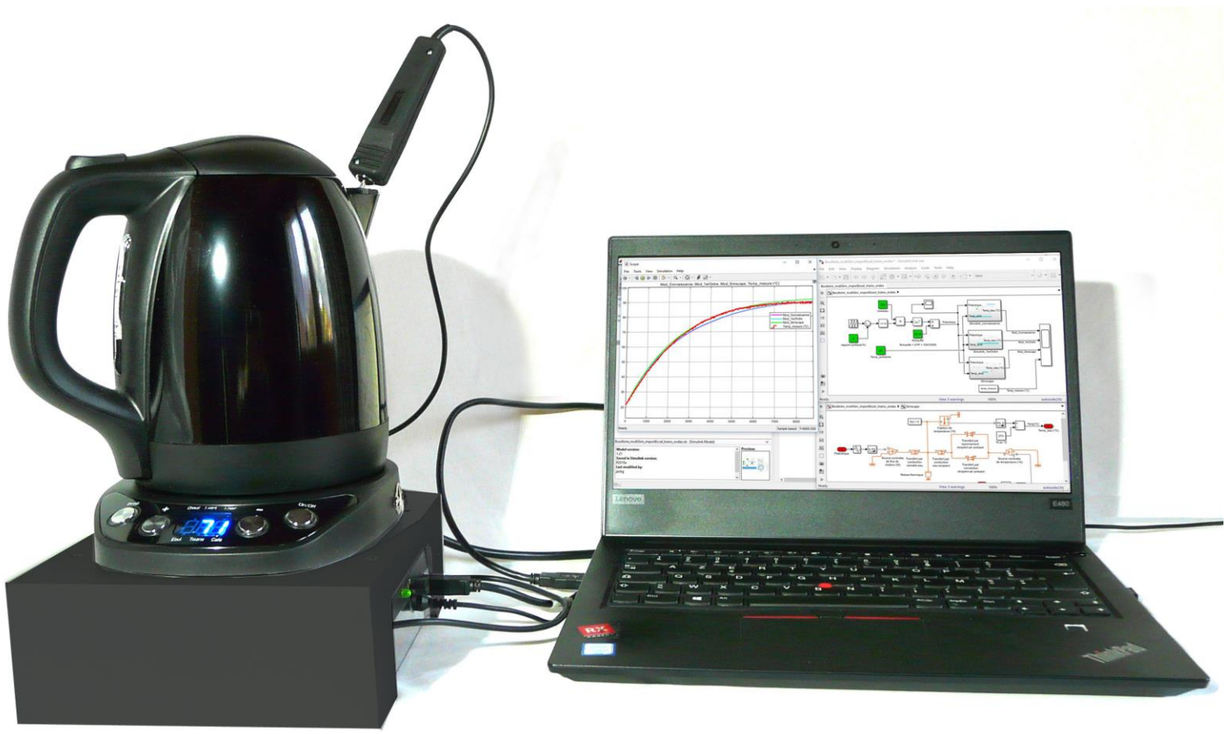
ThermoLab

Livret de présentation pédagogique Bac général spé-SI Bac STI2D



UN PRODUIT TECHNOLOGIQUE REEL

La bouilloire électrique est devenue un appareil électroménager familier de notre vie courante.

Les besoins des consommateurs font évoluer l'offre technique notamment en permettant le réglage précis de la température.

Ainsi, la bouilloire électrique sur laquelle s'appuie le support didactique ThermoLab, permet de régler la température de 40°C à 100°C par pas de 5°C, lisible au degré près sur un afficheur numérique.

ADAPTE AUX ENSEIGNEMENTS DE SPECIALITE SCIENCES DE L'INGENIEUR EN BACCALAUREAT GENERAL ET AUX ENSEIGNEMENTS TECHNOLOGIQUES EN BACCALAUREAT STI2D.

Le système est équipé pour mesurer les grandeurs physiques importantes : température, tension et courant au niveau de la résistance de chauffe, aussi bien dans l'utilisation native du produit que dans un fonctionnement mettant en œuvre des techniques de régulation plus élaborées.

Le système est donc particulièrement étudié pour investiguer le champ de la thermique et des asservissements de température. Par sa nature de produit grand public à utilisation alimentaire, il permet également d'aborder de nombreux autres champs comme par exemple ceux du design ou des matériaux.

Système Etude Technique

Ce livret présente des extraits des activités pratiques ou dirigées incluses dans les dossiers d'accompagnement du système didactique "ThermoLab", afin de donner un aperçu de ses potentialités pédagogiques.
Ces activités sont des propositions que le professeur peut exploiter en tout ou partie dans la construction de sa progression pédagogique.

Exemples d'activités pédagogiques proposées

Améliorer l'existant

Élaborer une démarche globale d'innovation

L'approche design des produits

De la bouilloire en cuivre à la bouilloire électrique thermo-régulée

Expérimenter-analyser la chaîne de puissance d'un produit

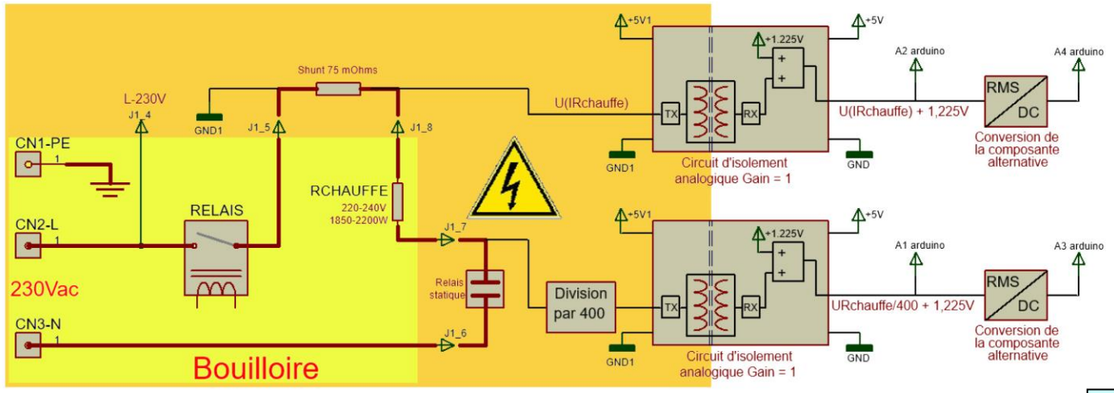
- Prévoir l'ordre de grandeur de la mesure

- Conduire des essais en toute sécurité

- Analyser des résultats d'expérimentation en vue, notamment, de quantifier les écarts de performances entre les valeurs attendues et les valeurs mesurées

- Typologie des chaînes de puissance

- Conversion/modulation de puissance



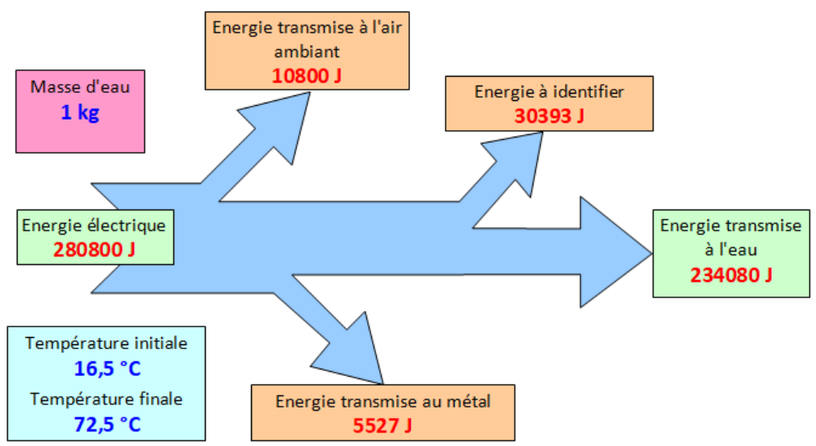
$$W = (m_{eau} * c_{eau} + (m_{cuve} + m_{semelle}) * c_{inox}) * (T_{fin} - T_{init})$$

m_{eau} = 1 kg c_{eau} = 4180 J/K^{-1}

m_{cuve} = 0,17 kg $m_{semelle}$ = 0,04 kg c_{inox} = 470 J/K^{-1}

W = (1*4180 + (0,17 + 0,04)*470)*(100-20) = 342296J

Au -1.1- on a déterminé l'énergie à fournir W = 342296J
Pour un temps de chauffe de 3 minutes maxi on détermine Pmini = W/tps maxi
Soit Pmini = 342296/180 = 1901W
La puissance nominale de la bouilloire est de 2000W donc le choix coïncide bien



L'énergie électrique convertie en énergie thermique par la résistance chauffante est transmise à l'eau.

- Une part de cette énergie permet l'élévation de la température de celle-ci selon la formule :

$$dW_{échauffement} = m * c * d\theta_{eau} \quad (1)$$ avec

Wéchauffement = énergie (en J)

m = masse de l'eau (en kg)

c = capacité thermique (en J/kg.K) (=4180 pour l'eau)

θeau = température de l'eau (en K)

On sait par ailleurs que la relation entre l'énergie (en J) et la puissance (en W) est P = dW/dt d'où :

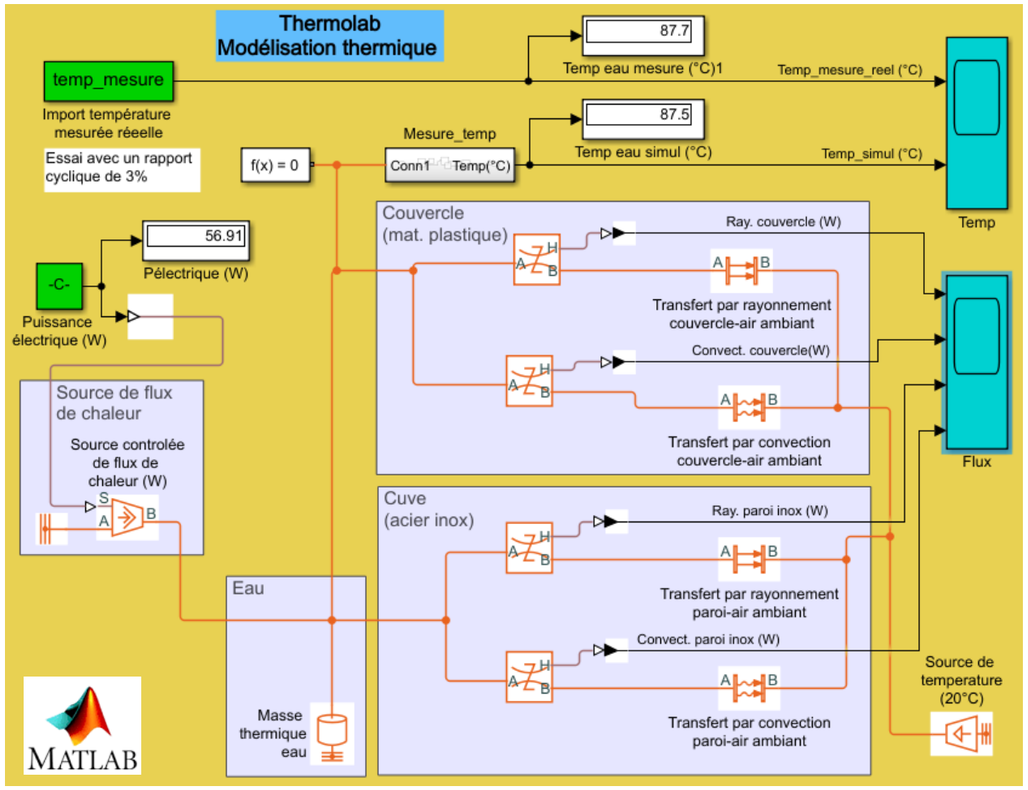
$$P_{échauffement} = dW_{échauffement} / dt \quad (2)$$

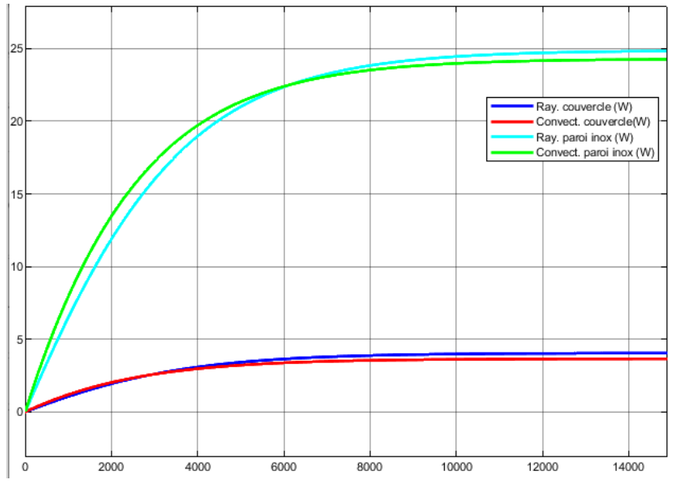
Exemples d'activités pédagogiques proposées

Construire/compléter/ paramétrer un modèle multi-physique

Valider le modèle à partir des résultats d'expérimentations

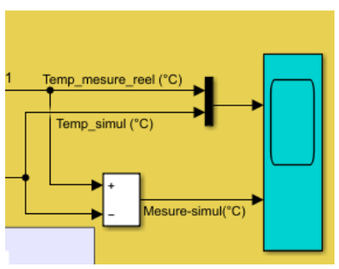
Quantifiez les flux thermiques transitant par chacun des éléments de transfert thermique en mettant en place les éléments de mesurage nécessaires. Analysez-commentez les résultats.



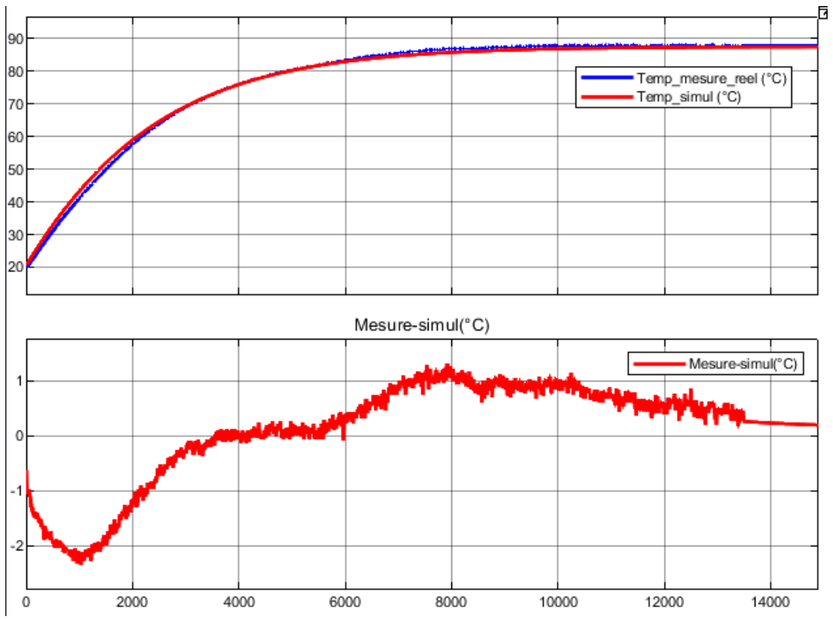


On observe que les transferts thermiques par rayonnement sont à peu près égaux aux transferts thermiques par convection. Sur le plan quantitatif les flux de rayonnement et de convection de la paroi inox valent environ 25W chacun alors que les flux de rayonnement et de convection du couvercle sont aux environs de 4W soit 6 fois moindres

Quantification des écarts :
Implantez les blocs permettant de quantifier l'écart entre valeur mesurée et valeur simulée. Réalisez la quantification puis analysez-commentez les résultats



On constate que l'écart entre la température mesurée réelle et la température obtenue par simulation reste entre environ +1°C et -2°C, correspondant à quelques % en valeur relative. On peut en conclure que le modèle est très proche du réel



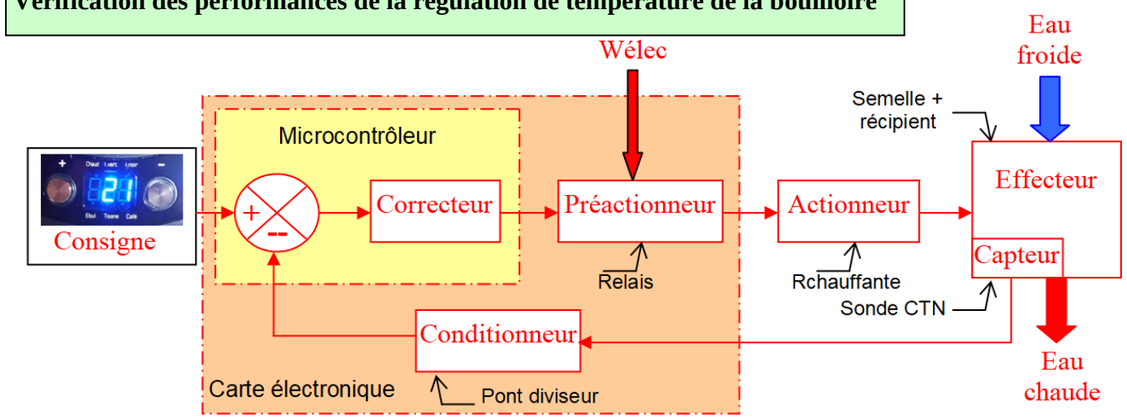
Exemples d'activités pédagogiques proposées

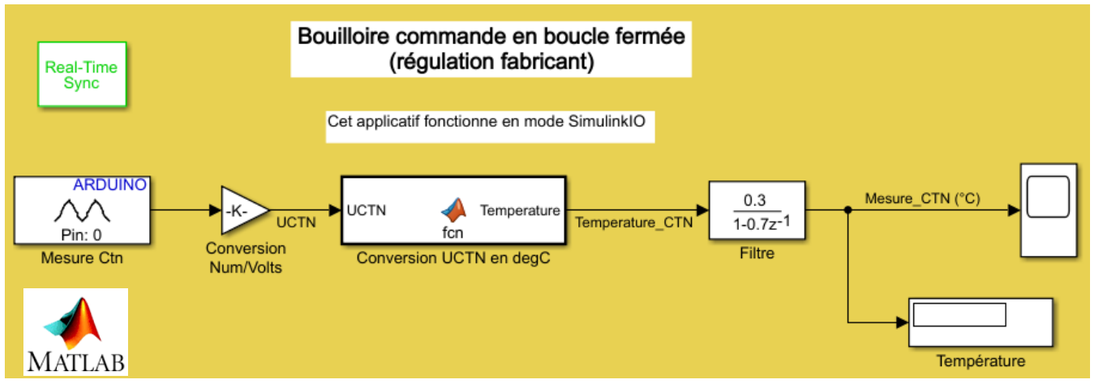
Conduire des essais en toute sécurité

Analyser des résultats d'expérimentation

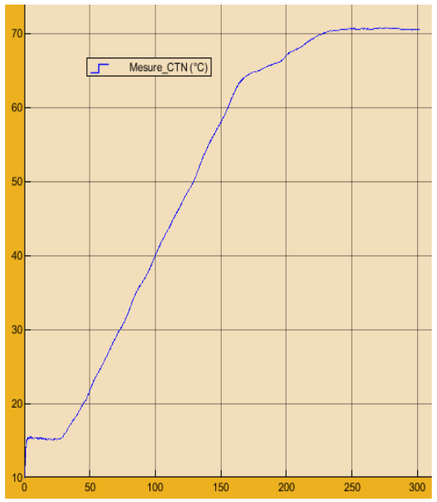
Analyser le comportement d'un système asservi

Vérification des performances de la régulation de température de la bouilloire





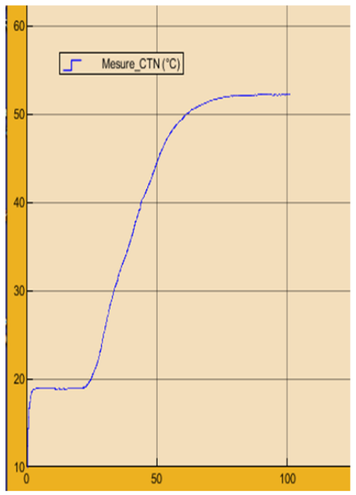
Essai avec 1 litre consigne 70°C
Température fin 70,6°C



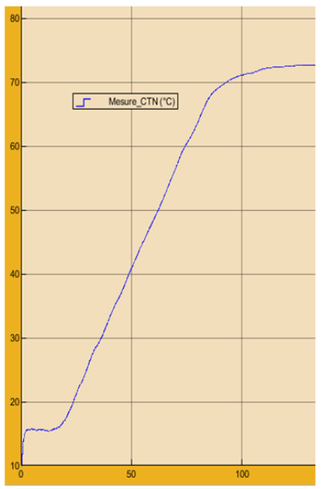
Avec consigne à 70°C et 1 litre on observe une bien meilleure précision. Sous réserves d'essais complémentaires confirmant cela, on peut dire que moins il y a d'eau et plus la performance de précision est difficile à respecter.

Essais avec 0,5 litre

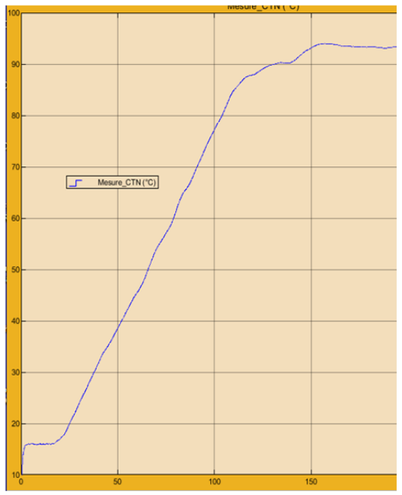
Consigne 50°C Temp fin 52,3°C



Consigne 70°C Temp fin 72,6°C



Consigne 90°C Temp fin 94°C



Les 3 critères de performance d'un système asservi sont la précision, la rapidité et la stabilité.

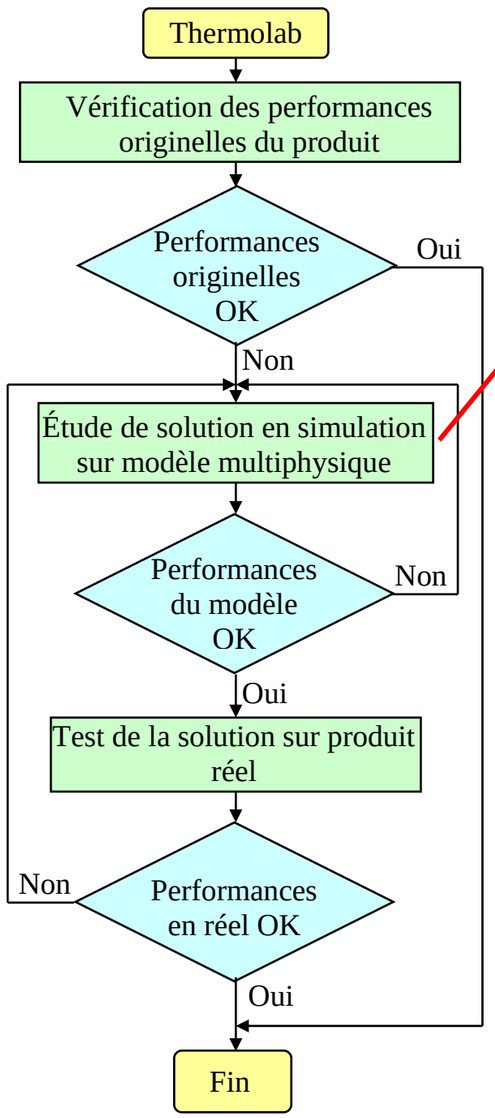
Concernant la précision on observe, à partir des différents relevés, que la température obtenue est toujours un peu supérieure à la consigne. À part à la consigne de 90°C avec 0,5 litre où le dépassement atteint 4°C, pour les autres essais on est dans la fourchette de précision attendue, c'est-à-dire + ou – 2,5°C par rapport à la consigne. Il faut toutefois noter que d'autres essais auraient pu montrer éventuellement de plus grands écarts. La cause de ces écarts est essentiellement due aux performances de l'algorithme du bloc "correcteur" géré par le programme du microcontrôleur.

Concernant la rapidité et la stabilité on observe que les performances sont bonnes dans tous les cas.

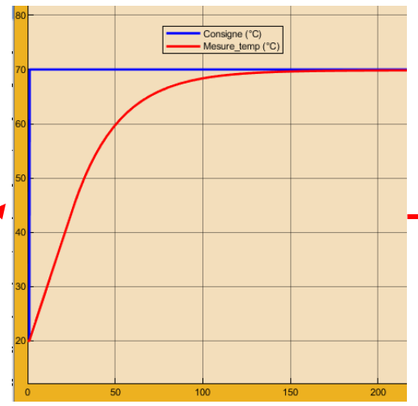
Exemples d'activités pédagogiques proposées

Adapter l'asservissement pour répondre à un nouveau cahier des charges : conserver la rapidité et la stabilité tout en améliorant la précision

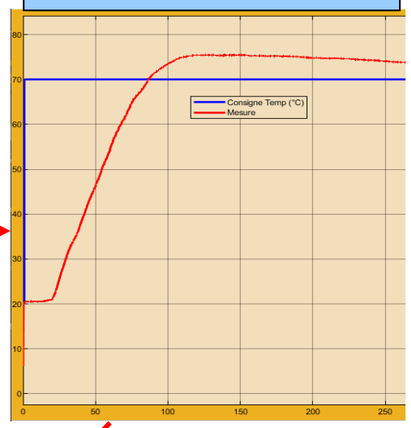
Démarche d'ingénierie assistée



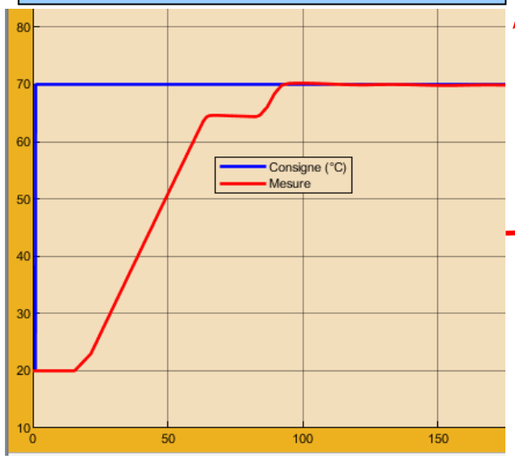
Réponse avec correcteur PI en simulation



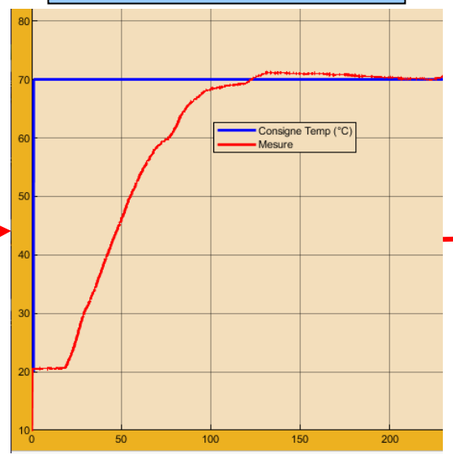
Réponse avec correcteur PI en réel



Amélioration du régulateur
Réponse avec correcteur PIR en simulation



Réponse avec correcteur PIR en réel



Objectif atteint

On observe que la réponse du système réel est très voisine de celle du modèle. Tout en conservant une bonne rapidité, la performance de précision est très bonne puisque l'erreur statique est de l'ordre de 1°C maxi.
Conclusion : ce TP a permis de montrer que le correcteur PIR est une des solutions pour réguler un système présentant un retard pur important par rapport au temps de montée

Conduire des essais en toute sécurité

Analyser des résultats d'expérimentation

Associer un modèle à un système asservi

Analyser le comportement d'un système asservi en exploitant un modèle multi-physique (jumeau numérique)

Exemples d'activités pédagogiques proposées

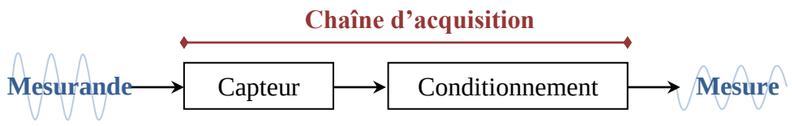
Conduire des essais en toute sécurité

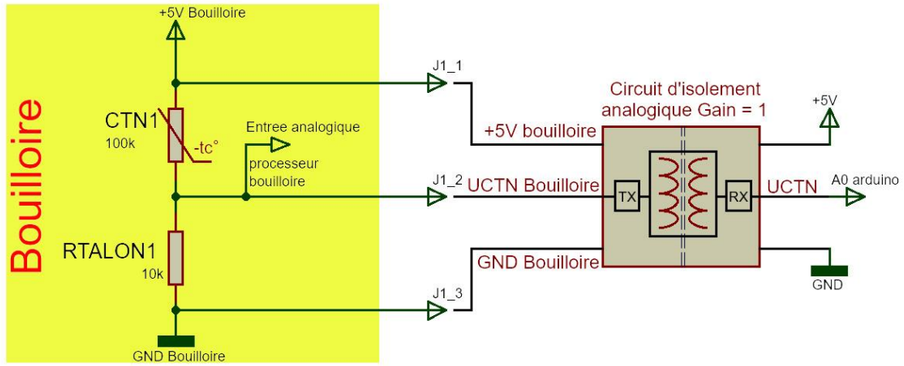
Analyser des résultats d'expérimentation

Caractériser un constituant

Qualifier une chaîne de mesurage

Caractérisation/qualification de la chaine de mesure de la température de la bouilloire



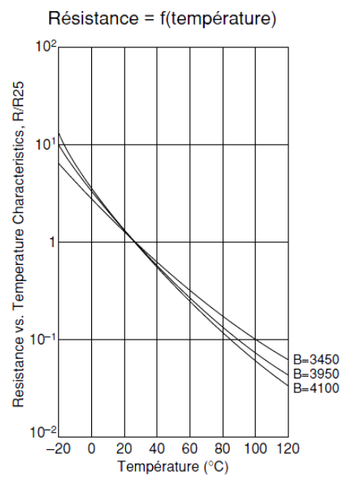


Thermistance CTN

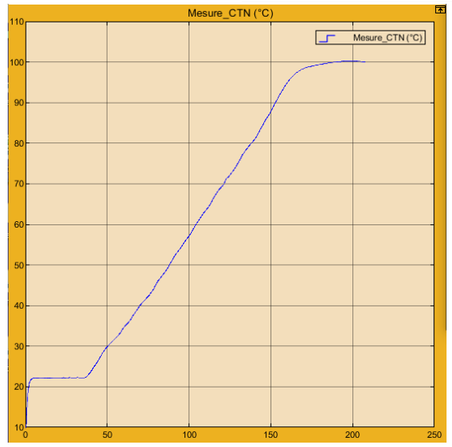
Loi caractéristique :

$$R = R_0 \cdot e^{B(1/T - 1/T_0)}$$

R = résistance à la température T (R en Ohms, T en °K)
R_0 = résistance à la température T_0
B = constante caractéristique de la CTN (en K)



Caractérisation de la chaine de mesure

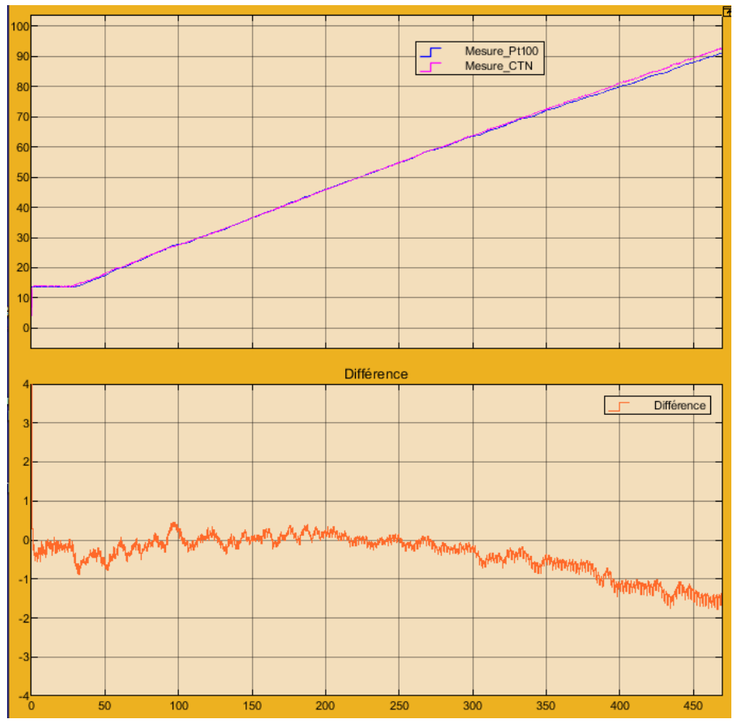


On observe que la température finale affichée est sensiblement de 100°C comme attendu, la température initiale également.

D'autre part la montée est sensiblement linéaire comme attendu aussi.

On peut conclure que, sous réserve de confrontation avec une chaine de mesure étalon (cf. 2ème partie), la caractérisation de la chaine d'acquisition de la température est correcte

Qualification de la chaine de mesure par comparaison avec une sonde étalon



Comme attendu les 2 courbes se superposent nettement. L'observation de la différence montre que l'écart entre les 2 courbes est compris entre environ +0,5°C et -1,5°C.

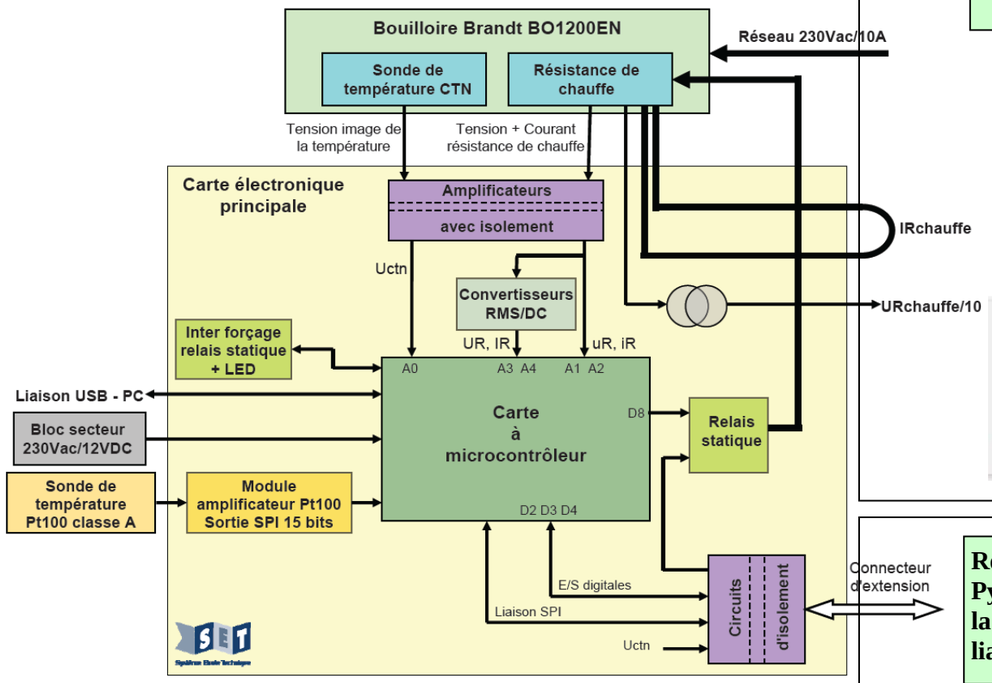
À la réserve près que l'essai a été stoppé à 90°C, on constate que la chaine de mesure de la bouilloire respecte l'écart théorique maxi attendu de ± 2°C.

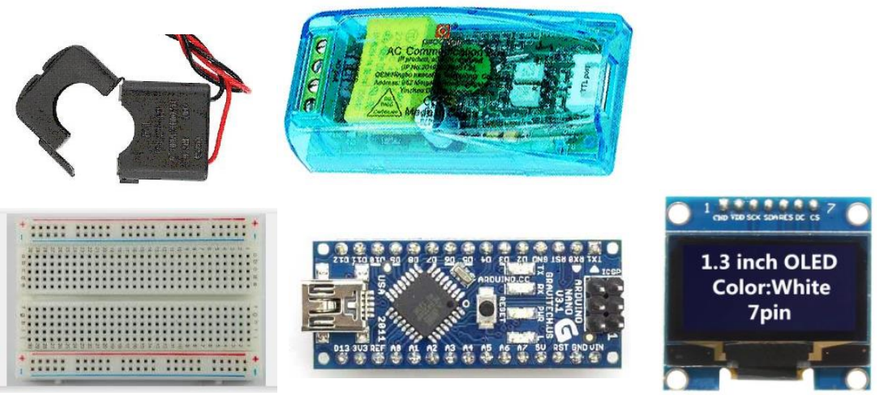
On peut donc conclure que la chaîne de mesure de la bouilloire est qualifiée.

Exemples d'activités pédagogiques proposées

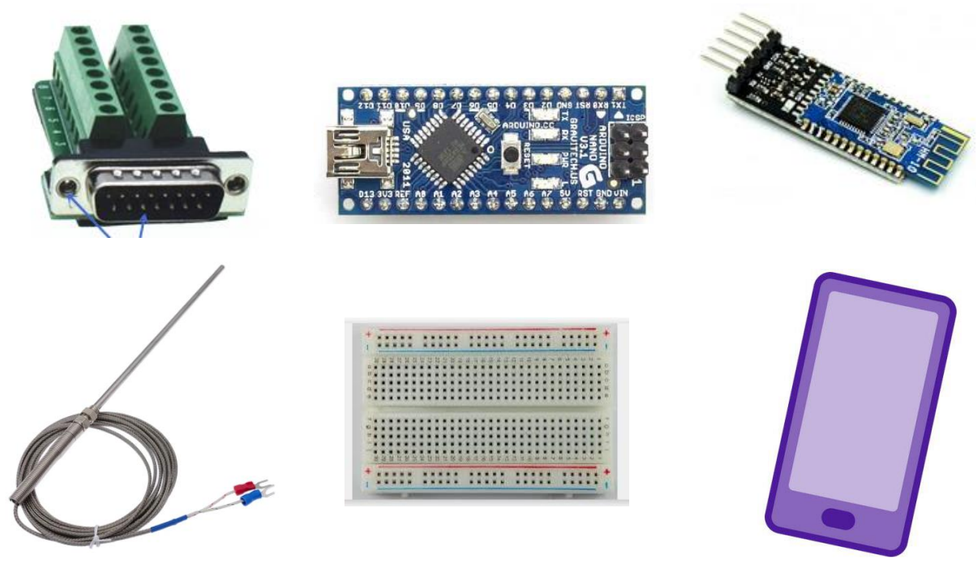
Exemples de projet

Réalisation d'un appareil de mesure de la tension, du courant et de la puissance dans la résistance de chauffe et calcul de l'énergie





Réalisation d'une commande de la chauffe en boucle fermée via un PC sous Python avec mesure de la température soit par la sonde de la bouilloire soit par la sonde CTN fournie. Des informations sont transmises à un smartphone par liason bluetooth.



python™

ARDUINO

www.setdidact.com