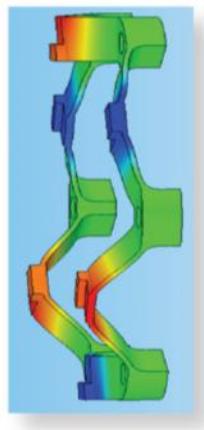
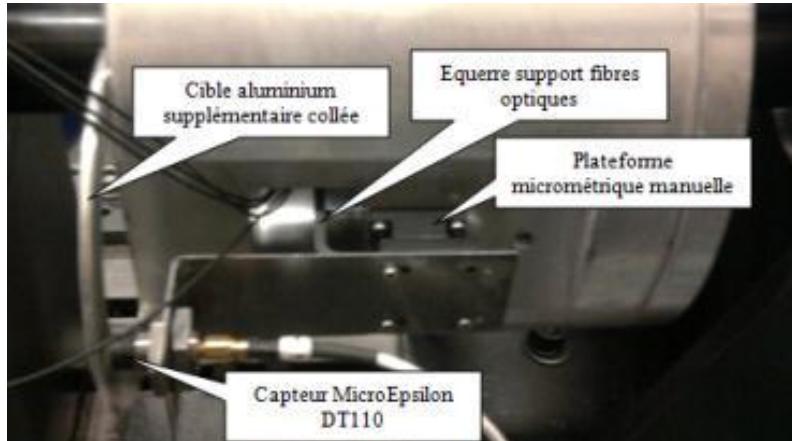


# Etalonnage du système optronique

- Résolution de l'ordre de 100 nm
- Caractéristique tension / distance
  - Etendue du domaine linéaire de 150  $\mu\text{m}$
  - Sensibilité du domaine linéaire entre 52 et 57 mV/ $\mu\text{m}$ , avec cibles polies à 1  $\mu\text{m}$
- Dispersion du signal
  - Amplitude maximale du bruit de l'ordre de 0,5 mV crête à crête
  - Pas d'influence de l'échauffement des composants électroniques sur la mesure



# Sensibilité du convertisseur

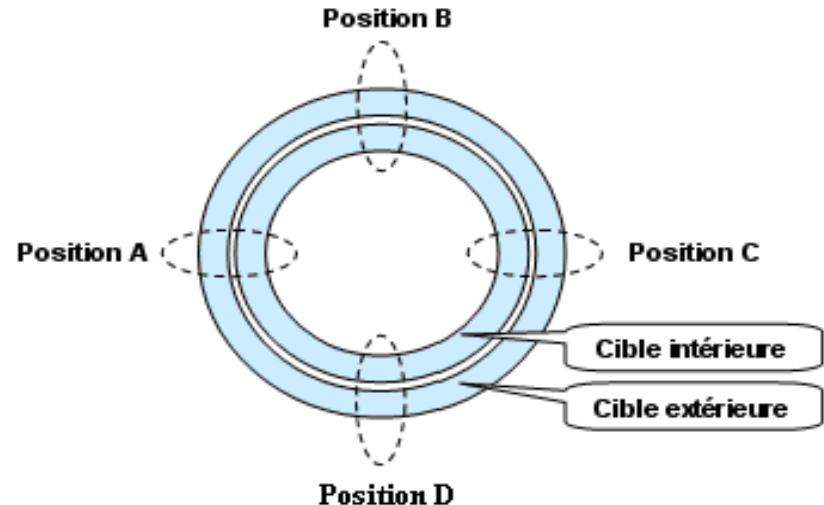


- Sensibilité moyenne d'environ  $0,11 \mu\text{m}/\text{Nm}$ , nettement inférieure à la sensibilité théorique égale à  $0,16 \mu\text{m}/\text{Nm}$ .
- La sensibilité est plus importante de  $0,1 \mu\text{m}/\text{Nm}$  sur la cible extérieure.
- Les différences peuvent être dues aux variations de température ou à l'anisotropie du matériau du convertisseur (prototypage rapide)

# Planéité des cibles

- Mode opératoire :

- Les fibres sont d'abord placées en position A. La distance cible/fibre est alors réglée et gardée fixe.
- Puis déplacement des fibres vers les positions B et C, par rotation du boîtier.
- Essai effectué dans le domaine linéaire.
- Aucun couple exercé.



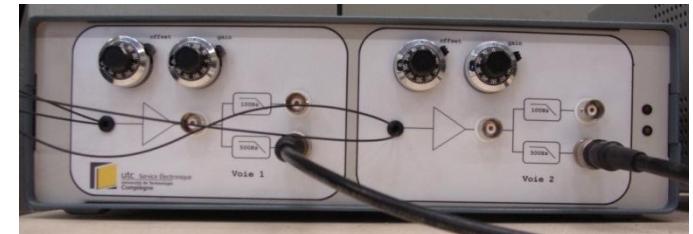
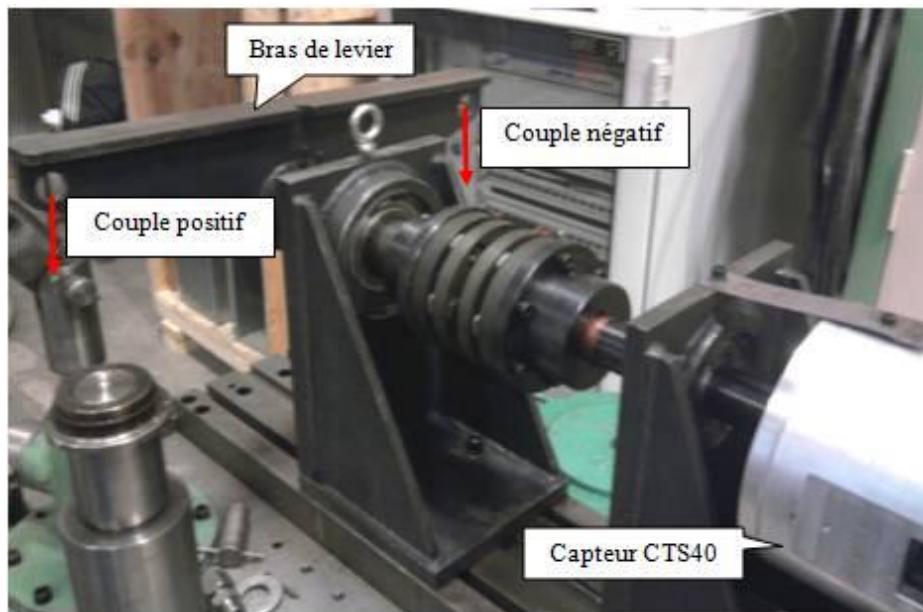
- Planéité initiale mesurée en laboratoire de 24,6  $\mu\text{m}$ .
- Défaut de planéité admissible théorique de +/- 4  $\mu\text{m}$  par cible. Ecart admissible entre les cibles théorique de +/- 2  $\mu\text{m}$
- Le collage des cibles sur le convertisseur aggrave le défaut de planéité, la mesure en rotation dans le domaine linéaire serait impossible à pleine échelle de couple.

# Calibration statique

- Mode opératoire :

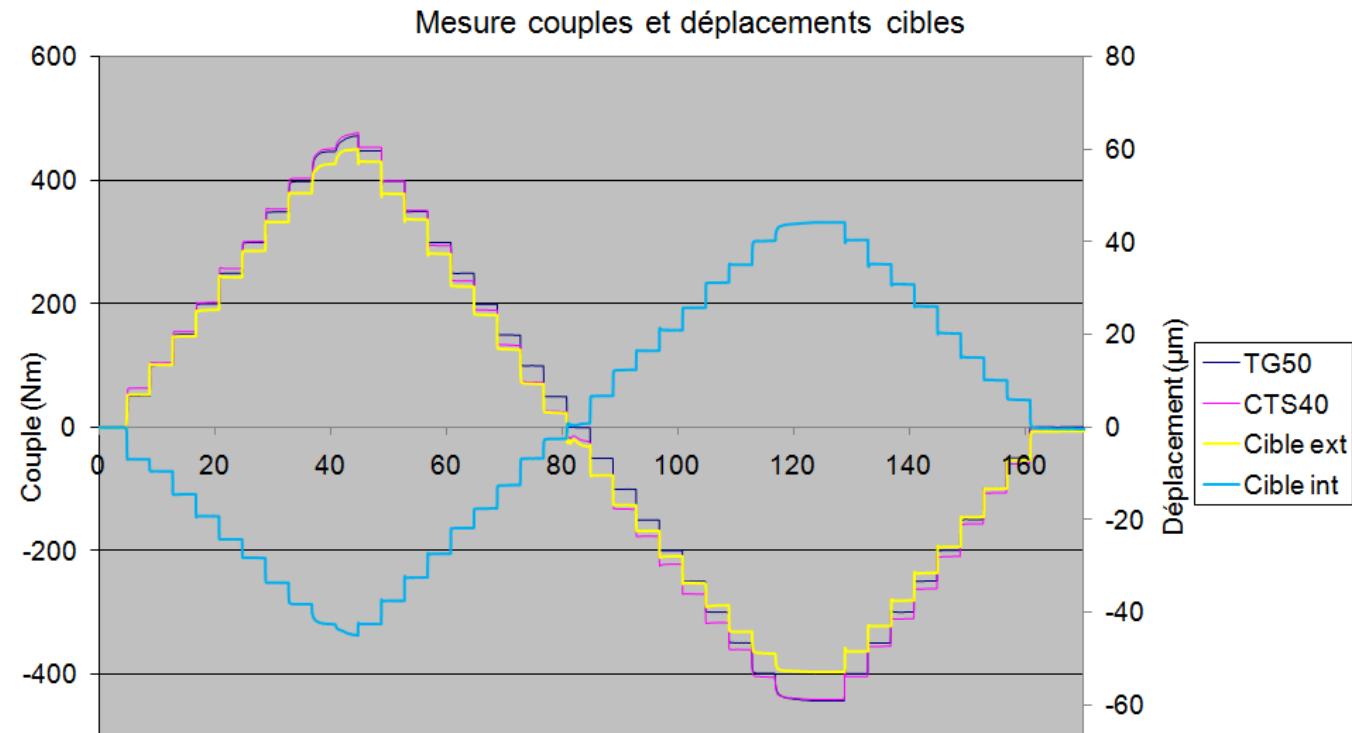
- La séquence de couple 0 / C1 / 0 / C2 / 0 / C3 est appliquée à l'aide de trois masses, avec:

- **C1 = 185 Nm**
- **C2 = 340 Nm**
- **C3 = 496 Nm**



# Essai de Pyramide de couple

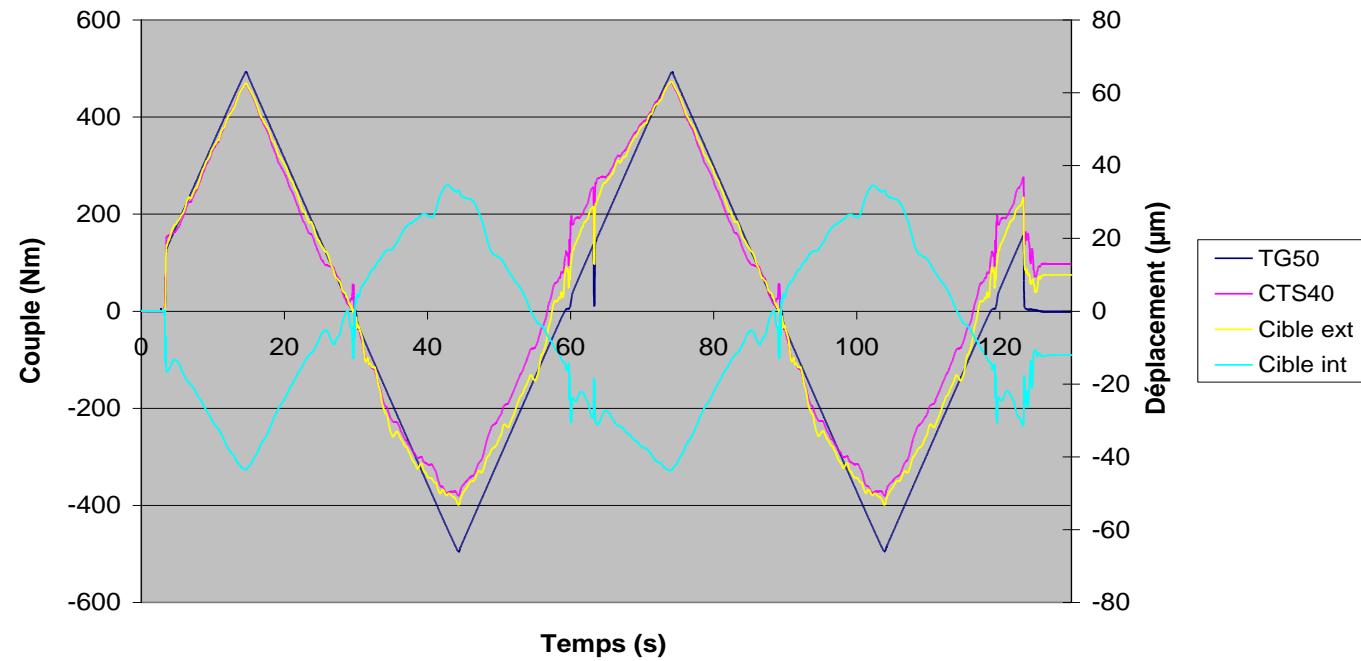
- $\Delta C$  initial important, diminue et se stabilise après le premier cycle de charge
- $\Delta C$  maximal de 20 Nm au palier à -100 Nm après stabilisation
- Caractéristiques de précision, linéarité et répétabilité non atteintes



# Essai de Rampes de charge et décharge

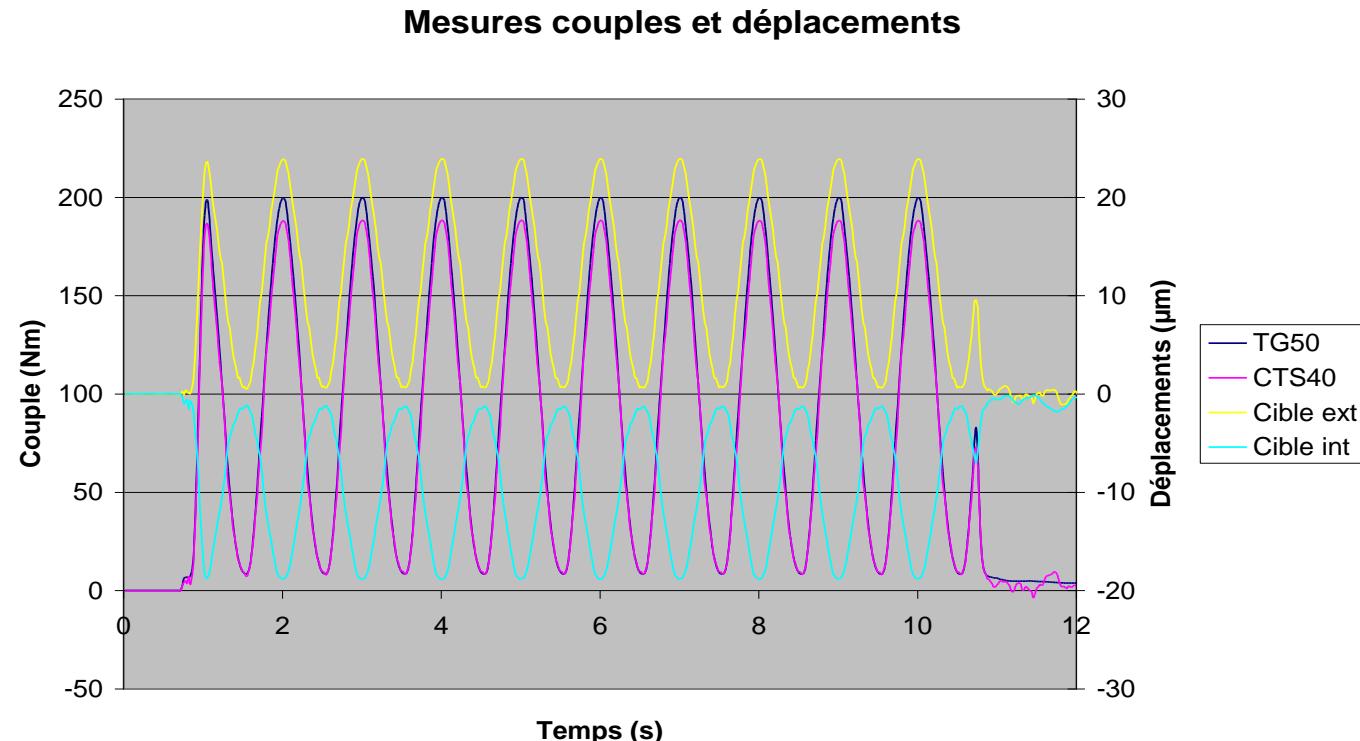
- $\Delta C$  Maximal de 150 Nm en chargement à - 500 Nm.
- Mise en évidence des défauts géométriques des cibles
- Mise en évidence de défauts de lecture du déplacement

**Mesures couples et déplacements cibles**



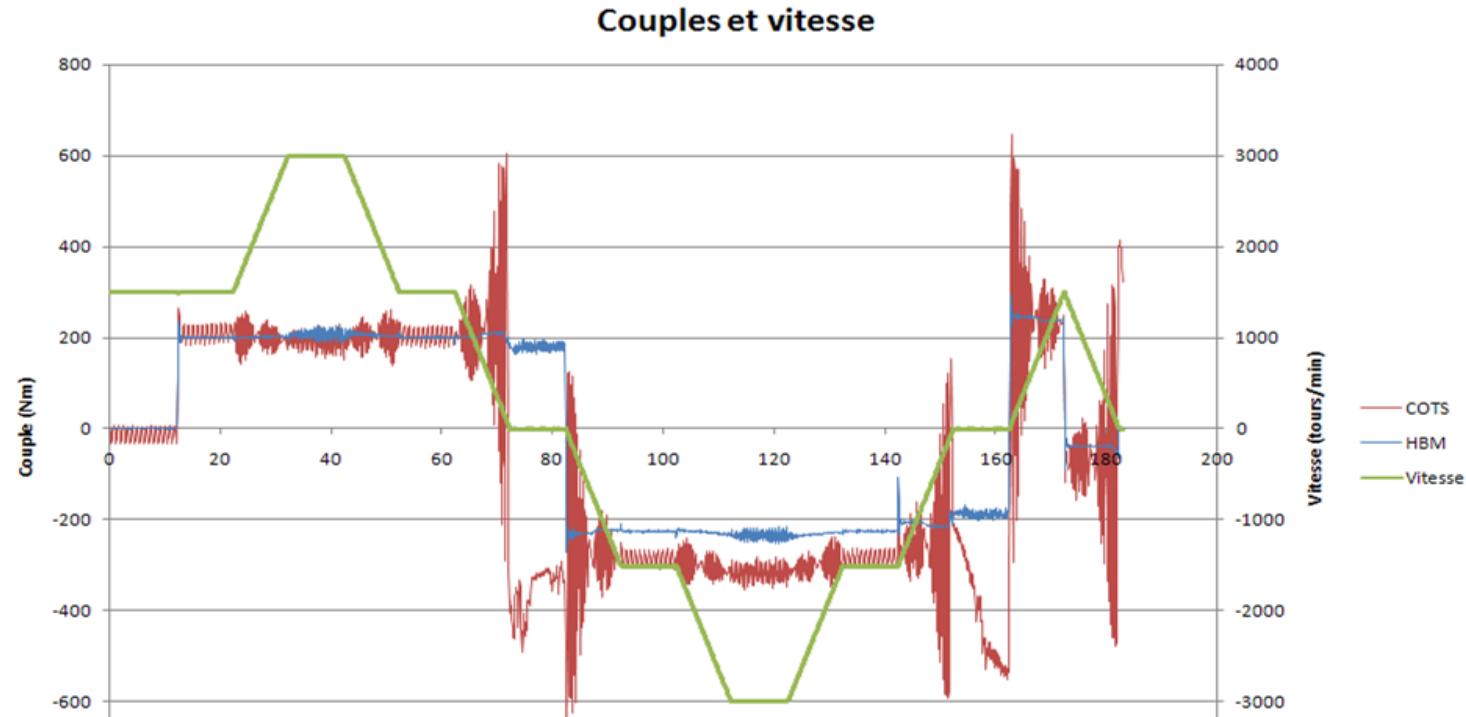
# Essai d'Ondulations de couple

- Ecarts de couples constatés équivalents à ceux trouvés lors des pyramides de couples
- Très bonne répétabilité de la mesure sur 10 cycles
- Suivi de consigne satisfaisant pour un couple oscillant à 1 Hz, d'amplitude 100 Nm.



# Essai de Variation de vitesse

- Pas d'impact de la vitesse de rotation sur la mesure de couple
- Influence notable des accélérations/décélérations
- Fort impact de l'arrêt en rotation ou du redémarrage



# Synthèse des travaux

Optronique	Précision satisfaisante Réflectivité des cibles à maîtriser
Convertisseur de torsion	Sensibilité satisfaisante mais instable en raison du matériau utilisé Assemblage insatisfaisant
Paliers statiques de couple	Bonne répétabilité
Rampe de couple	Linéarité correcte
Ondulations sinusoïdales	Suivi de consigne correct
Comportement dynamique	Influence du voile des cibles et des accélérations brusques

# Points durs à lever

- Capteur

- Adaptation de la plage de mesure
- Influence de la réflectivité de la zone de mesure
- Ajustement axial / Etalonnage

- Convertisseur de torsion

- Robustesse → Choix matériau / process
- Planéité / Etat de surface de la zone de mesure → Fabrication
- Battement axial (voile) des cibles → Assemblage

- Intégration système

- Résistance à l'environnement (humidité, vibrations...)
- Prix de revient de l'ensemble

# Conclusion sur le projet

- Concept de mesure de couple

- Nombreuses utilisations potentielles, y compris de haute précision
- Mesure insensible aux champs magnétiques, environnements explosifs et variations de température
- Faible consommation d'énergie
- Modularité importante de l'échelle de mesure (miniaturisation possible)

- Partenariat

- Compétences complémentaires
- Valorisation directe des travaux de recherche dans l'industrie
- Référentiels de travail différents (objectifs, unités temporelles...)

- Perspectives

- Recherche d'une application cible
- Recherche d'un cadre de financement de la suite des travaux

# **MERCI DE VOTRE ATTENTION**

## **QUESTIONS / REPONSES**