

# Asservissement résistance chauffante

Rapport de simulation



# PREAMBULE

L'objectif de ce document est d'apporter des détails supplémentaires sur l'étude de la résistance chauffante d'un point de vue de la simulation. Ce document va de pair avec le Jupyter Notebook joint à l'archive et la présentation orale. Le Notebook est joint à l'archive. Ce document se veut représentatif du cours de pensée et des travaux entrepris de manière chronologique. Avec du recul et les remarques avisées des professeurs, on peut désormais le critiquer.

# THERMIQUE

La première étape a été de comprendre et de modéliser le système d'un point de vue thermique. Cela a permis de déduire une équation de thermique liant l'évolution de la température du système au cours du temps en fonction de la puissance de chauffe et des constantes du système. Cela a été fait grâce aux enseignants encadrants et à des ressources en ligne. Le système n'étant pas parfaitement connu (et même si cela avait été le cas) il y a des imprécisions sur ces constantes.

# PLAN D'ACTION INITIAL

Avec du recul, on peut énoncer le plan d'actions avec ses objectifs. Les constantes du système n'étant pas idéales dans notre étude (le monde réel ne le permet pas.) on va devoir affiner celle-ci. La première difficulté, c'est que la puissance de chauffe est une composante de notre équation de thermique et que cette même variable évolue au cours du temps lors de l'expérimentation. En revanche dans la simulation, celle-ci est constante (dans un premier temps). Il faut donc trouver une expérience mettant en jeu les constantes du système tout en ayant une puissance de chauffe constante.

On remarque 3 cas de figure pour lesquels c'est le cas : le système est au repos, le système est en régime établi (en chauffe) ou bien le système a chauffé et on coupe l'alimentation. Dans les deux premiers cas de figure, la courbe de la température est également constante, ce n'est pas pertinent pour identifier nos paramètres. En revanche, dans le dernier, elle décroît en tenant seulement compte des paramètres du système et de la dissipation thermique dans l'air ambiant. On décide donc de reproduire ce schéma par expérimentation et d'acquérir les données de la température au cours de celle-ci. Avec notre équation thermique, on reproduit la même chose par la simulation. On superpose et on ajuste les constantes pour coller à l'expérience. On obtient une image théorique des constantes de notre système par l'expérimentation, c'est ce qu'on voulait.

Pour revenir au sujet du projet, le but est d'asservir la température du système, c'est-à-dire qu'on veut donner une consigne en température et on veut que le système s'y rende le plus vite possible et s'y stabilise (en-tout-cas, c'est ce que l'on peut attendre d'une résistance chauffante dans un cadre d'utilisation domestique). Pour y parvenir, on va devoir appliquer un correcteur sur le signal de puissance de chauffe. Une étude et des comparaisons permettront de déterminer les paramètres de celui-ci.

Ces paramètres en poche, on peut simuler ce modèle et analyser le résultat.

Une poursuite logique serait de réaliser l'expérimentation de ce modèle asservie tout en récupérant la température et la puissance de chauffe régulièrement. Avec de tels résultats, on pourra simuler au plus proche cette expérience, comparer, ajuster et réitérer jusqu'à satisfaction.

Nous voilà en possession d'un système de résistance chauffante asservie qui chauffe jusqu'à sa consigne et s'y maintient.

L'ajout d'une ventilation pour introduire la convection forcée modifie la constante liée au flux dans l'équation de thermique. Ce changement modifiera les graphes et amènera une étude similaire à la première, pour des valeurs de sortie différentes.

# RECIT CHRONOLOGIQUE ET IMAGES DES TRAVAUX

## 1- Recherche et étude de thermique pour modéliser le système et trouver l'équation de thermique :

### Etude Analytique :

Equation de la chaleur pour une plaque de métal exposée à une source de chaleur en son centre en fonction de la dimension de la plaque, la position de la source de chaleur et les propriétés du matériau.

#### Hypothèses et approximations :

- plaque 2D (pas d'épaisseur)
- la température initiale de la plaque est homogène et est  $170^{\circ}\text{C}$
- la plaque est en équilibre dans l'air, en contact avec...
- la source de chaleur est continue dans le temps et de la plaque.
- les propriétés thermiques de la plaque sont celles de l'acier.

#### Caractéristiques de la plaque :

- Matériau : Acier standard
- Dimensions : Longueur (L) et largeur (l)
- Propriétés thermiques :
  - Conductivité thermique ( $k$ ) =
  - Diffusivité thermique ( $\alpha$ ) =

#### Conditions initiales et limites :

- Condition initiale : la température de la plaque est
- Conditions aux limites :

La convection thermique avec l'air ambiant est la condition de Robin : une combinaison des conditions de Dirichlet (température fixe) et de Neumann (flux thermique fixe).

$$-k \frac{du}{dx} = h_{\text{conv}} (u - u_{\text{air}})$$

- $h_{\text{conv}}$  le coefficient de convection
- $k$  la conductivité thermique
- $u$  la température de la plaque
- $u_{\text{air}}$  la température de l'air.

Equation de la chaleur avec dissipation dans l'air :

$$\rho \cdot C \cdot V \cdot \frac{dT}{dt} = P - A \cdot h \cdot (T - T_{\text{air}})$$

+ 12e

$\rho$  la densité de l'acier

$C$  la capacité thermique spécifique de l'acier

$V$  le volume du puits en acier

$dT/dt$  la variation temporelle de la température

$P$  la puissance de chauffe

$A$  la surface de contact entre le puits et l'air

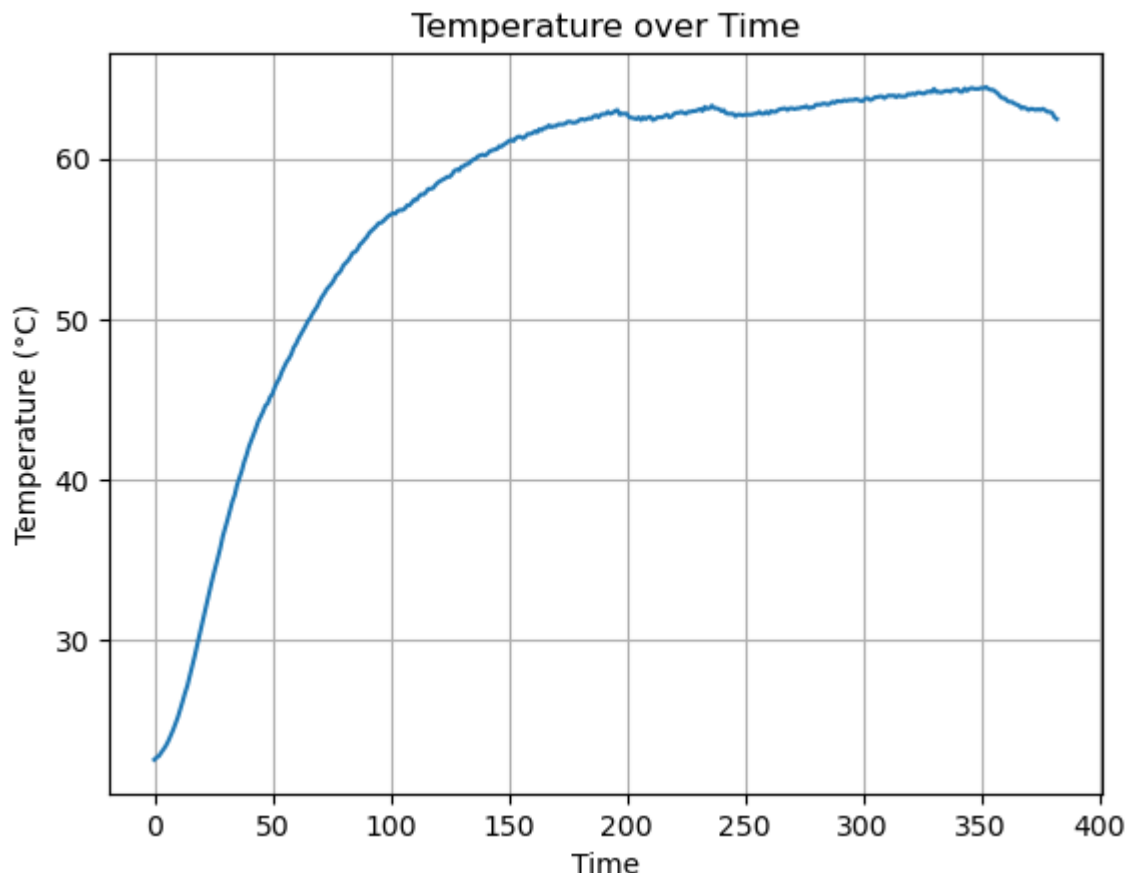
$h$  le coefficient de transfert de la chaleur convectif puits / air

$T$  la température du puits

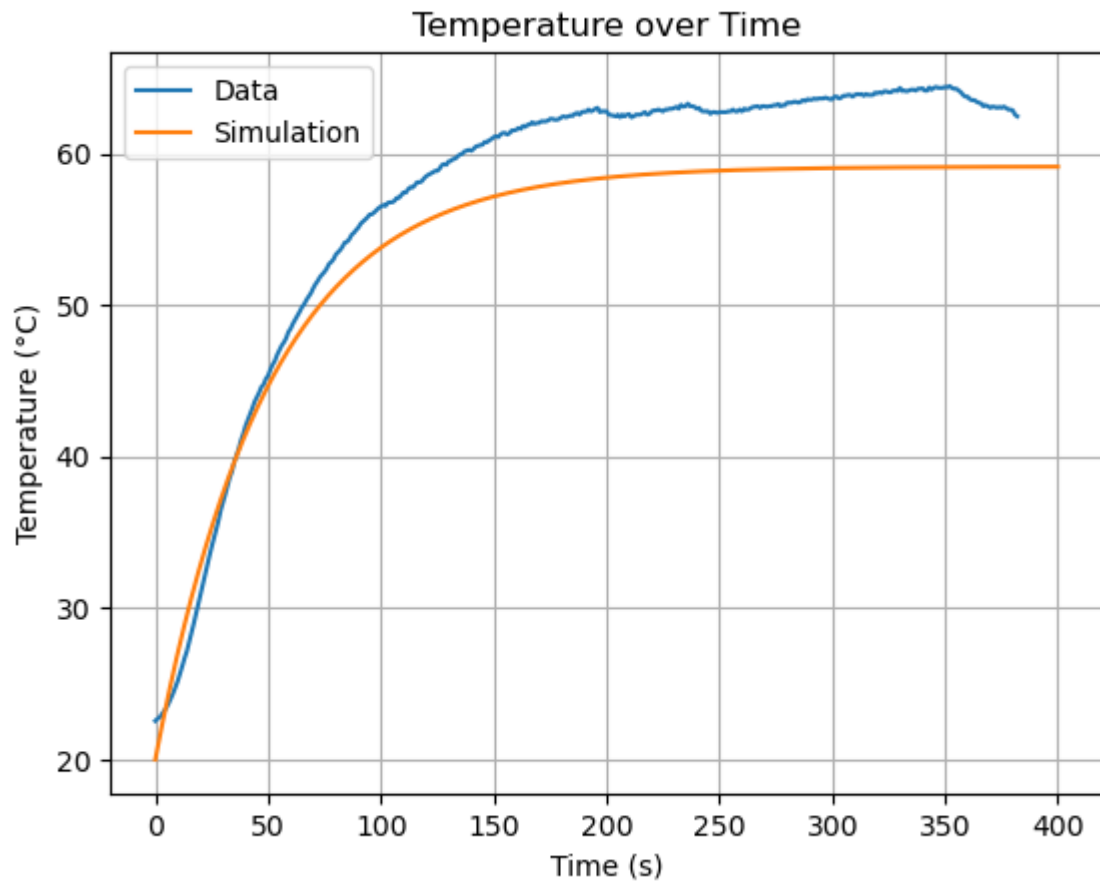
$T_{\text{air}}$  la température de l'air ambiant.

$$\Rightarrow T_{i+1} = T_i + \frac{P - a \cdot h \cdot (T_i - T_{\text{air}})}{\rho \cdot C \cdot V} \cdot \Delta t$$

## 2- Traitement et affichage des résultats expérimentaux d'un cycle de chauffe sans refroidissement :

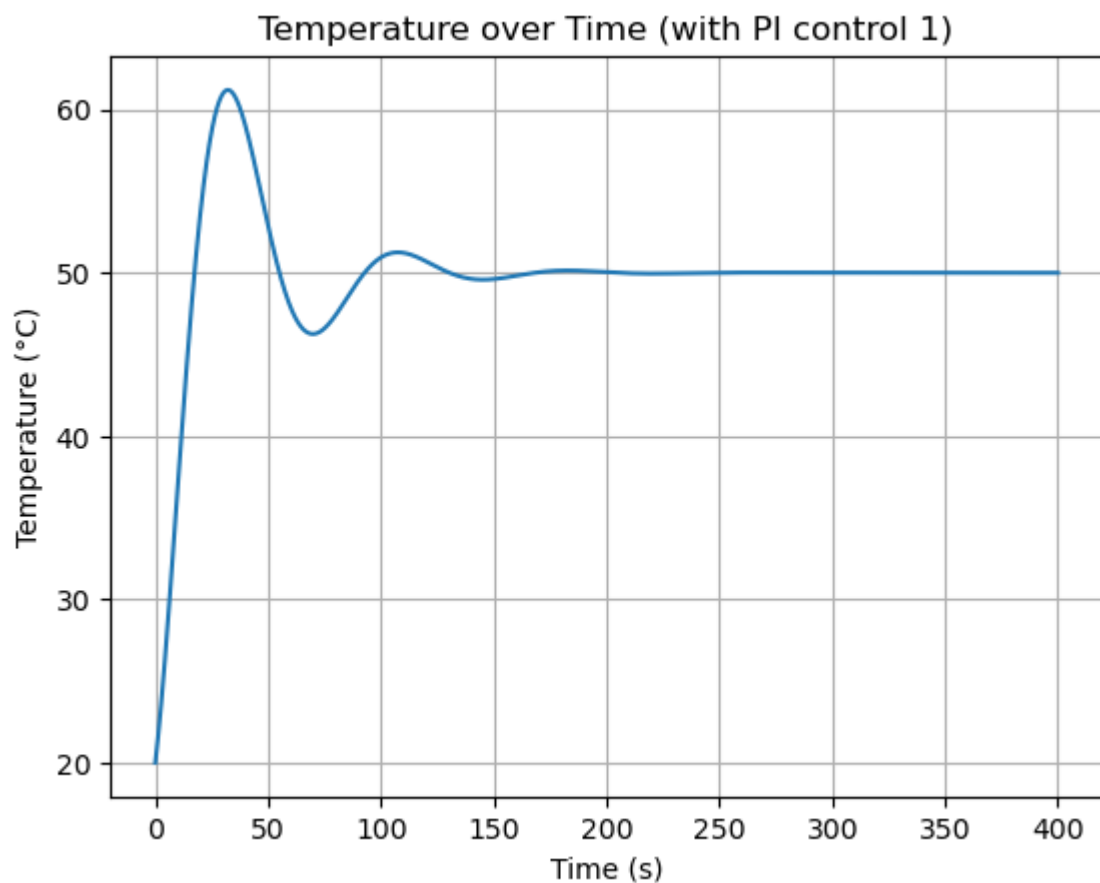


3- Superposition de la courbe précédente avec celle issue de l'équation de thermique :



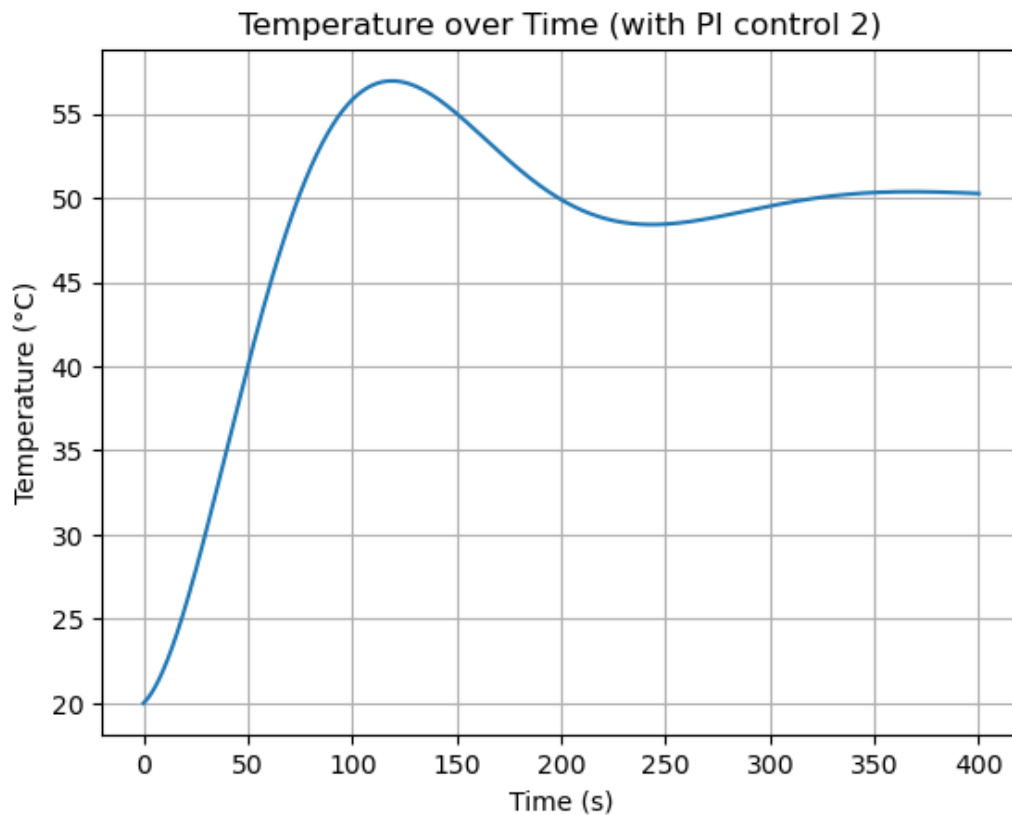
A partir d'ici on s'éloigne du suivi logique de la recherche, ce sera cependant quand même utile pour la suite.

4- Application du premier correcteur PI sur la courbe de simulation (équation de thermique) :



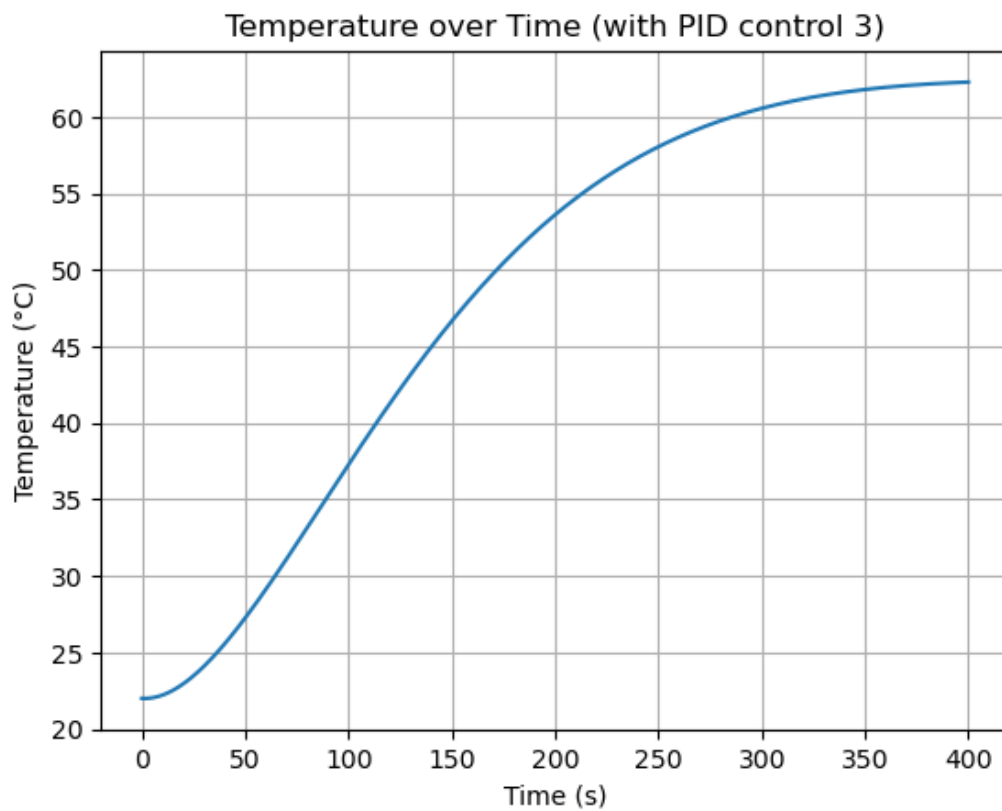
La courbe oscille trop, il faut affiner les paramètres du correcteur

## 5- Application du deuxième correcteur PI :



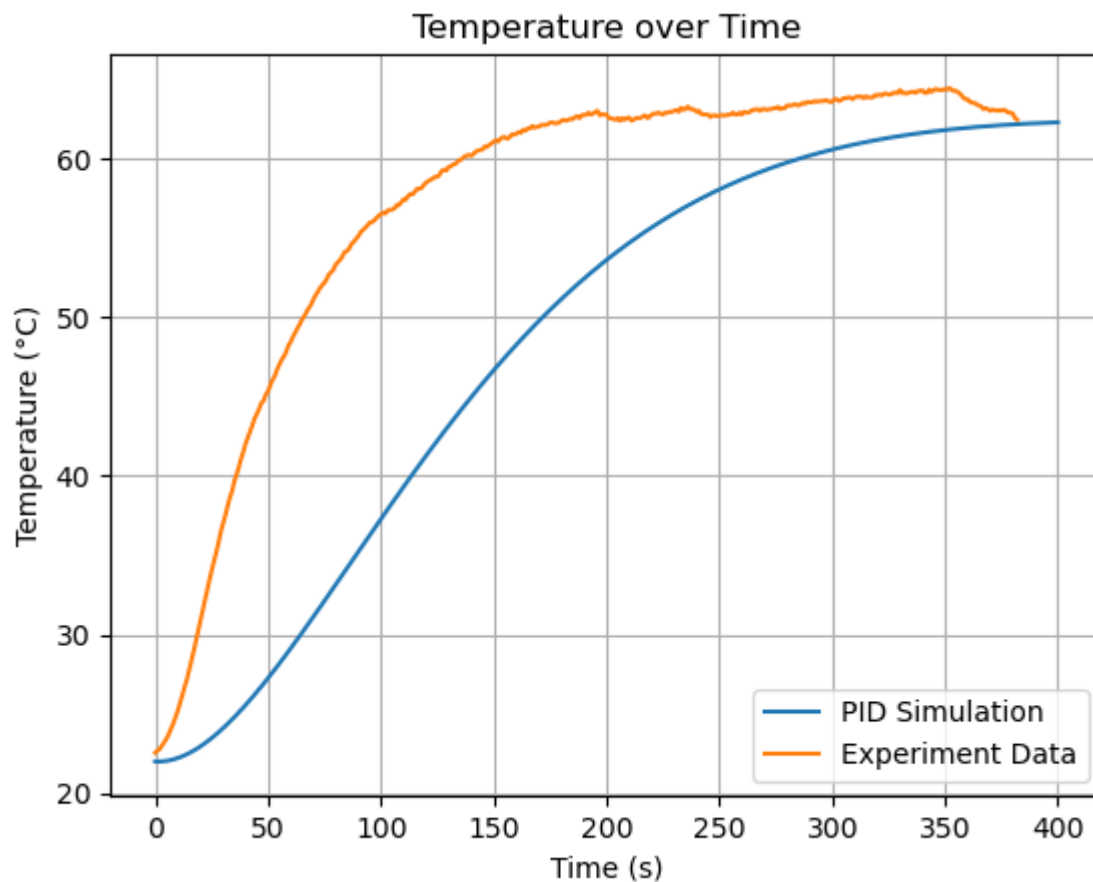
Ça oscille moins mais ce n'est pas encore satisfaisant, le correcteur PI semble avoir atteint ses limites dans ce cas-ci ...

## 6- Application du correcteur PID :



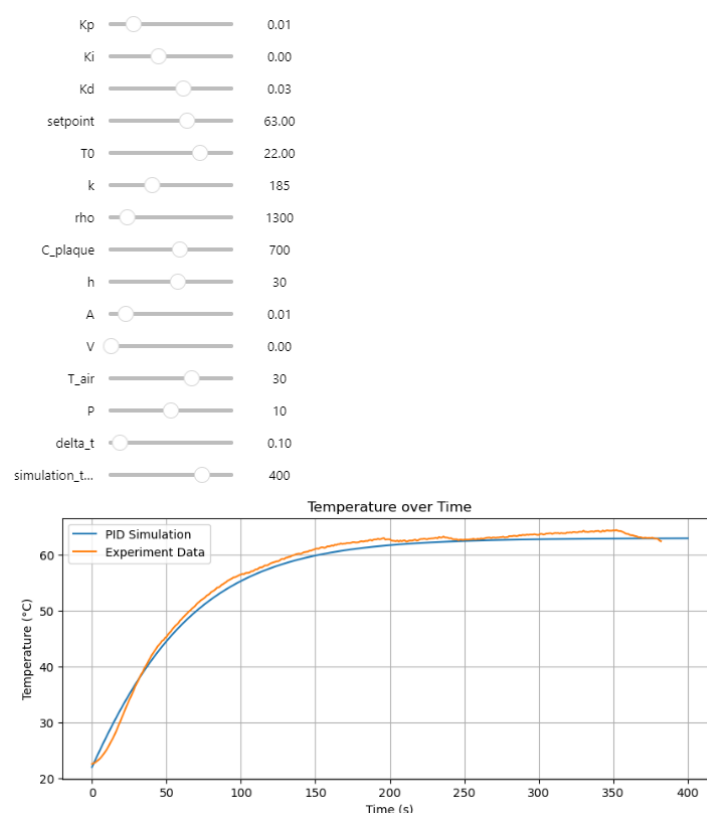
On a résolu le problème d'oscillation et l'allure de la courbe de simulation se rapproche de celle de l'expérience

7- Superposition de la simulation avec correcteur PID et de la première expérience :

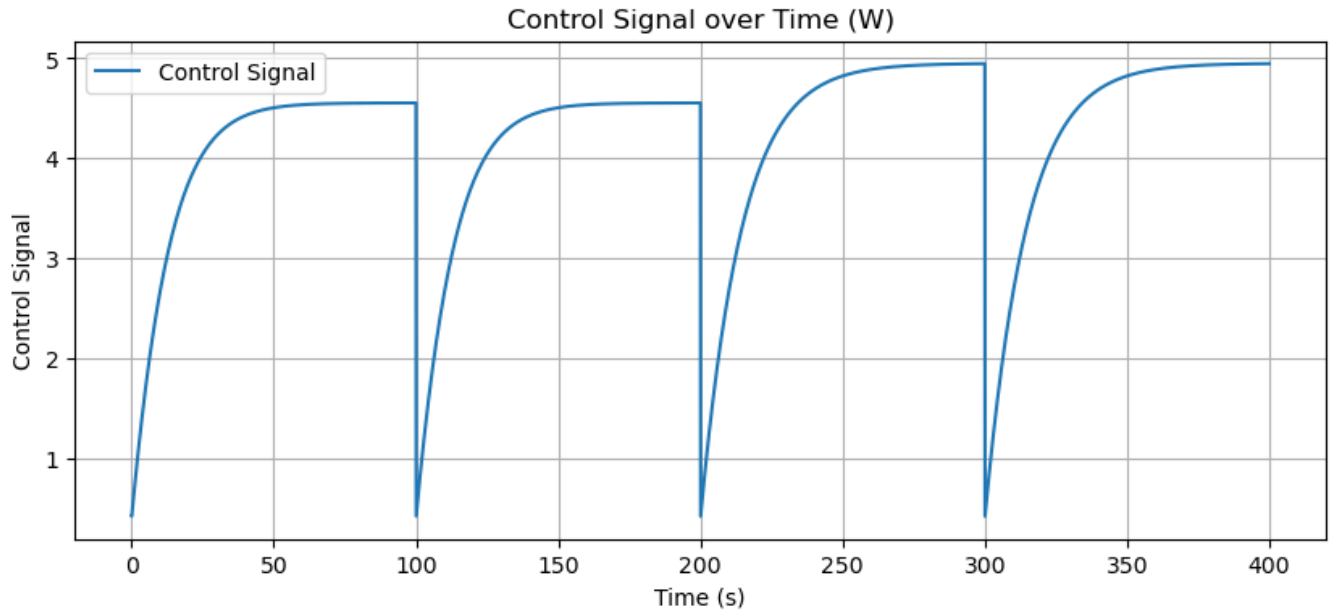


Pour les prochaines étape la précipitation a entrainée une grosse incohérence de raisonnement, on compare ici une courbe en boucle ouverte avec une autre en boucle fermée, ça ne fait aucun sens ...  
L'optimisation s'est quand même révélée bénéfique pour la suite

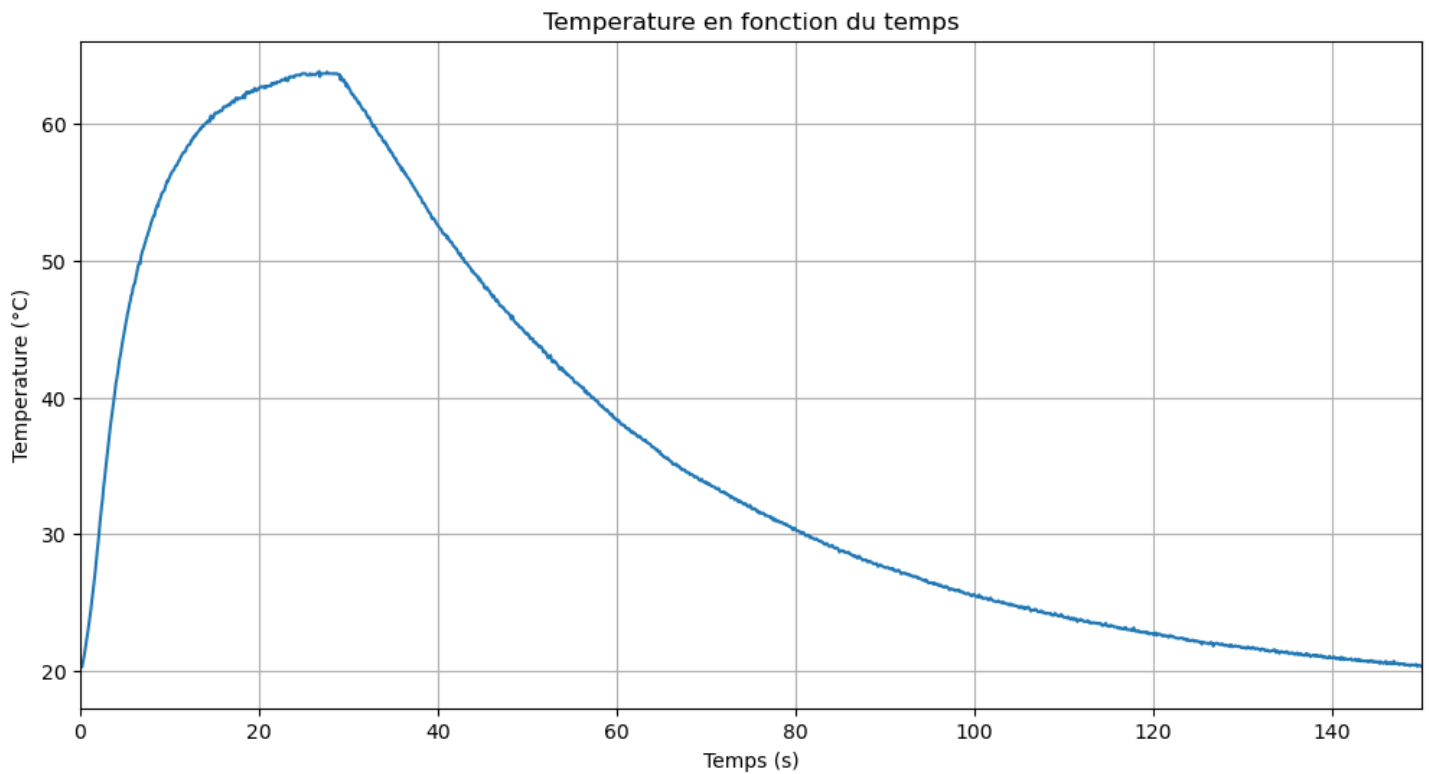
8- Ajout de curseurs pour contrôler les paramètres en temps réelle et superposition avec la première expérience avec optimisation des paramètres :



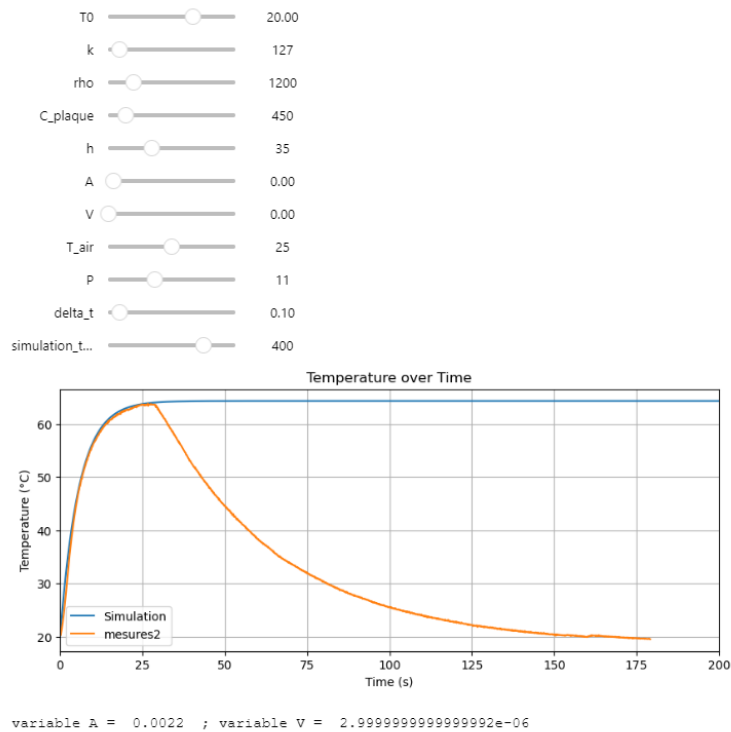
9- Affichage de l'allure du signal de contrôle en puissance du système (à titre indicatif) :



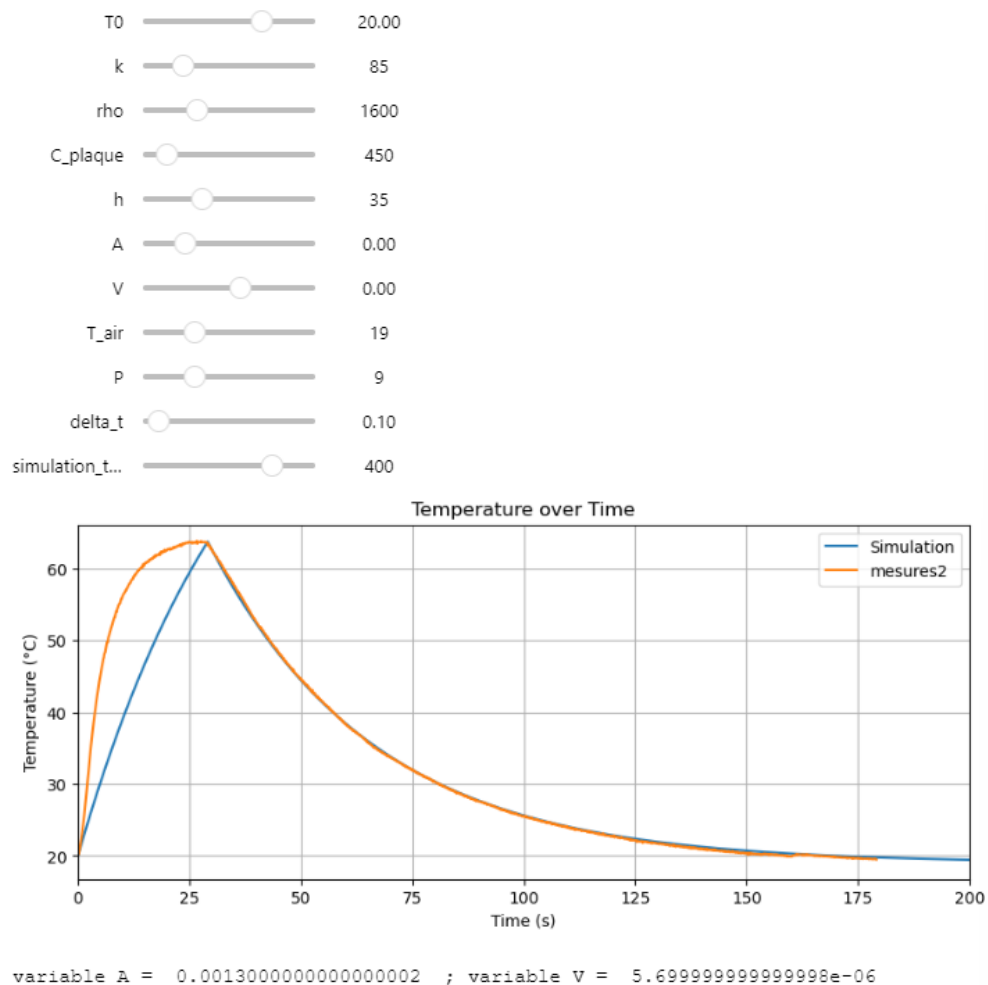
10- De retour sur le droit chemin : Traitement et affichage de la deuxième expérience (chauffe et cycle de refroidissement hors tension) :



11- Corrélation de la courbe de simulation avec l'expérience 2 en ajustant ses paramètres via les curseurs sur la phase de chauffe (Inutile et impertinent car P constant dans la simulation) :



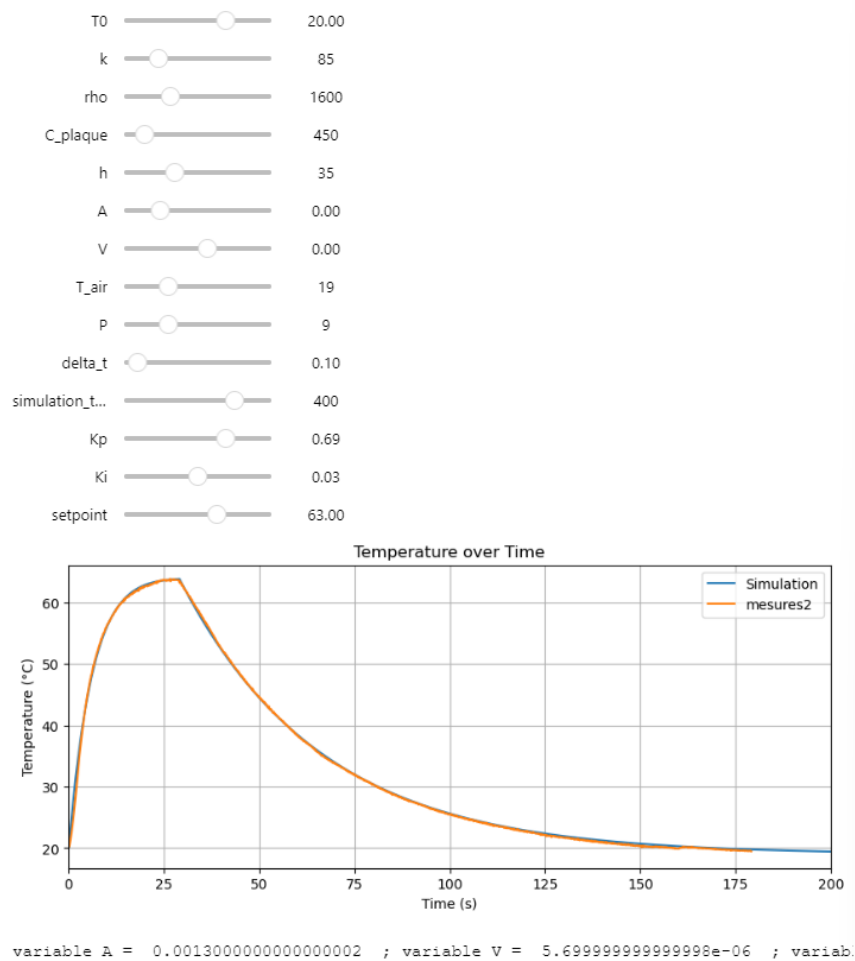
12-Corrélation de la courbe de simulation avec l'expérience 2 en ajustant ses paramètres via les curseurs sur la phase de REFROIDISSEMENT (P=0 à partir de 30 secondes) :



A présent on a identifié les paramètre de notre système par l'expérimentation !

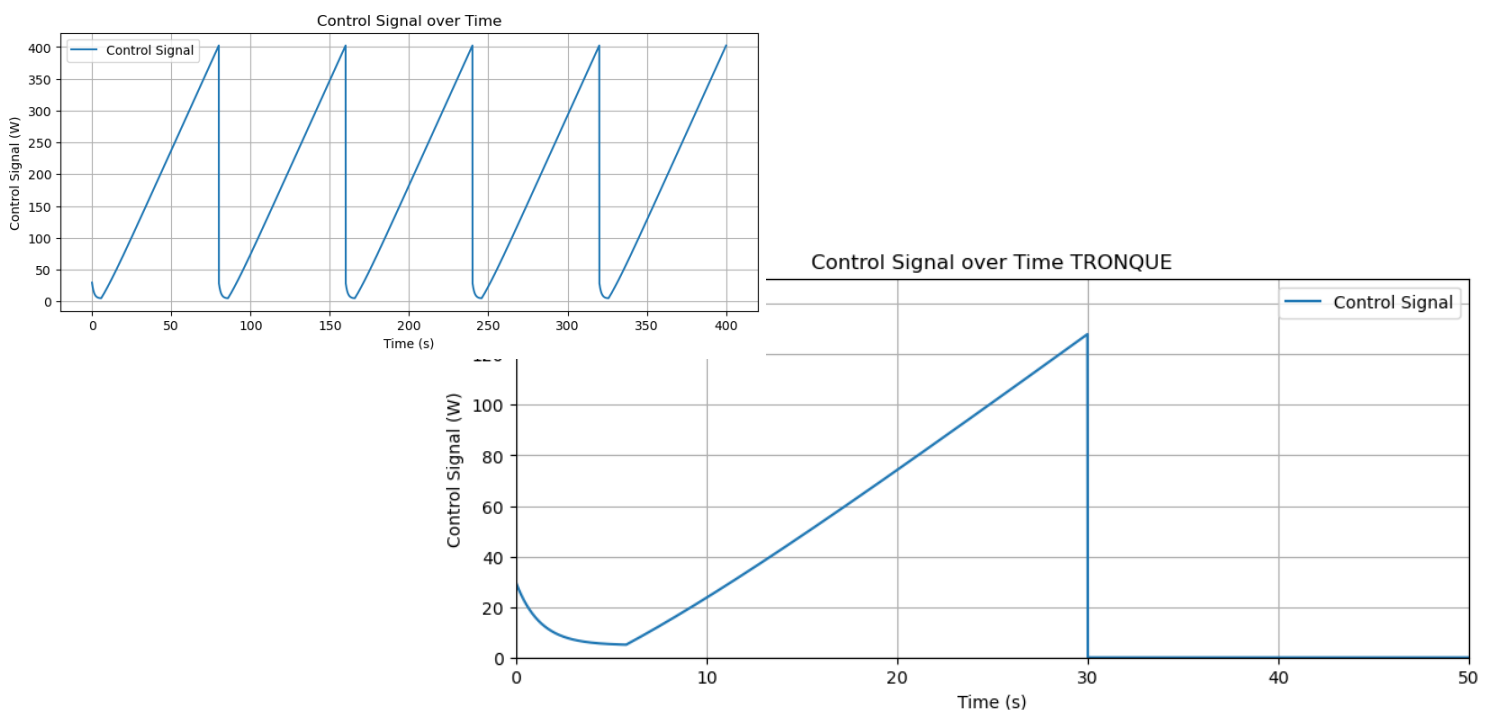


### 13-Ajout d'un correcteur PI à la courbe de simulation, ajustement des paramètre du correcteur PI, utilisation des paramètres précédemment trouvé :



Pas très pertinent non plus, on compare une boucle ouverte avec une boucle fermée. Cependant, si on considère que l'expérimentation à été réalisé avec un correcteur et une consigne de 63°C, on peut conclure que notre modèle théorique tient la route en termes d'allure.

### 14-Signal de contrôle mis à jour :



## POURSUITE

Il serait intéressant de récupérer la puissance lors de la deuxième expérimentation pour donner cette liste en entrée pour l'équation de thermique plutôt que d'utiliser une valeur constante, ça permettrait d'approcher un modèle plus réaliste. On pourrait alors encore affiner les paramètres de l'équation de thermique. Il faut seulement une liste image de la puissance lors du cycle de chauffe, ce n'est pas compliqué d'implémenter dans le Jupyter, il faut seulement le fichier de donnée.

On pourrait ensuite essayer d'appliquer le correcteur sur l'expérimentation (avec  $K_p$  et  $K_i$ ), comparer avec la simulation, ajuster... ect.

L'ajout du ventilateur serait intéressant à étudier par la suite, on peut cependant anticiper son résultat. La température va augmenter plus lentement à cause de la dissipation accrue et le régime étale sera atteint (dans le cadre de deux expériences identiques en termes de puissance de chauffe) pour une température plus faible. On pourrait aussi étudier l'inertie du système sous un autre angle et encore affiner les paramètres de l'équation de thermique.

## CONCLUSION

L'étude de ce projet a été très intéressante, mais trop courte à mon goût, j'aurais aimé la poursuivre sur un semestre supplémentaire. J'ai été captivé par mon travail et j'ai sûrement manqué un peu de communication avec le reste du groupe, je le reconnais. Quoi qu'il en soit, j'ai apprécié le sujet et je pense avoir fait ma part du travail.

