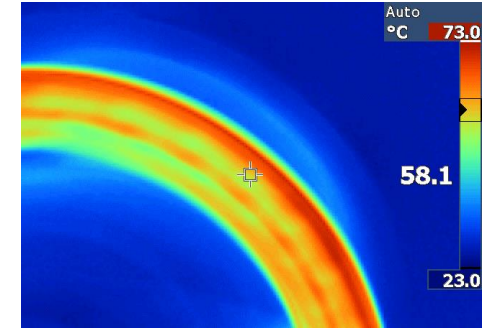


Modélisation de la dissipation de chaleur d'un disque de vélo



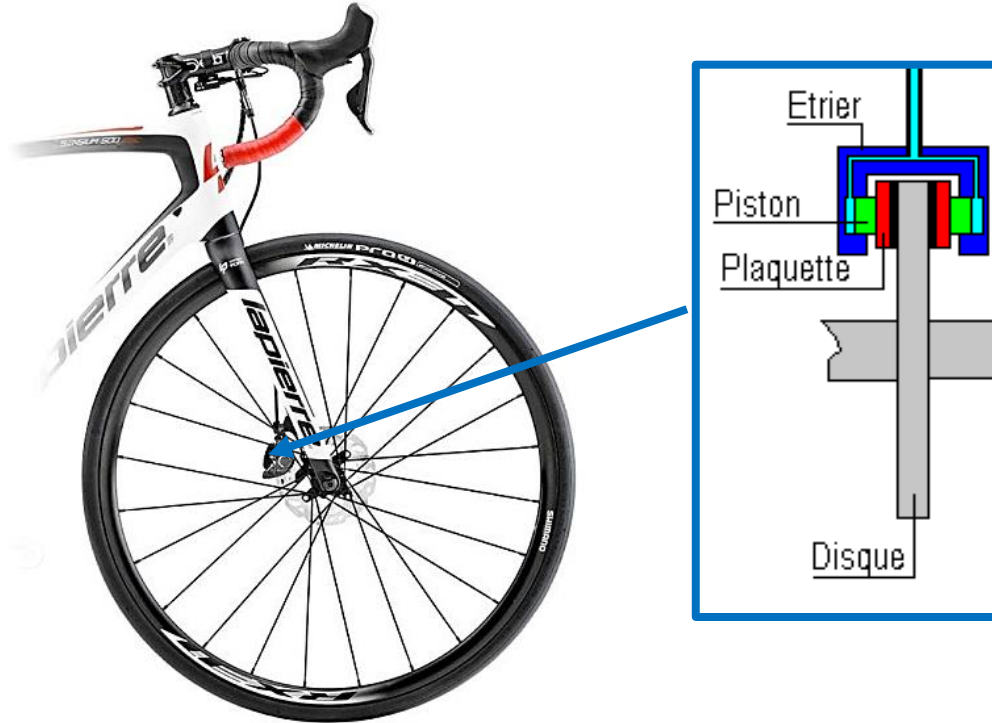
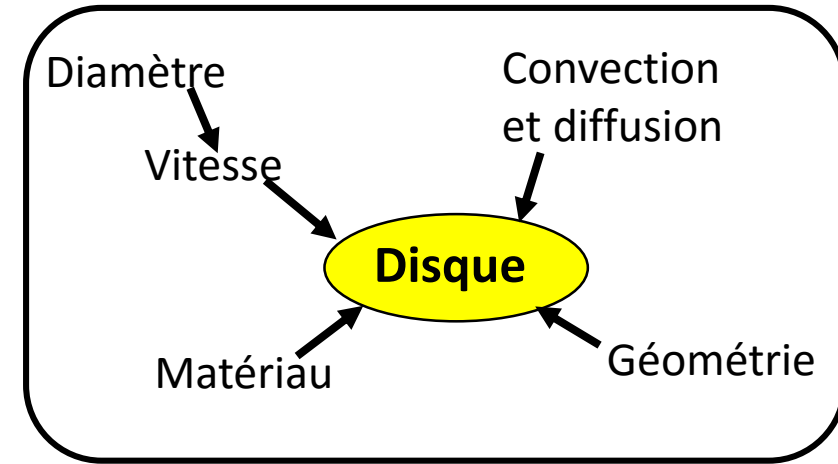
Introduction

- I. Modélisation et validation expérimentale du disque
- II. Modélisation et expérimentation du refroidissement du disque
- III. Discussion des résultats et améliorations

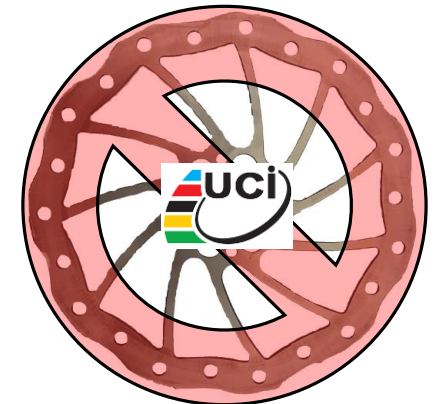
Conclusion

Introduction

- Motivation personnelle: Passionné de **cyclisme**
- Faits d'actualité: Blessures dont **brûlures** dans le peloton professionnel, arrêt d'utilisation en course depuis Avril 2016 après une période d'essai de 3 mois
- Rapport avec le thème: Aspect thermique du **refroidissement** en fonction de différents facteurs (diamètre des disques, vitesses de rotation du disque, composition du disque)

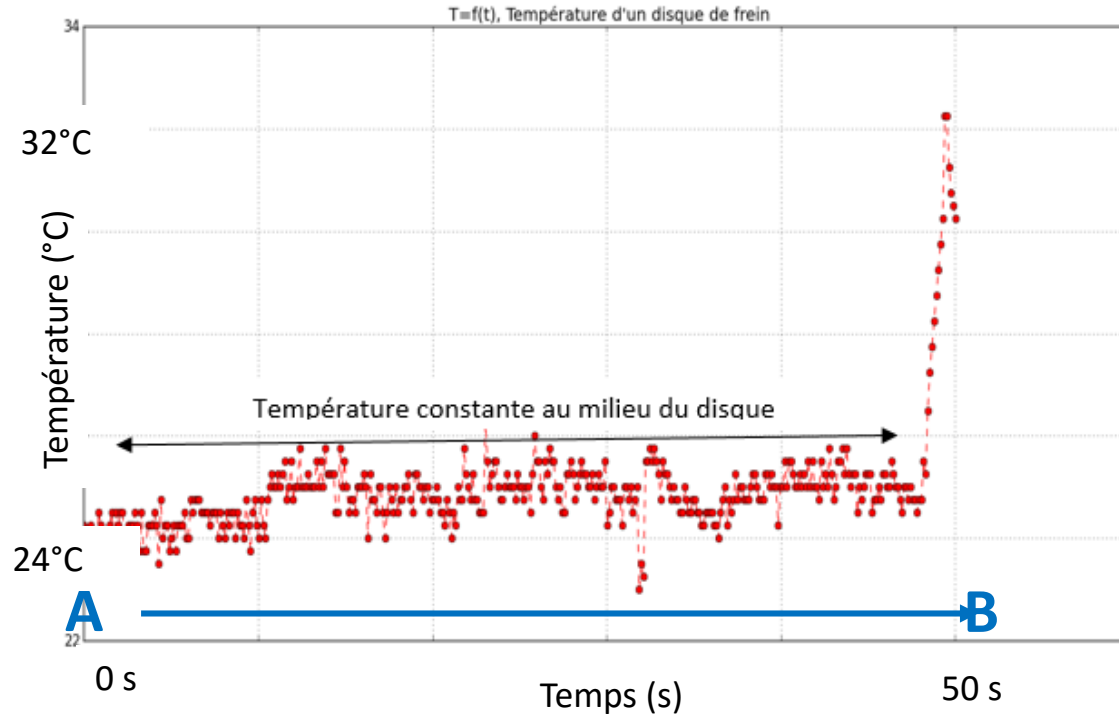
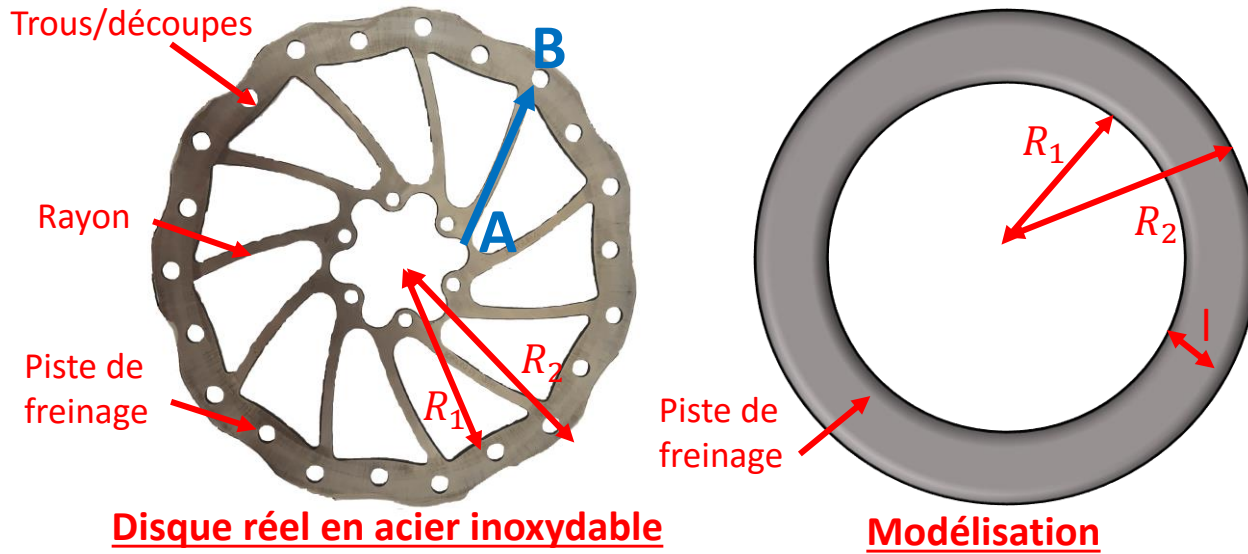


Vélo de route	Diamètre (mm)
Roue	611
Disque	140



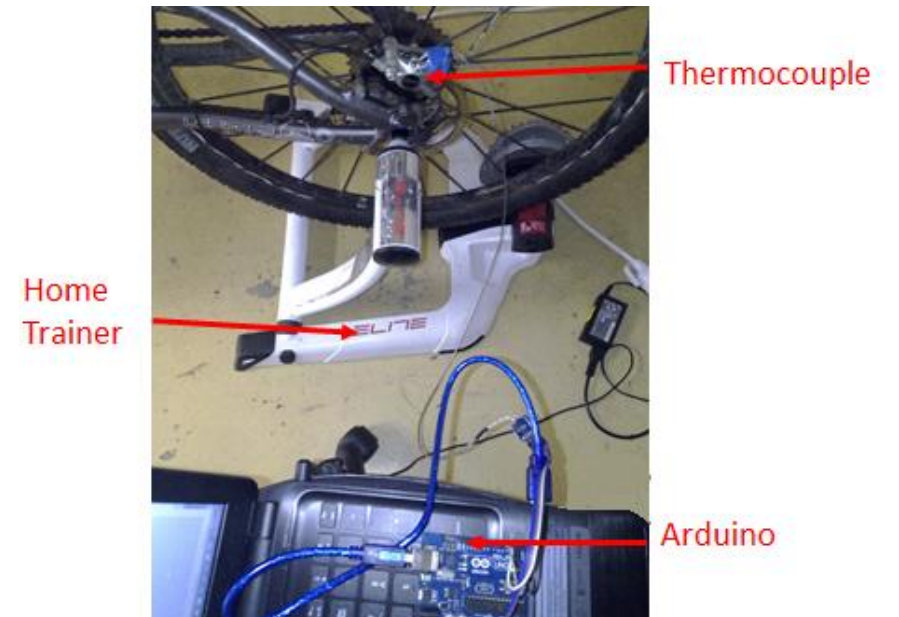
Disque sur vélo de route

I) Modélisation et validation expérimentale du disque



Paramètres	Disque 140 mm	Disque 180mm
R_1 (mm)	70	90
R_2 (mm)	55	75
Epaisseur e (mm)	2	2
Largeur de piste (mm)	15	15

- Banc d'essai: Home Trainer + vélo
- Capteur: Sonde thermocouple + convertisseur numérique MAX6675 (résolution de 0,25°C, plage: 0°C-1080°C)
- Système d'acquisition: Arduino Uno + PC
- Programme: Acquisition (langage Arduino), Traitement(langage Python)



II) Modélisation et expérimentation des échanges de chaleur dans le disque

II)1) Modélisation

Flux frottement → **Disque** → Flux convectif

1. Obtention de l'équation différentielle

- 1° principe thermodynamique au système {Disque}

$$dE_p + dE_c + dU = W_p + W^* + Q$$

$$\Rightarrow \frac{dT}{dt} = \frac{-h \times dT \times S}{Cth} - \frac{m \times V^2}{2 \times Cth \times dt}$$

- Validation du modèle avec convection pour un disque de **140mm** en acier inoxydable et une vitesse de **20km/h**

$$\text{Nombre de Péclet thermique} = Pe = \frac{\|j_{conv}\|}{\|j_{diff}\|} = \frac{L \times v}{\alpha} = 1,5 \times 10^5 \gg 1$$

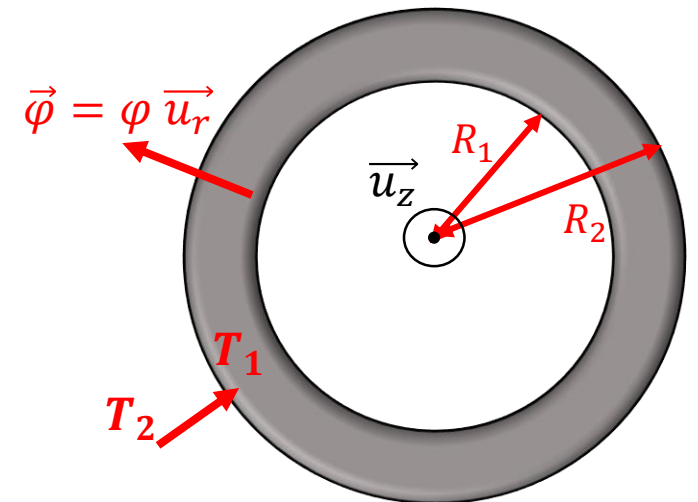
avec $\alpha = \frac{\lambda}{\rho \times cth}$ [m^2/s] (diffusivité thermique), L [m] (longueur caractéristique), v [m/s] (vitesse)

- Résistance thermique en géométrie cylindrique

Hypothèses: conservation du flux φ , loi de Fourier, loi de Newton

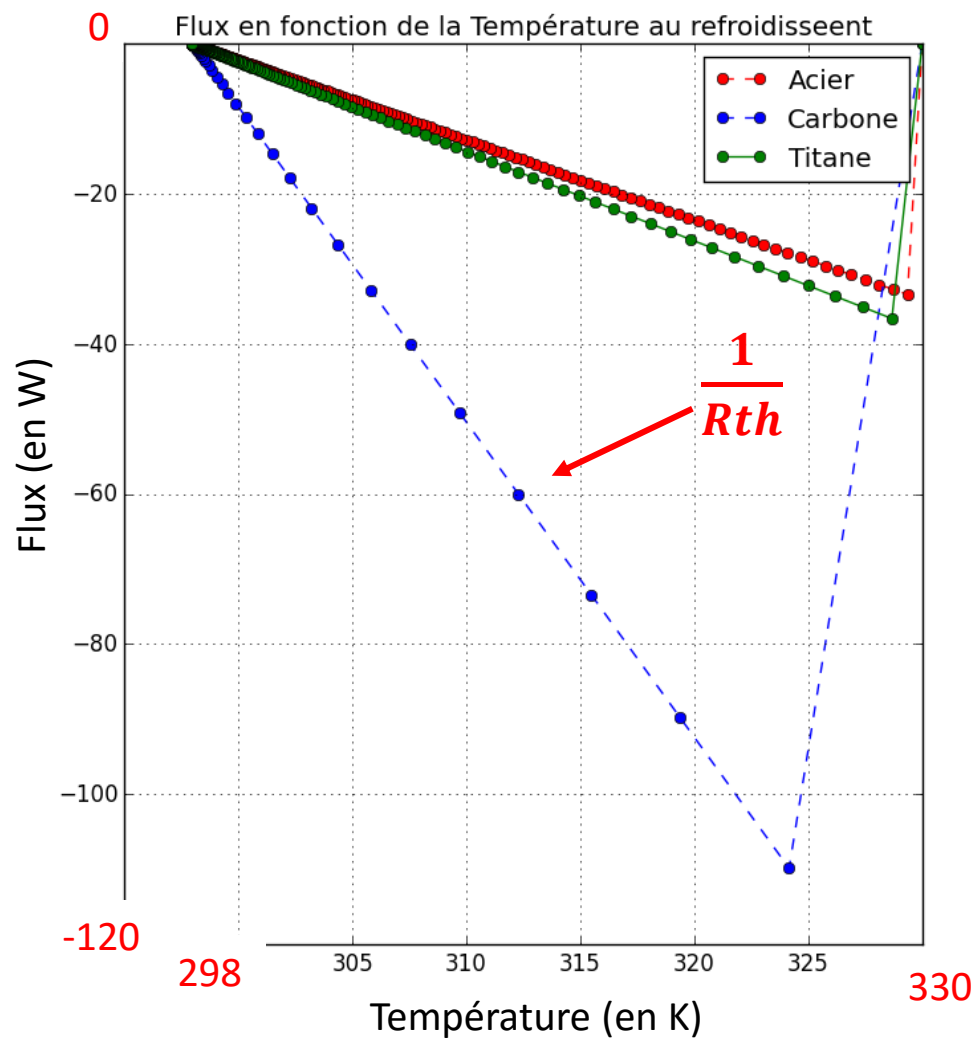
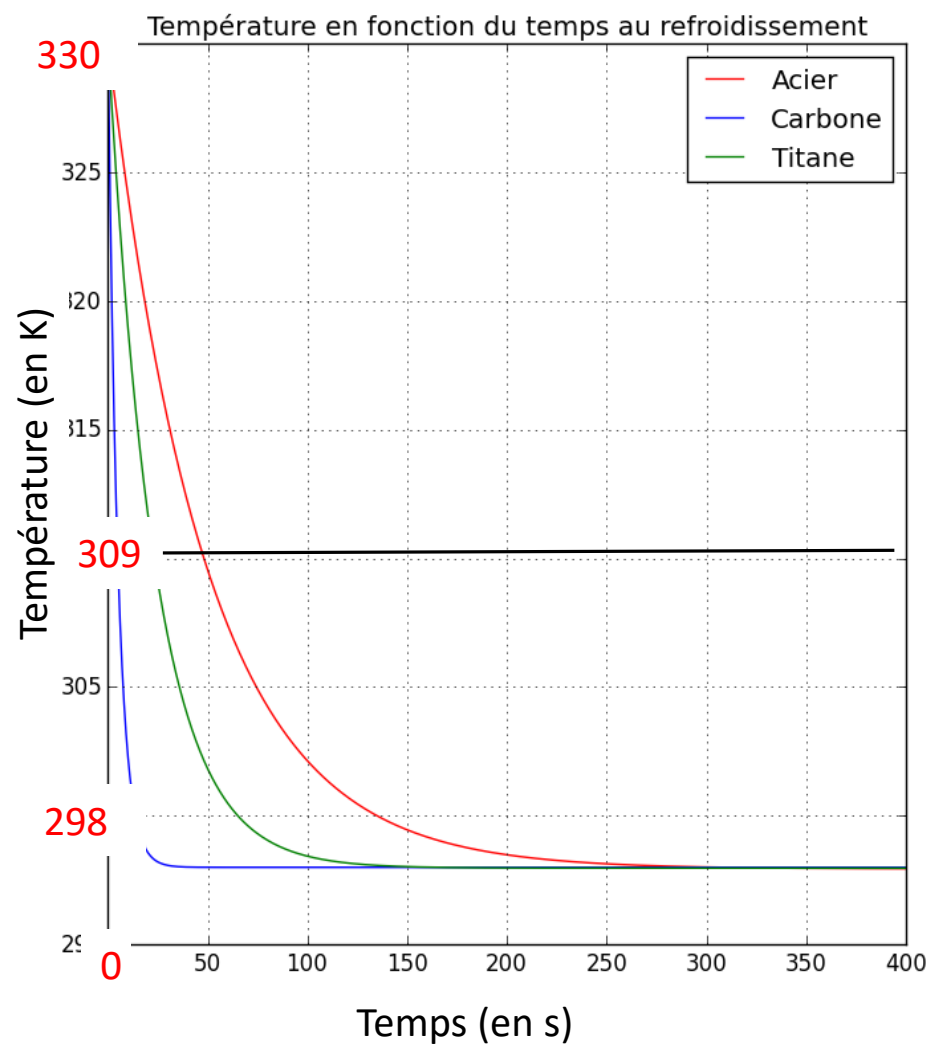
$$R_{th\text{théorique}} = \frac{1}{2\pi\lambda e} \times \ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right) = \frac{1}{hS} \Rightarrow h = \frac{2\pi\lambda e}{S \times \ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)}$$

	Acier	Carbone	Titane
ρ (kg/m ³)	7850	2250	4500
cth (J/kg/K)	560	710	520
λ (W/m/K)	20	65	21,9
R_{th} (K/W) (avec $h=150$ W/K/m ² =cste)	0,88	0,88	0,88
R_{th} (K/W) (2 ^{ème} modèle)	0,73	0,24	0,67
h (2 ^{ème} modèle) (W/m ² /K)	177	583	194,2
h (W/m ² /K)	150	150	150



2. Modélisation numérique (méthode d'Euler) et programmation en langage Python

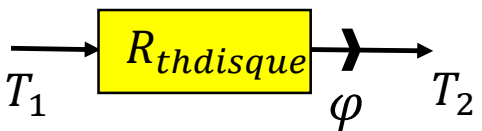
Pour 20km/h et un disque de 140mm de diamètre:



τ_{acier}	$\tau_{carbone}$	τ_{titane}
49 s	5 s	24 s

$$\tau = 0,63\% \times \text{valeur finale}$$

Analogie électrique

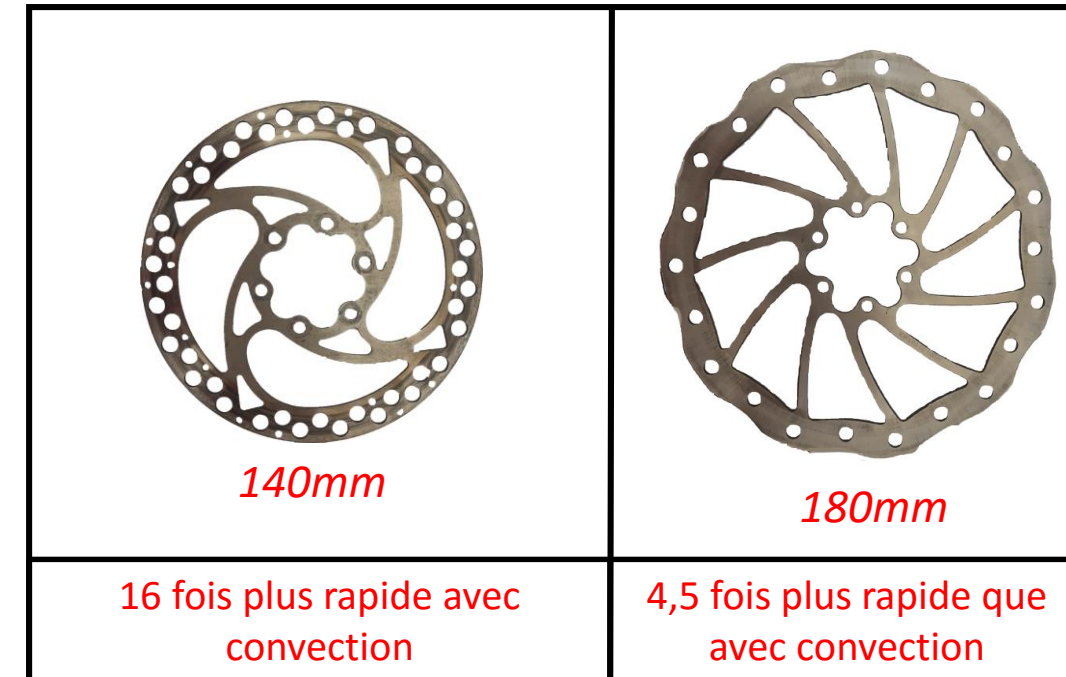
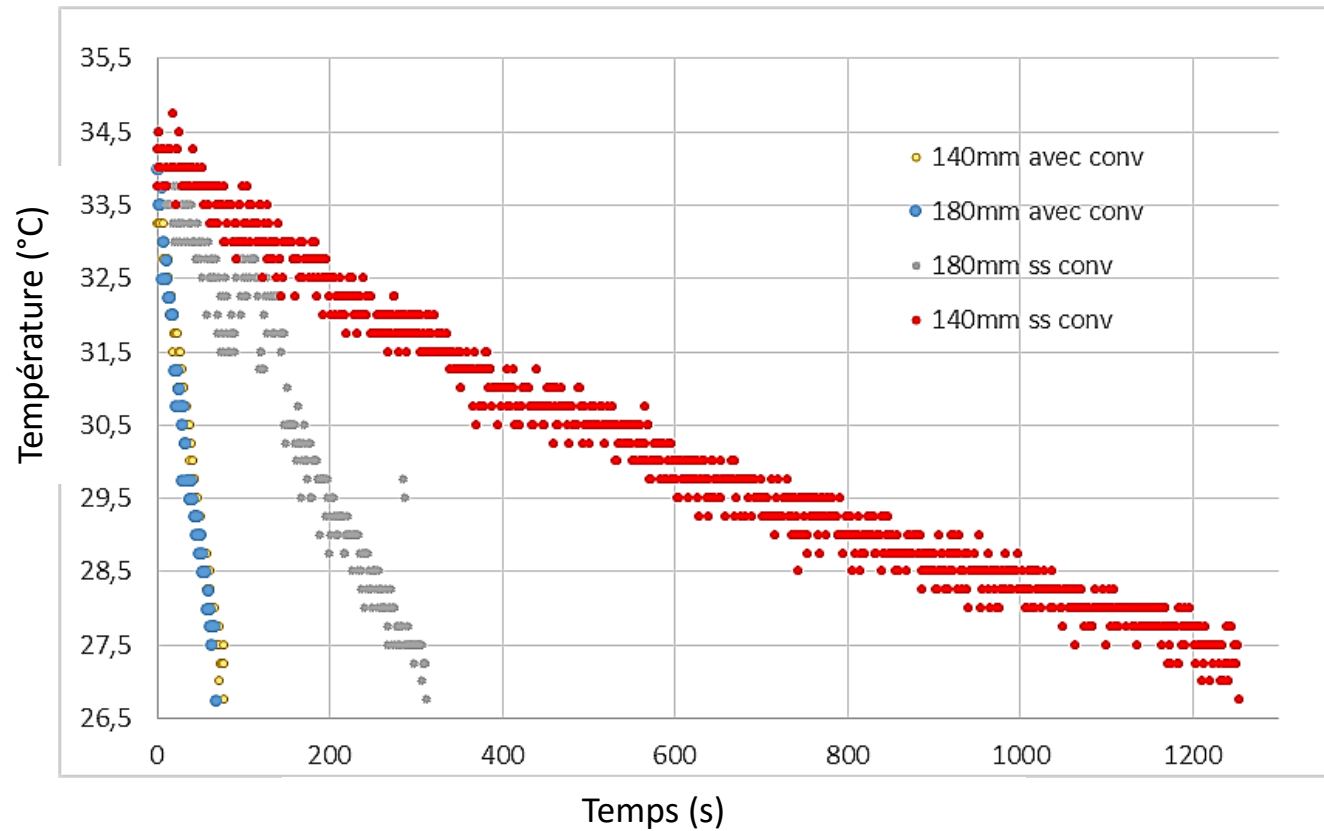


$$\Delta T = \varphi \times R_{th}$$

II)2)Expérimentations

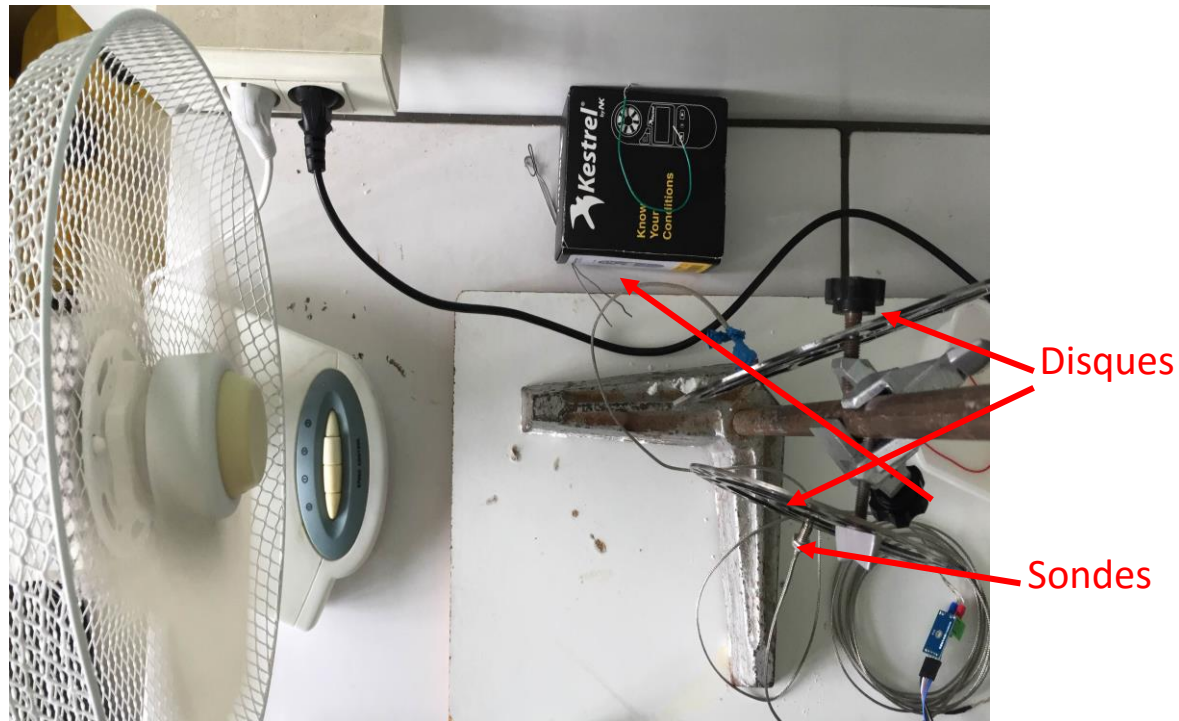
1. Acquisition Arduino:

- *Système d'échauffement: four et étuve*
- *Système d'acquisition: Arduino+MAX6675 (CAN)+Thermocouple*
- Avec et sans convection (avec et sans **ventilateur**, vitesse de l'air déterminé avec **anémomètre**= 9km/h

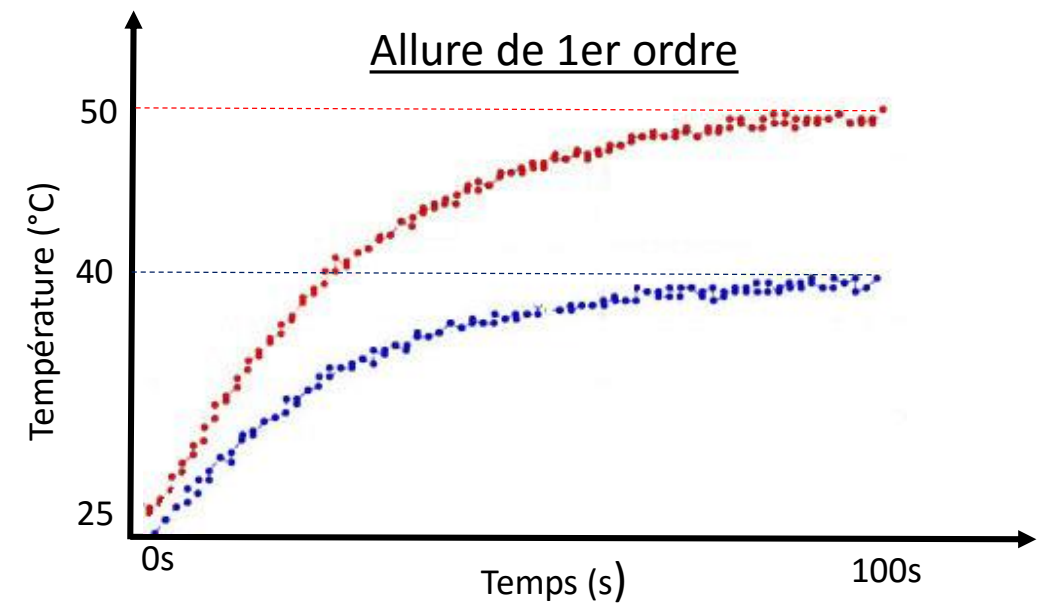
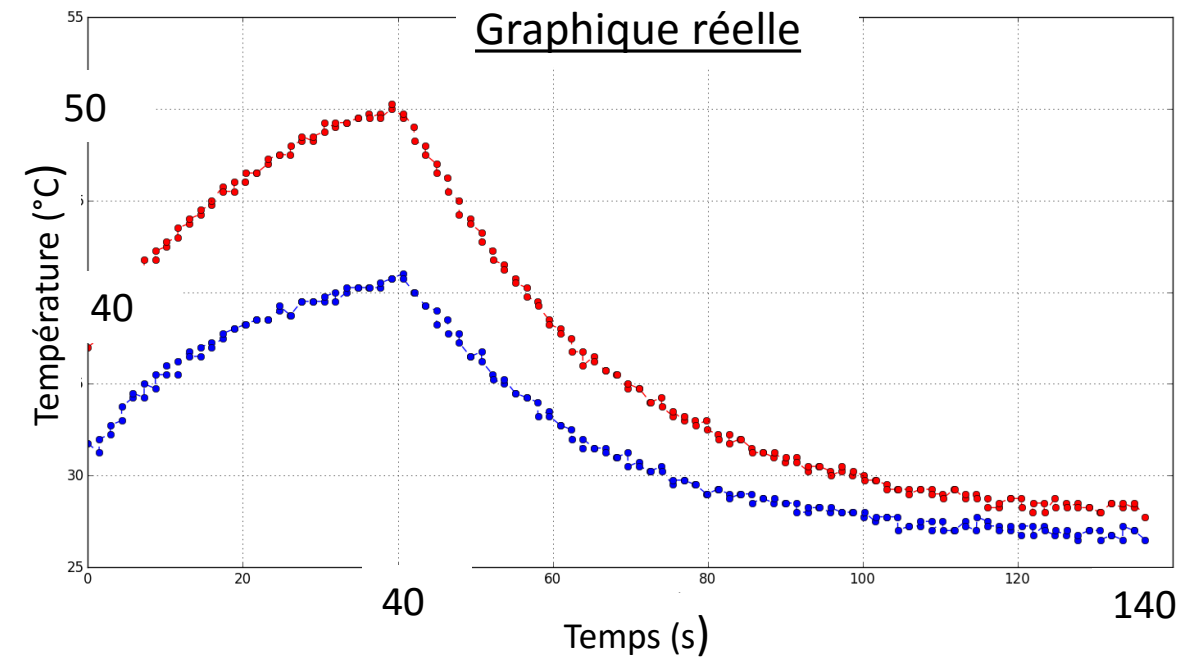


Comparatif de vitesse de refroidissement

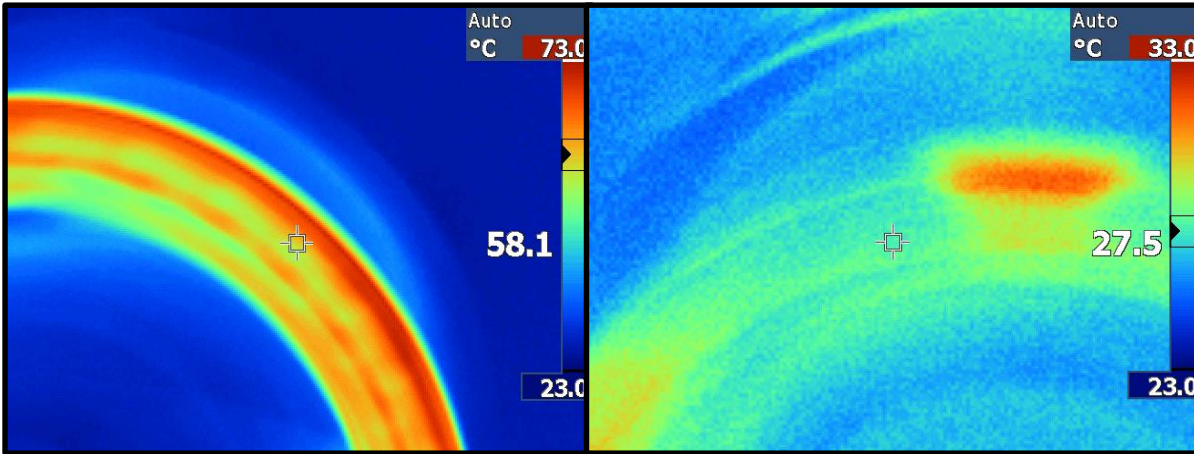
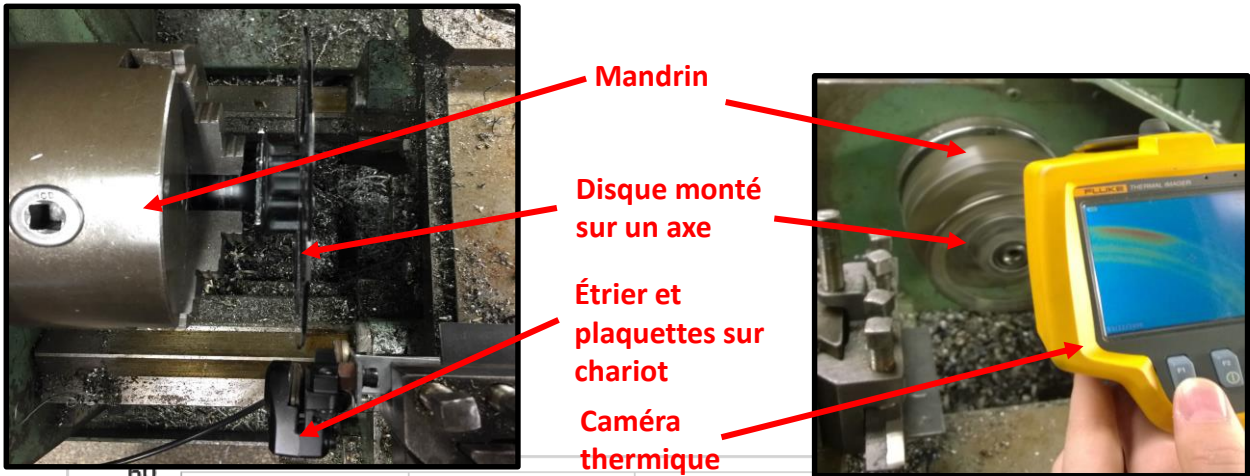
2.Acquisition simultanée de 2 disques (140mm et 180mm) avec convection (vent de 9km/h)



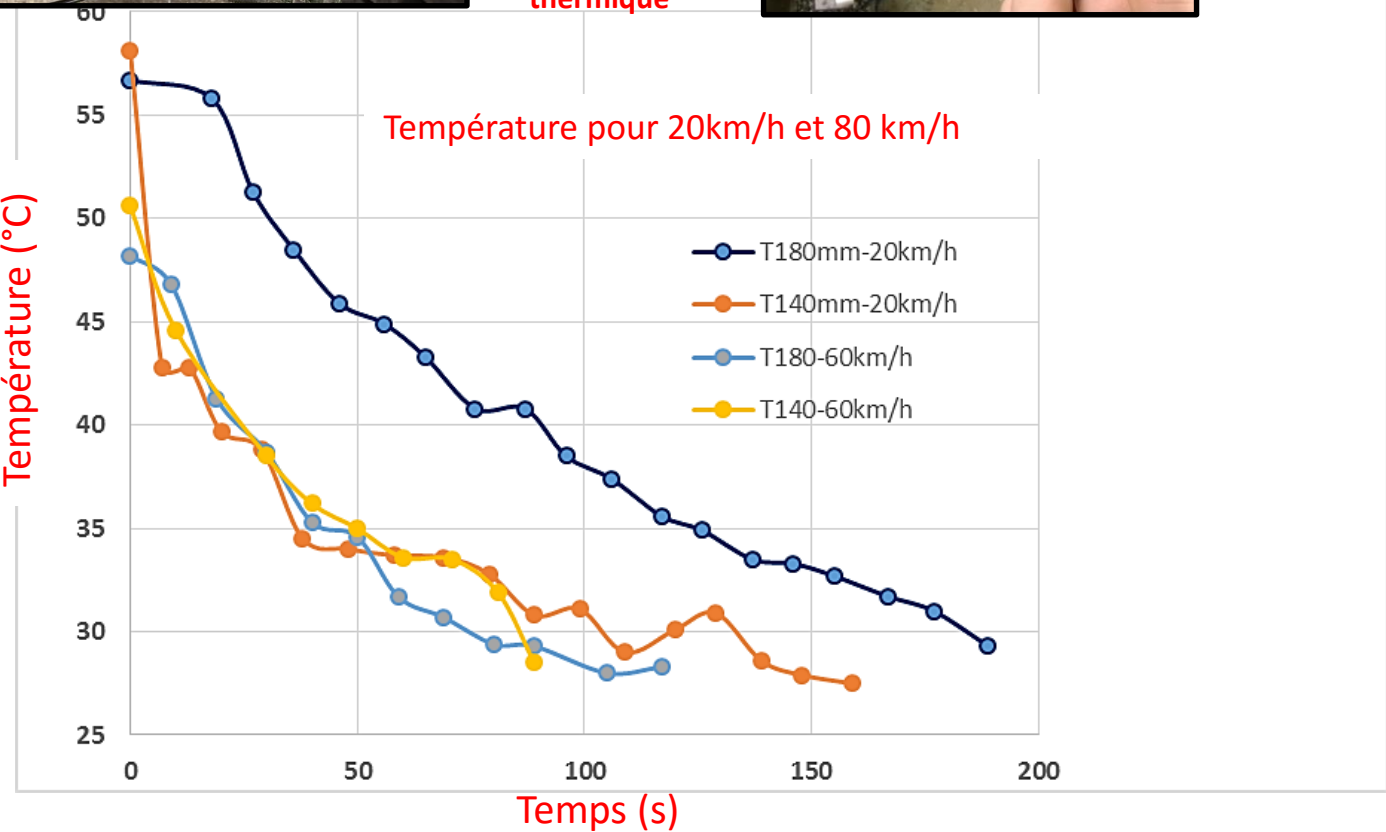
	140mm	180mm
τ (en s)	23	28



2. Acquisition avec caméra thermique et tour pour motorisé le disque:



Disque de 140mm à 150tr/min



τ	140mm	180mm
20km/h	35	96
80km/h	45	39

- Basse vitesse: Disque de 140mm plus efficace
- Haute vitesse: Même ordre de grandeur

3. Discussion des résultats et amélioration

$\tau_{20km/h} (T_{ini} = 57,5^{\circ}C)$ (en s)	140mm	180mm
Expérimental (caméra thermique)	35	96
Théorique	49	49

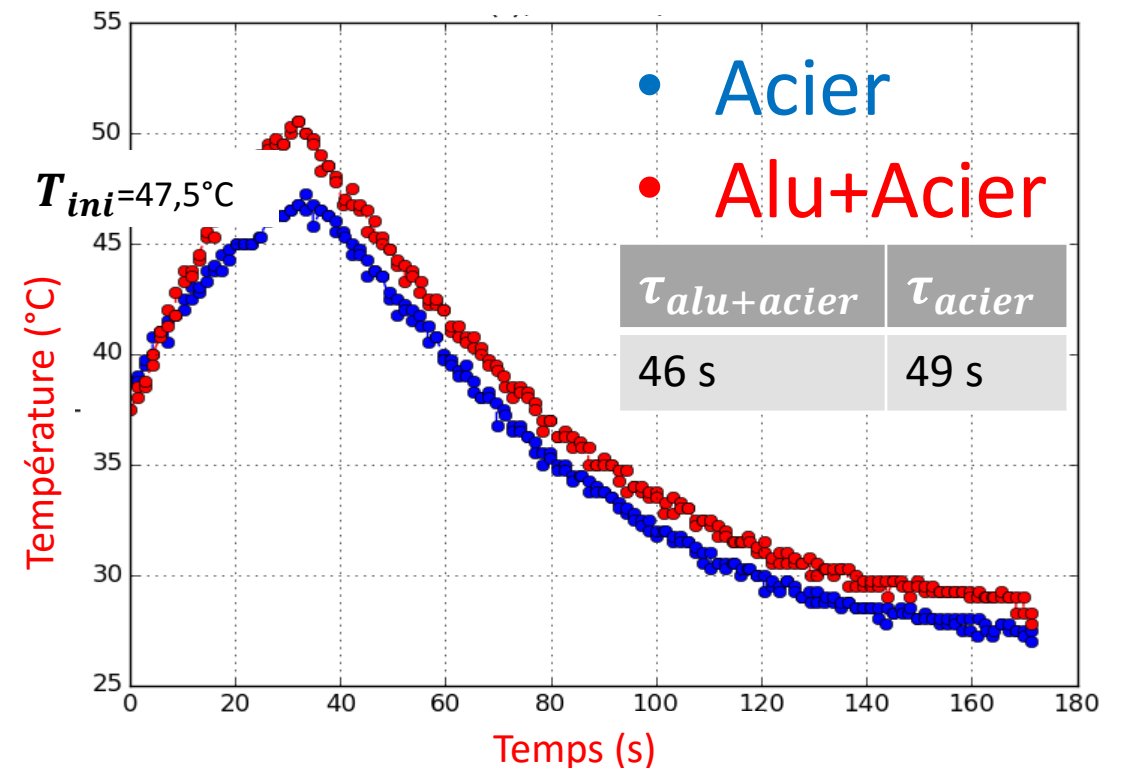
Pour 20km/h	140mm	180mm
Ecart (en %)	28,6	95,9

$\tau_{80km/h} (T_{ini} = 48^{\circ}C)$ (en s)	140mm	180mm
Expérimental (caméra thermique)	51	39
Théorique	47	45

Pour 80km/h	140mm	180mm
Ecart (en %)	8,5	13,3

Amélioration: Disque bi-matériel

	Cth (J/K/kg)	λ (W/m/K)
Acier	560	16
Aluminium	897	237



Conclusion

Modélisation

- Prendre en compte la diffusion thermique (malgré le nombre de Péclet)
- Revoir le modèle de résistance thermique (résistance selon z aussi)

Expérimentation

- Expérimentation avec caméra thermique moyennement fiable à basse vitesse
- Bons ordres de grandeur et faibles écarts à haute vitesse
- Influences de la vitesse de rotation, de la convection, du matériau et du diamètre du disque vérifiées

Poursuite de l'étude et amélioration

- Travailler sur le matériau du disque (carbone, titane, bi-matériau)
- Travailler sur la géométrie

