Etude des pertes par trainée et des transferts thermiques au sein de paliers à éléments roulants

Journée des doctorants – Mercredi 18 Janvier 2023

Florian de Cadier de Veauce

LaMCoS UMR 5259
LabECAM CENTRE DE RECHERCHE
CARNOT
cetim
NTN

Contexte de la thèse

Environnement de la thèse

Christophe Changenet
Yann Marchesse

Fabrice Ville

Luc Amar

Charlotte Fossier

Thèse CIFRE
Début 01/06/2021

Précédents travaux

- Laboratoire commun TRANSMECA entre le Cetim, le LaMCoS (INSA Lyon) et le LabECAM (ECAM LaSalle).
- Précédentes thèses sur le comportement thermique de réducteurs et de roulements :
  - Neurouth, A. (2016). *Etude de la Performance Energétique d'une Transmission Mécanique*. INSA Lyon.
  - Niel, D. (2019). *Etude du comportement thermomécanique de paliers à roulements pour une application hautes vitesses.* INSA Lyon.

Problématiques liées aux roulements et aux pertes

- Electrification des véhicules.
- Vitesses de rotations plus élevées, augmentation des pertes et échauffements
- En dehors des modèles classiques (haute vitesse).

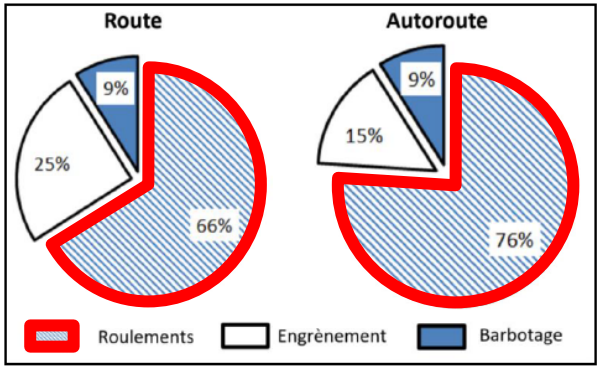
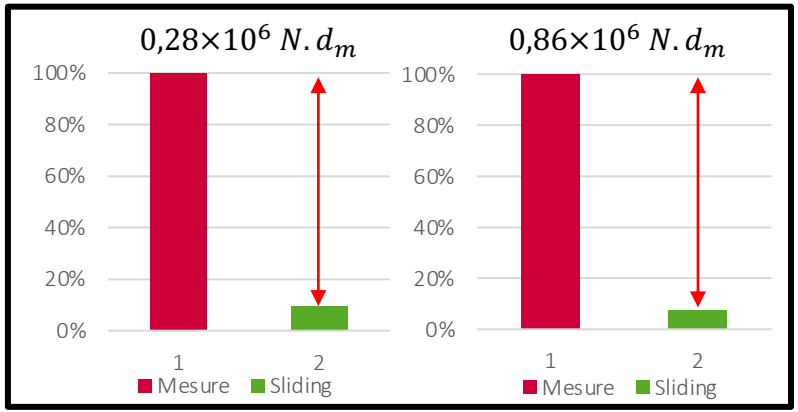


Figure 3: Répartition des pertes de puissance du réducteur hautes vitesses[4]
Neurouth, A. (2016). *Etude de la Performance Énergétique d'une Transmission Mécanique*. INSA-Lyon.

Une part importante des pertes d'un réducteur vient des **roulements**, surtout à **haute vitesse**.

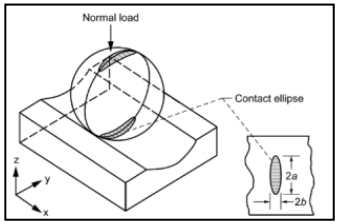


Pertes dépendantes de la charge par rapport aux pertes mesurées.
À partir d'essais peu chargés, réalisés sur le banc roulement du LabECAM

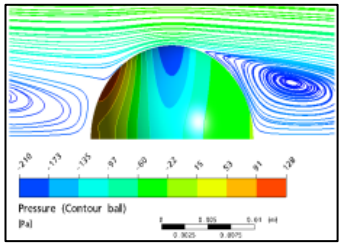
Parmi ces pertes, **le frottement (sliding) ne suffit pas** pour expliquer les pertes totales mesurées. Le reste vient donc de **pertes indépendantes de la charge**, mal expliqué par les modèles actuels.

Les différentes sources de pertes

- Pertes par frottement aux contacts billes/bagues (Sliding)
  - Dues au roulement et glissement.

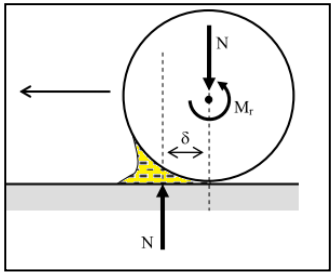


- Pertes par trainée aérodynamique (Drag)
  - Dues au déplacement des éléments roulants dans un fluide, pertes importantes à hautes vitesses, **négligeables à faibles vitesses**.



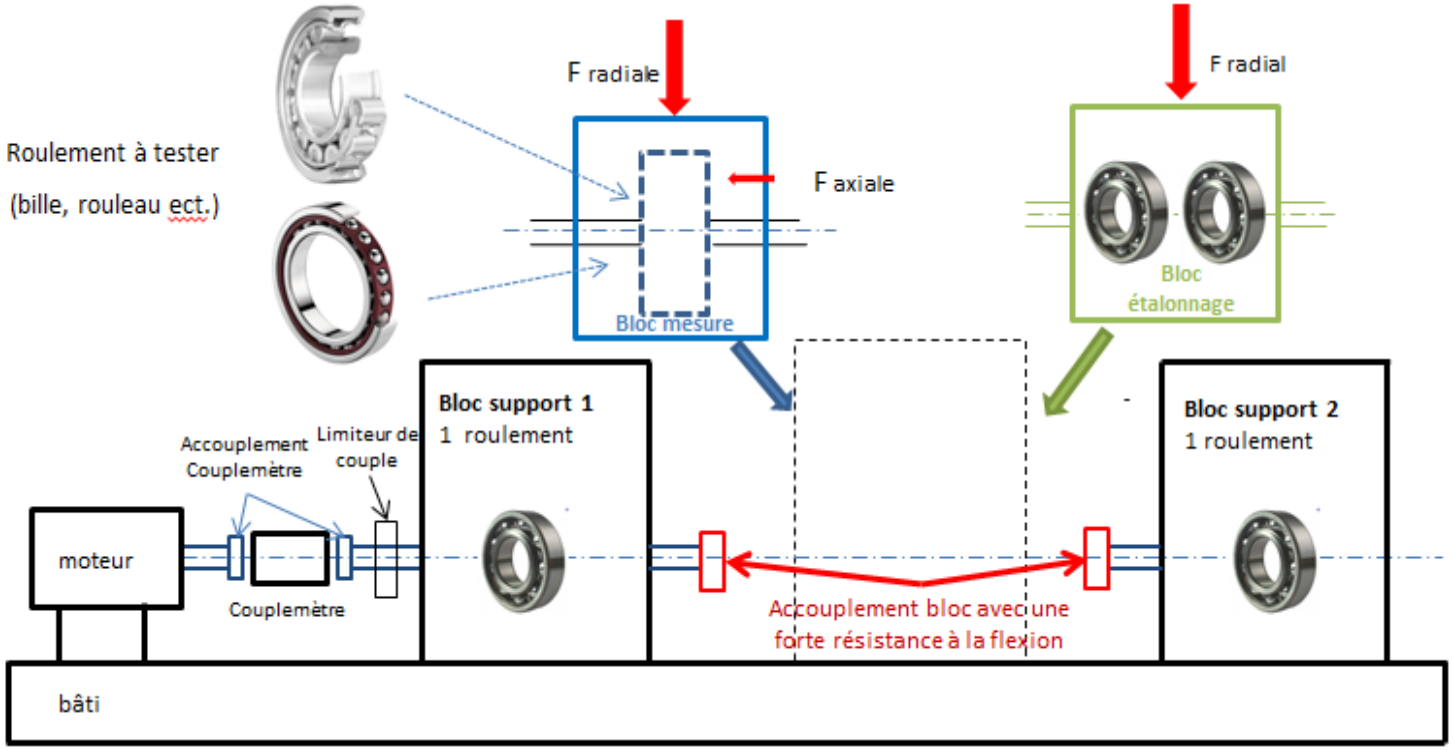
- Pertes par frottement avec la cage
  - Si on suppose que les jeux sont gavés d'huile, ces pertes sont généralement **négligeables**.

- Pertes par roulement hydrodynamique (Rolling)
  - Lié à la prise de pression dans le convergent.



Le banc d’essais

Banc roulement



Niel, D. (2019). *Etude du comportement thermomécanique de paliers à roulements pour une application hautes vitesses*. INSA Lyon.

Banc roulement

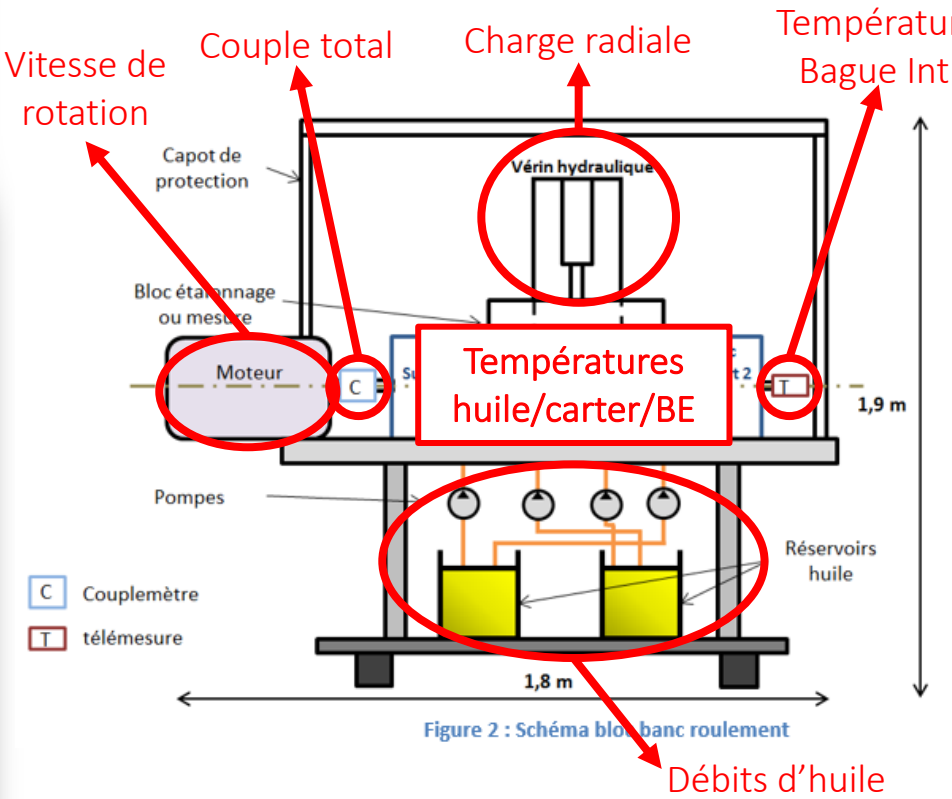


Figure 2 : Schéma bloc banc roulement

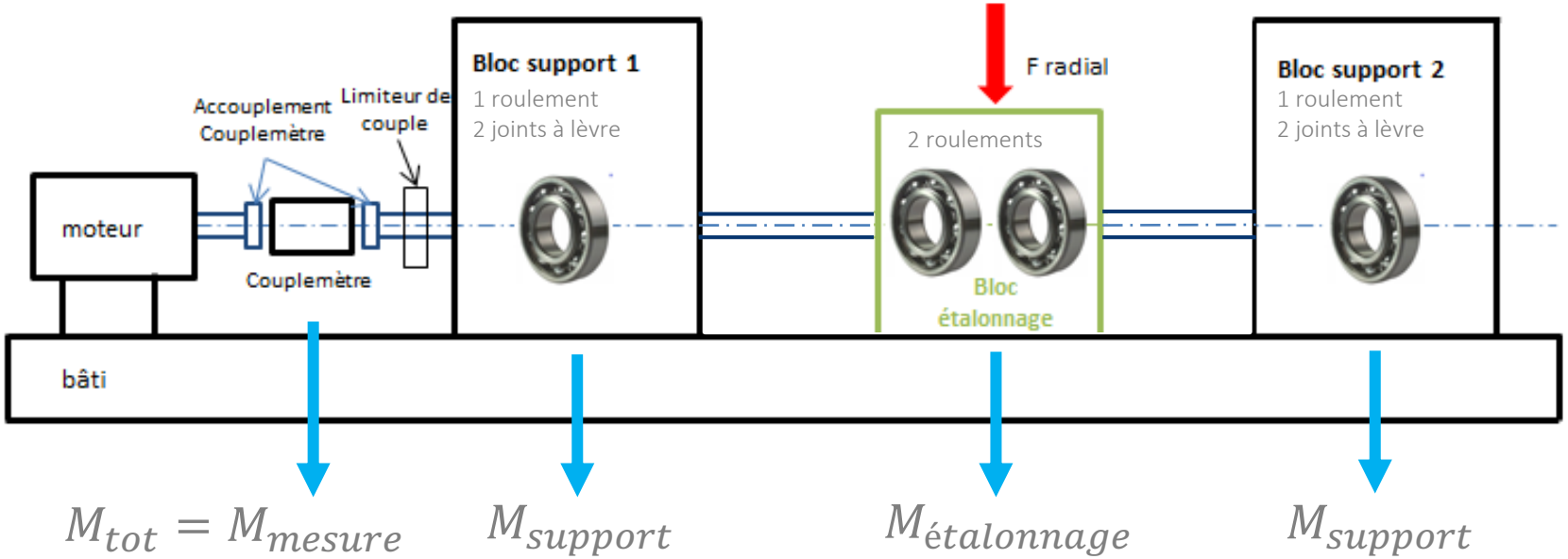
Niel, D. (2019). *Etude du comportement thermomécanique de paliers à roulements pour une application hautes vitesses*. INSA Lyon.

Caractéristiques du banc d'essais

- les principales mesures effectuées :
  - Couple de perte d'un palier à roulement.
  - Températures sur des parties fixes (carters, bagues extérieures) et mobiles (bagues intérieures, arbre)
  - Vitesse de rotation de l'arbre.
  - Niveau d'huile (barbotage) ou débit d'huile (injection).
  - Charge radiale et/ou axiale appliquée sur le roulement.

Caractéristiques	Valeur
Puissance moteur	10 kW
Plage de vitesse	[0-18 000 tr/min]
Charge radiale maximale	12 kN
Charge axiale maximale	5 kN
$\phi_{extérieur\ max}$	180 mm
$\phi_{intérieur\ min}$	50 mm

Principe pour l'étalonnage



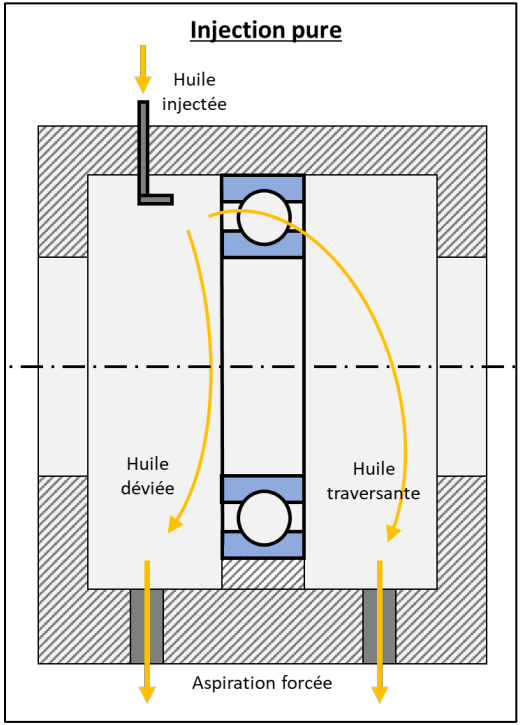
$$M_{mesure} = 2\,M_{support} + M_{étalonnage}$$

Etalonnage en vitesse, charge radiale et température

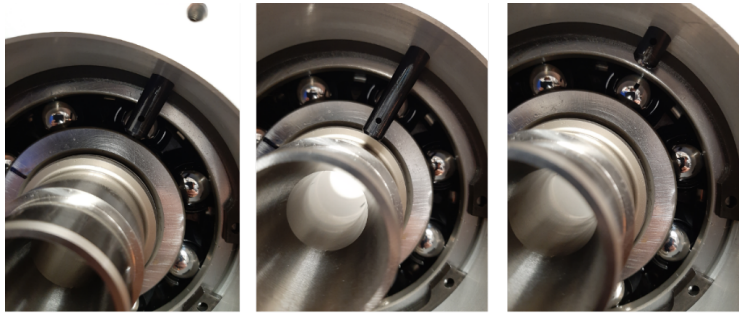
Résultats et comparaison avec le modèle

Essais en injection

- 2 charges radiales (1000 N et 3000 N)
- 5 vitesses (3200 tr/min à 9700 tr/min)
- 2 débits d'huiles (15 l/h – 250 ml/min et 35 l/h – 583 ml/min)
- 2 températures d'injection (25°C et 60°C)
- 3 positions de buses (BE, BI, ER)



3 positions de buses



Modèle de perte globale : Harris

$$M_0 = 10^{-7}\, f_0\, (n\, \nu)^{0,66}\, d_m^3$$
$$M_1 = f_1\, F\, d_m$$

Pour des roulements à billes à gorge profonde, f_0 est constant et vaut 4 selon Harris. Une valeur de 2 est utilisé dans la littérature et ici.

2 roulements testés :

RImt. A fourni par NTN et testé en injection et barbotage.
RImt. B fourni par le labo et testé dans le cadre d'une autre thèse.

Paramètre	RImt. A	RImt. B
Diamètre int. (mm)	55	50
Diamètre ext. (mm)	120	90
Diamètre moy. (mm)	**87.5**	**70**
Nombre de billes	8	10
Diamètre des billes (mm)	**20.6**	**12.7**

Pour $\boldsymbol{n\,\nu > 2000}$

Avec :

M_0 : couple de dissipation indépendant de la charge (N.mm)

M_1 : couple de dissipation dépendant de la charge (N.mm)

ν : viscosité cinématique (cSt)

n : vitesse de rotation (tr/min)

d_m : diamètre moyen (mm)

F : charge (N)

Harris, T. A. (2001). Rolling Bearing Analysis. John Wiley & Sons.

Comparaison expérience et modèle

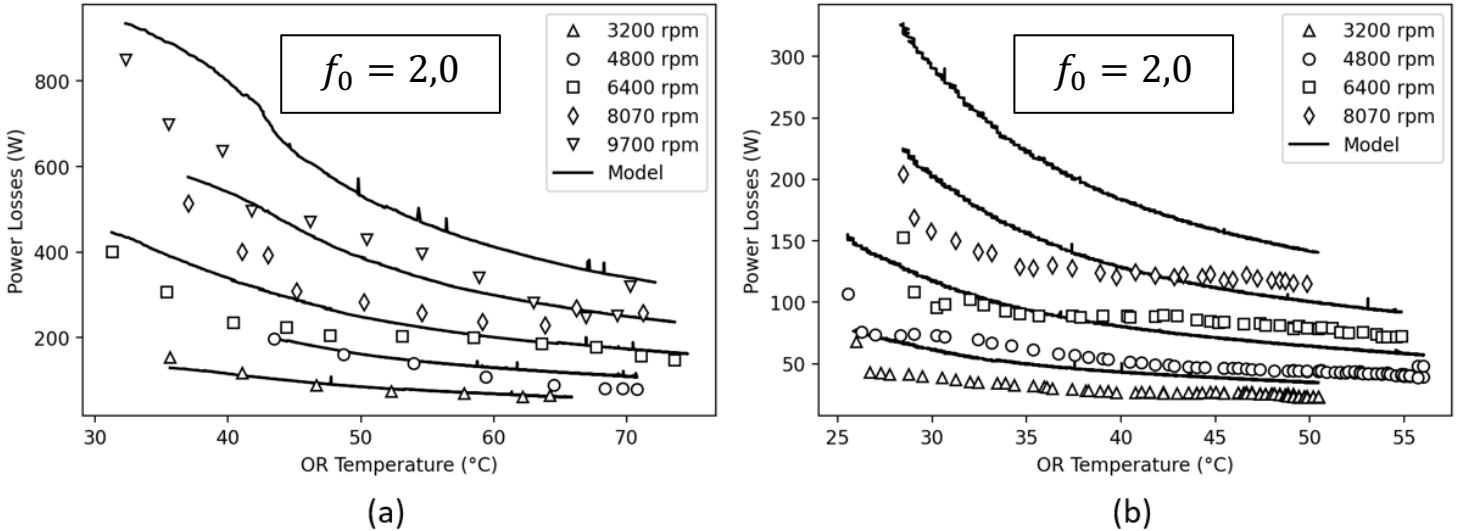


Figure 3 : Comparaison des pertes mesurées avec le modèle de Harris (f_0=2) en fonction de la température de la BE et pour différentes vitesses. Pour le roulement A (a) le roulement B (b).

Ecart relatif moyen	Roulement A	Roulement B
f_0 Harris = 2	+19 %	+46 %

Valeur de f_0 trop élevée ?
Quelles valeurs optimales ?

Comparaison expérience et modèle

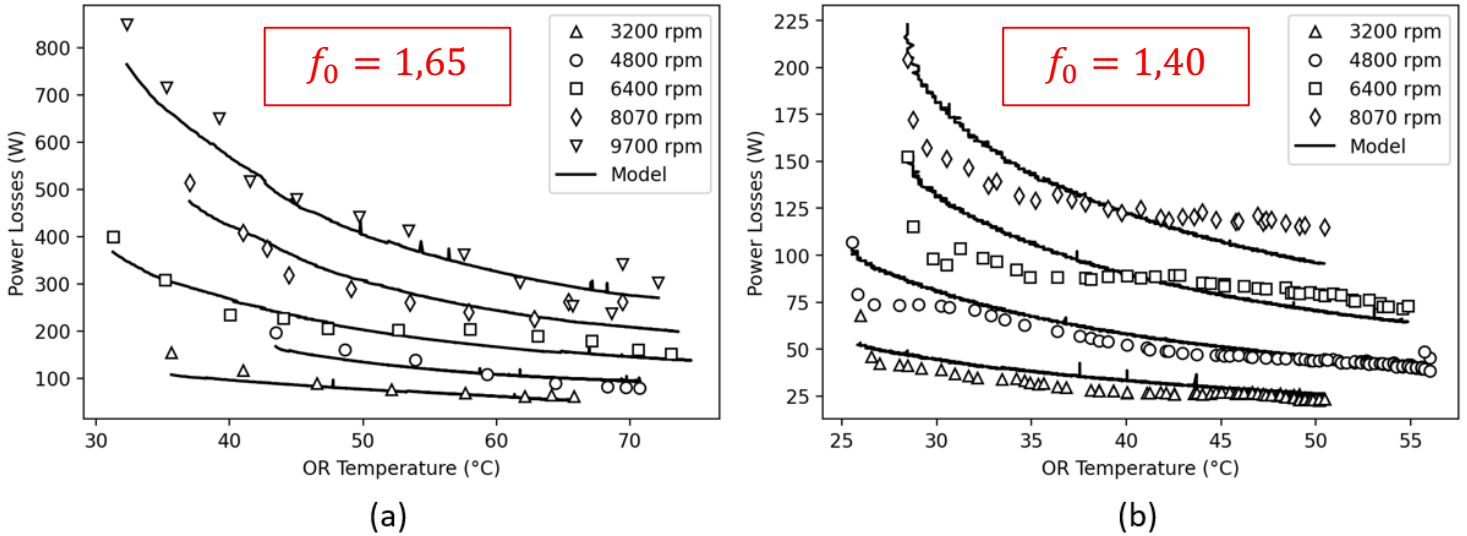


Figure 4 : Comparaison des pertes mesurées avec le modèle de Harris ajusté pour différentes vitesses. Pour le roulement A avec f_0=1.65 (a) le roulement B avec f_0=1.4 (b).

Ecart relatif moyen	Roulement A	Roulement B
f_0 Harris = 2	+19 %	+46 %
f_0 modifié = 1,65 & 1,40	+11%	+10%

f_0 semble **dépendre des dimensions** du roulement, contrairement à ce que donne Harris.

Futurs travaux et exploitation des résultats

Futurs travaux et pistes de reflexions

- Expérimentation et analyse des pertes en barbotage.
- Tester un roulement plus petit en injection et en barbotage.
- Tester un nouveau mode de lubrification mixte.

Valorisation et exploitation par le Cetim

- **Valorisation :**
  - Etudes sur d'autres roulements et modes de lubrification, plus proche de l'application automobile
  - Décomposition numérique et expérimentale des pertes aérodynamiques d'un roulement à billes à haute vitesse.

- **Exploitation :**
  - Fournir des éléments d'argumentation sur des projets de normalisation sur la thermique des transmissions, ISO/TR 14179.
  - Les résultats de cette thèse seront réutilisés dans le cadre de la chaire industrielle de recherche en cours de finalisation « THESEE » (CETIM, VALEO, NTN-SNR, ECAM, INSA) pour la modélisation thermique et énergétique d'un moteur électrique automobile et d'un eDrive (moteur électrique + transmission).

Merci pour votre attention

Journée des doctorants – Mercredi 18 Janvier 2023

Florian de Cadier de Veauce

LaMCoS UMR 5259
LabECAM CENTRE DE RECHERCHE
CARNOT
cetim
NTN