



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 fin et la régulation précise de la température.

Ainsi, la bouilloire électrique sur laquelle s'appuie le produit didactique ThermoLabV2, permet de régler la température de 40°C à 100°C par pas de 10°C, lisible au degré près sur un afficheur numérique.

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

Le produit didactique 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 produit didactique 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 ceux du design ou des matériaux.

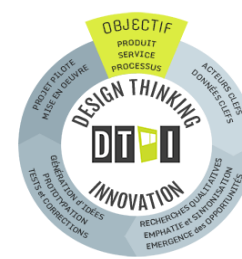


Exemples d'activités pédagogiques proposées

Améliorer l'existant

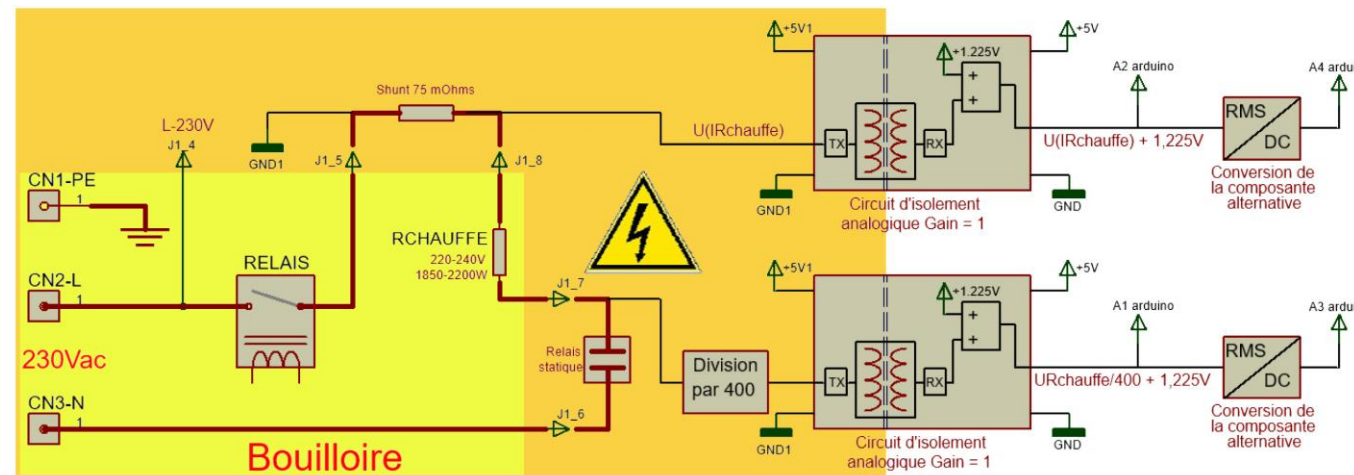
Élaborer une démarche globale d'innovation
L'approche design des produits

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



Expérimenter-analyser la chaîne de puissance d'un produit

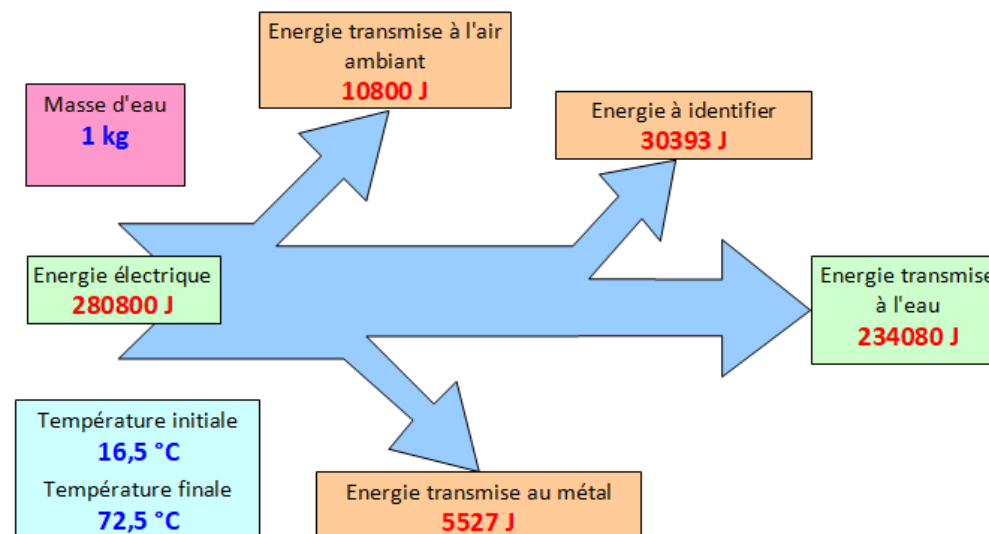
- Prévoir l'ordre de grandeur de la mesure
- Conduire des essais en toute sécurité
- Analyser des résultats d'expérimentation en vue, notamment, de quantifier les écarts de performances entre les valeurs attendues et les valeurs mesurées
- Typologie des chaînes de puissance
- Conversion/modulation de puissance



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

$m_{\text{eau}} = 1 \text{ kg}$ $c_{\text{eau}} = 4180 \text{ J/K}^{-1}$
 $m_{\text{cuve}} = 0,17 \text{ kg}$ $m_{\text{semelle}} = 0,04 \text{ kg}$ $c_{\text{inox}} = 470 \text{ J/K}^{-1}$
 $W = (1 * 4180 + (0,17 + 0,04) * 470) * (100 - 20) = 342296 \text{ J}$

Au -1.1- on a déterminé l'énergie à fournir $W = 342296 \text{ J}$
 Pour un temps de chauffe de 3 minutes maxi on détermine $P_{\text{mini}} = W / t_{\text{ps maxi}}$
 Soit $P_{\text{mini}} = 342296 / 180 = 1901 \text{ W}$
 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 :

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

$W_{\text{échauffement}}$ = énergie (en J)

m = masse de l'eau (en kg)

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

θ_{eau} = température de l'eau (en K)

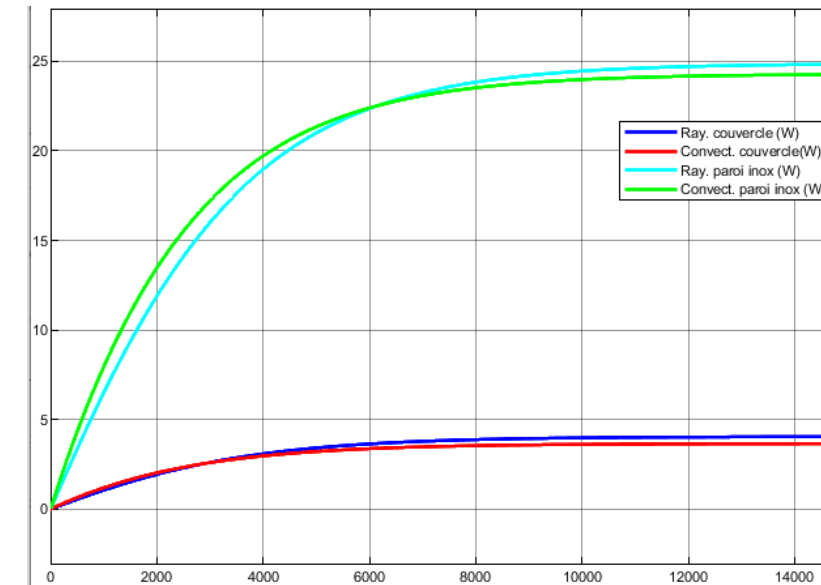
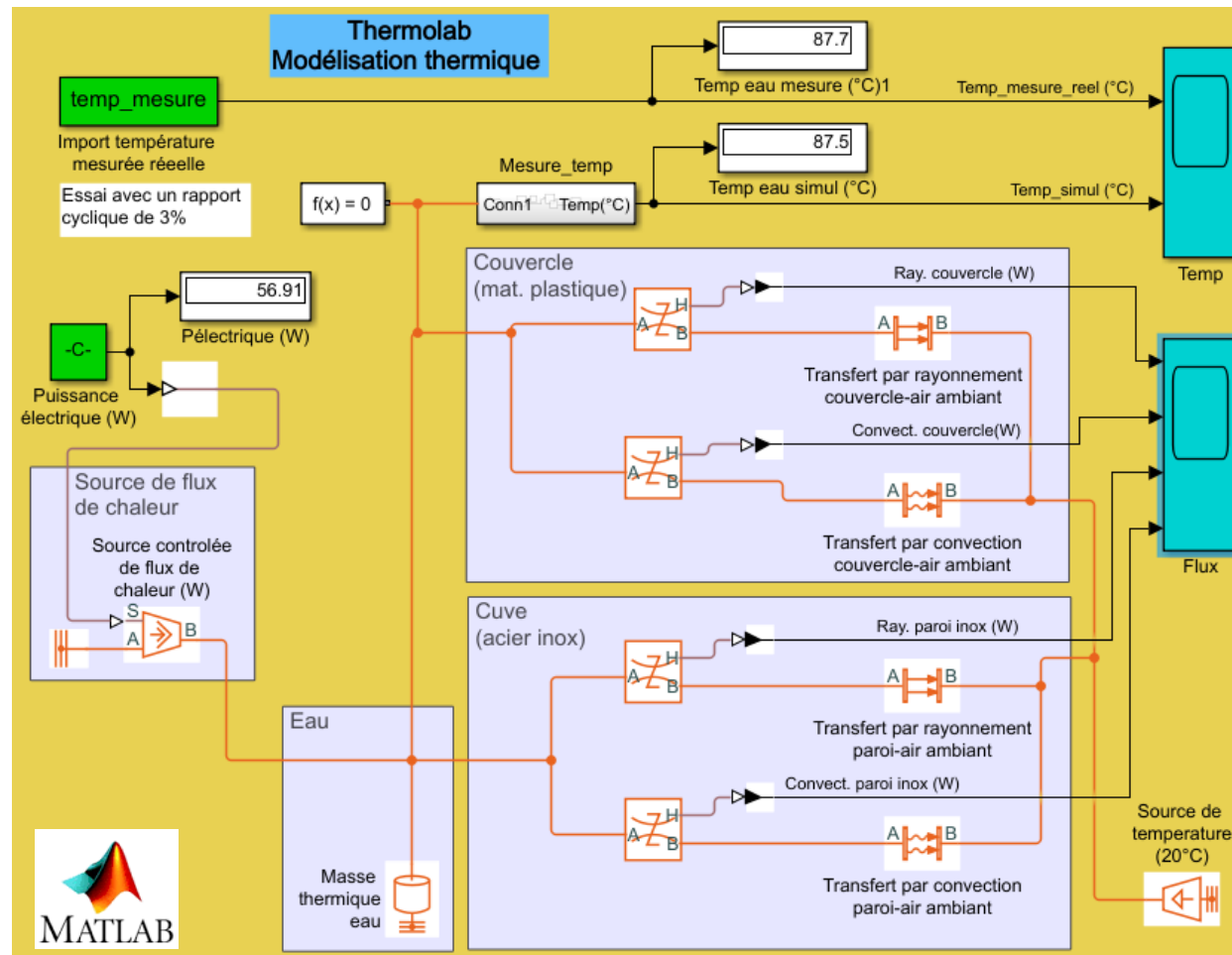
On sait par ailleurs que la relation entre l'énergie (en J) et la puissance (en W) est $P = dW/dt$ d'où :

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



Exemples d'activités pédagogiques proposées

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.

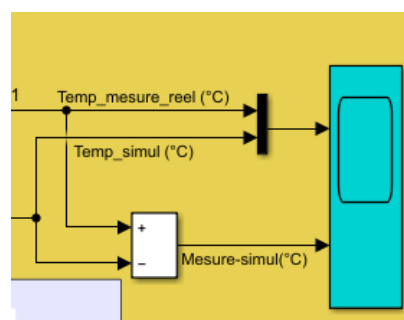


On observe que les transferts thermiques par rayonnement sont à peu près égaux aux transferts thermiques par convection. Sur le plan quantitatif les flux de rayonnement et de convection de la paroi inox valent environ 25W chacun alors que les flux de rayonnement et de convection du couvercle sont aux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

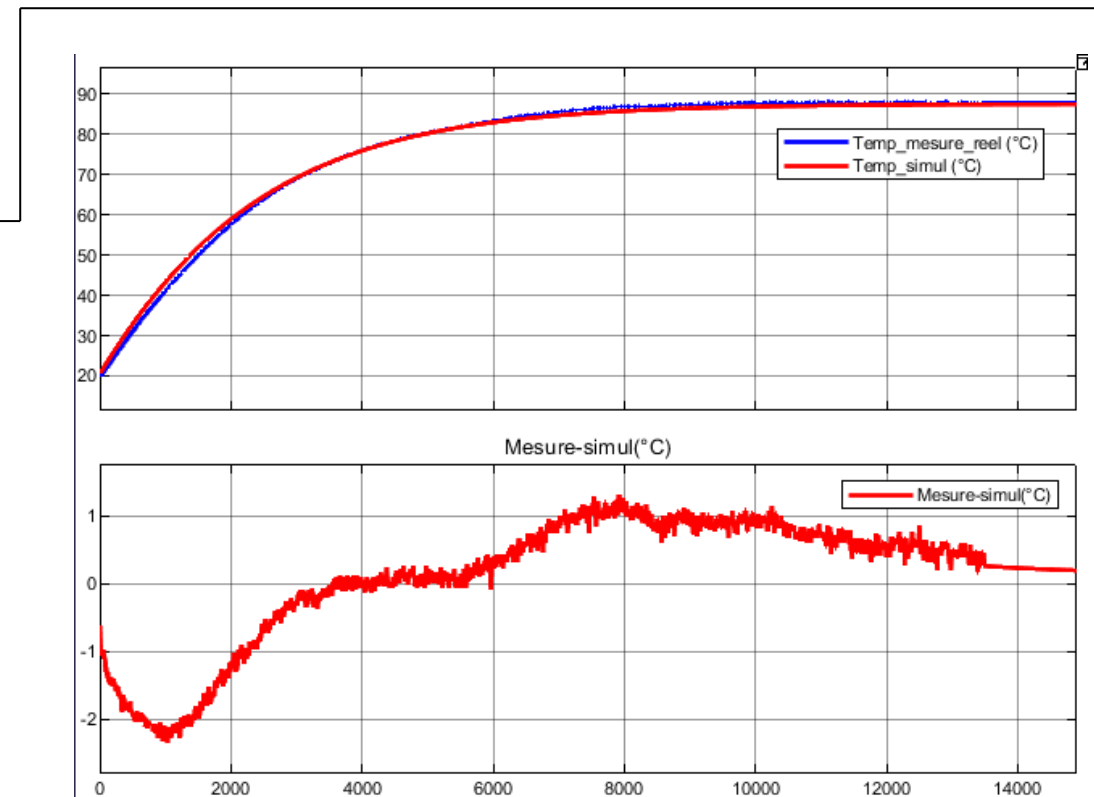
Construire/compléter/
paramétrer un modèle
multi-physique

Valider le modèle à partir
des résultats
d'expérimentations

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



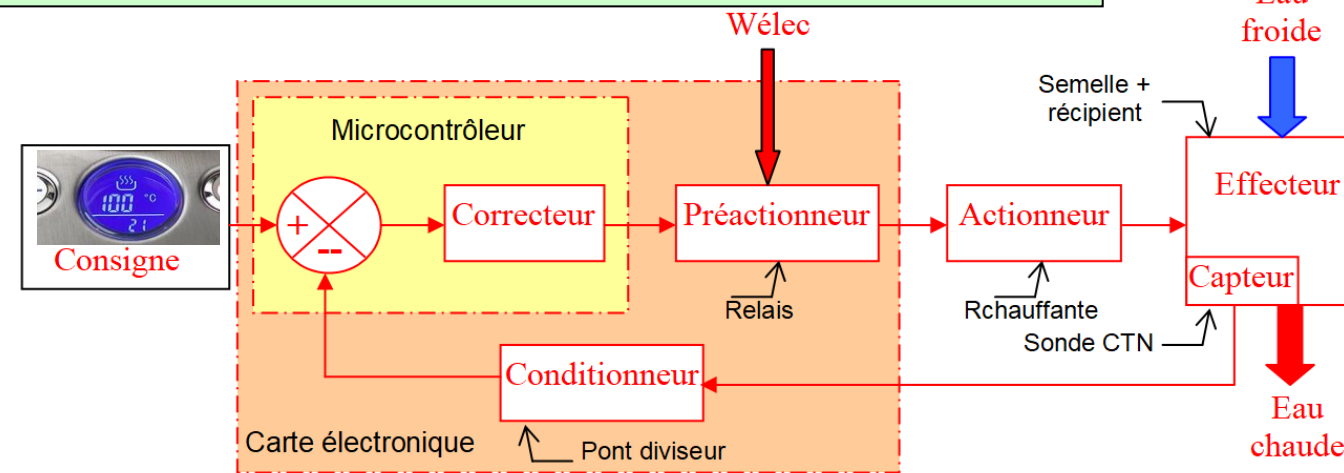
On constate que l'écart entre la température mesurée réelle et la température obtenue par simulation reste entre environ +1°C et -2°C, correspondant à quelques % en valeur relative. On peut en conclure que le modèle est très proche du réel



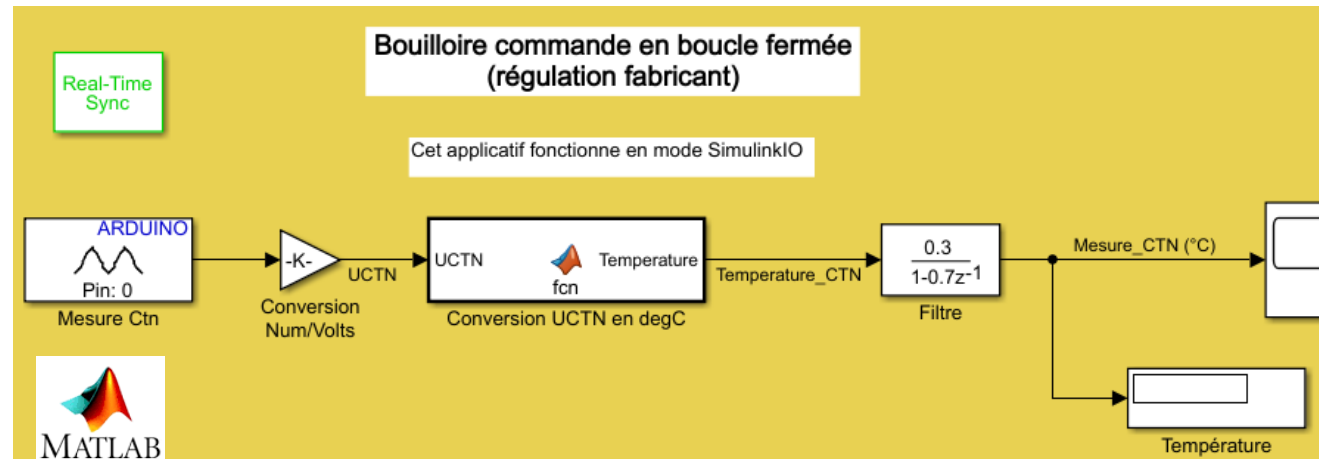


Exemples d'activités pédagogiques proposées

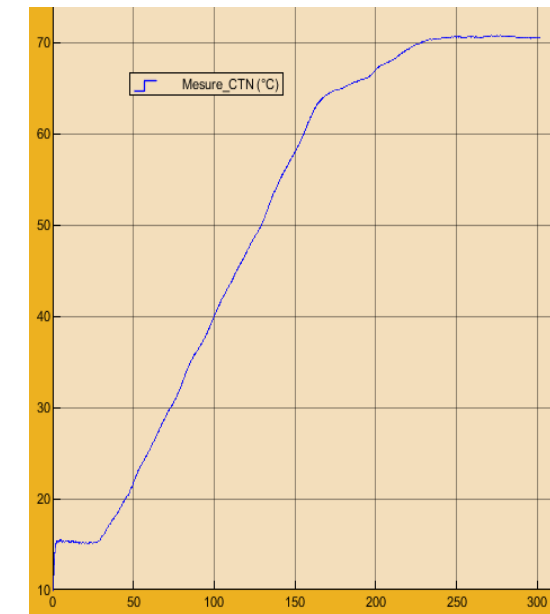
Vérification des performances de la régulation de température de la bouilloire



Bouilloire commande en boucle fermée (régulation fabricant)



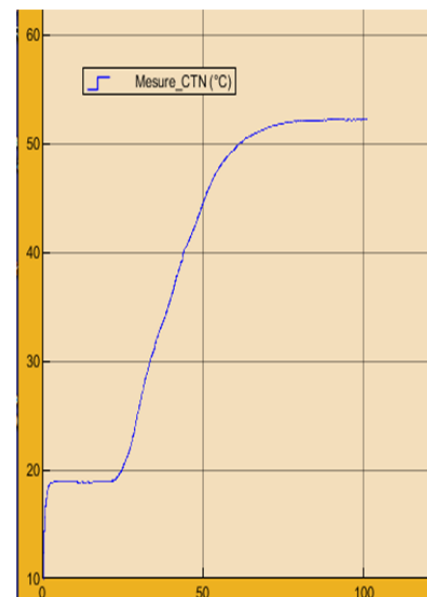
Essai avec 1 litre consigne 70°C Température fin 70,6°C



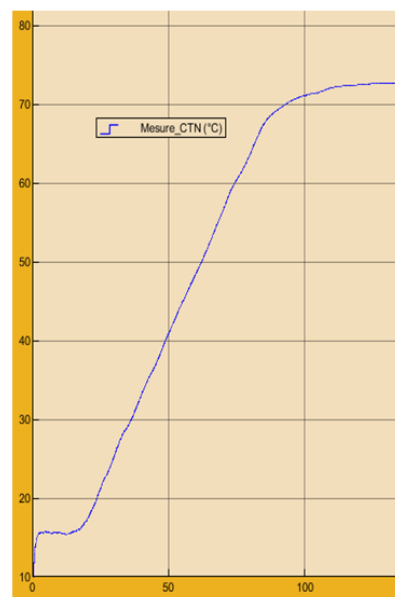
Avec consigne à 70°C et 1 litre on observe une bien meilleure précision. Sous réserves d'essais complémentaires confirmant cela, on peut dire que moins il y a d'eau et plus la performance de précision est difficile à respecter.

Essais avec 0,5 litre

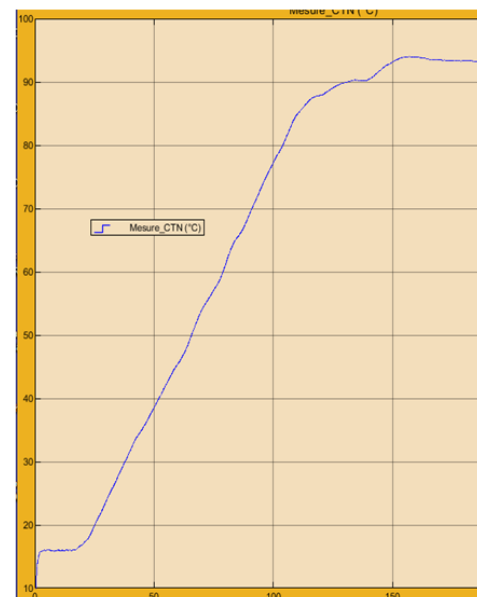
Consigne 50°C Temp fin 52,3°C



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.

Conduire des essais en toute sécurité

Analyser des résultats d'expérimentation

Analyser le comportement d'un système asservi



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

Thermolab

Vérification des performances
originelles du produit

Performances
originelles
OK

Oui

Non

Étude de solution en simulation
sur modèle multiphysique

Performances
du modèle
OK

Non

Oui

Test de la solution sur produit
réel

Performances
en réel OK

Non

Oui

Fin

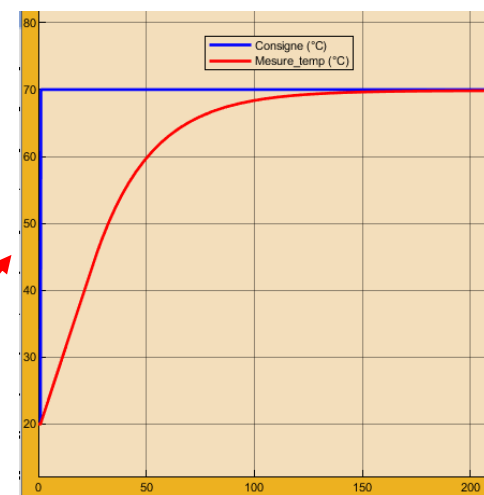
Conduire des essais en
toute sécurité

Analyser des résultats
d'expérimentation

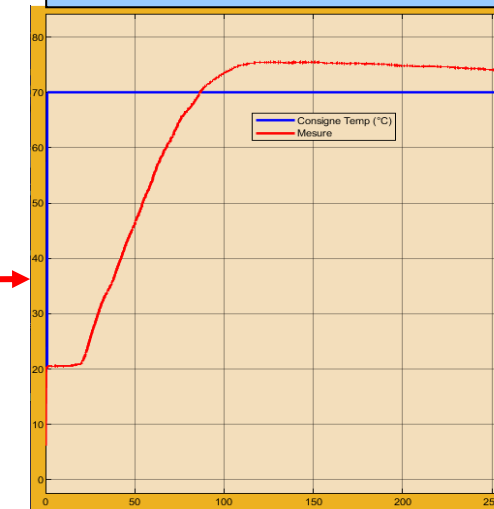
Associer un modèle à un
système asservi

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

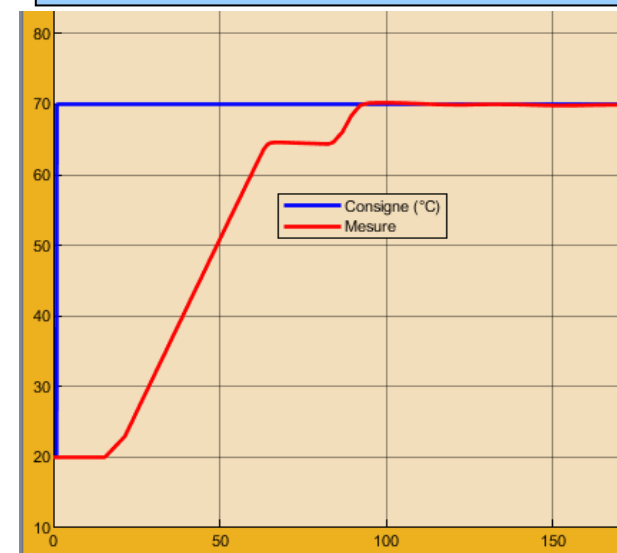
Réponse avec
correcteur PI en simulation



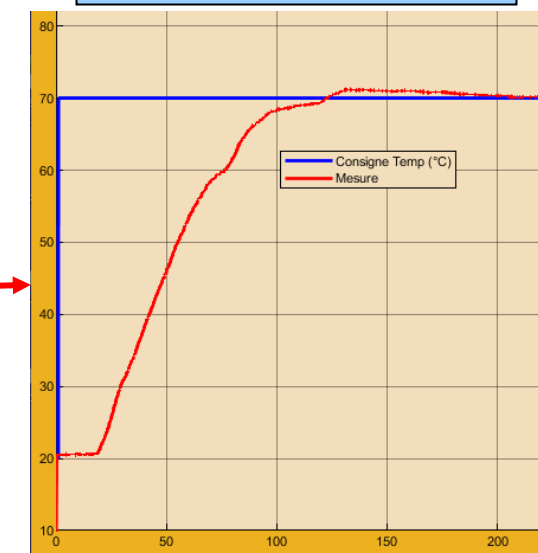
Réponse avec
correcteur PI en réel



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.

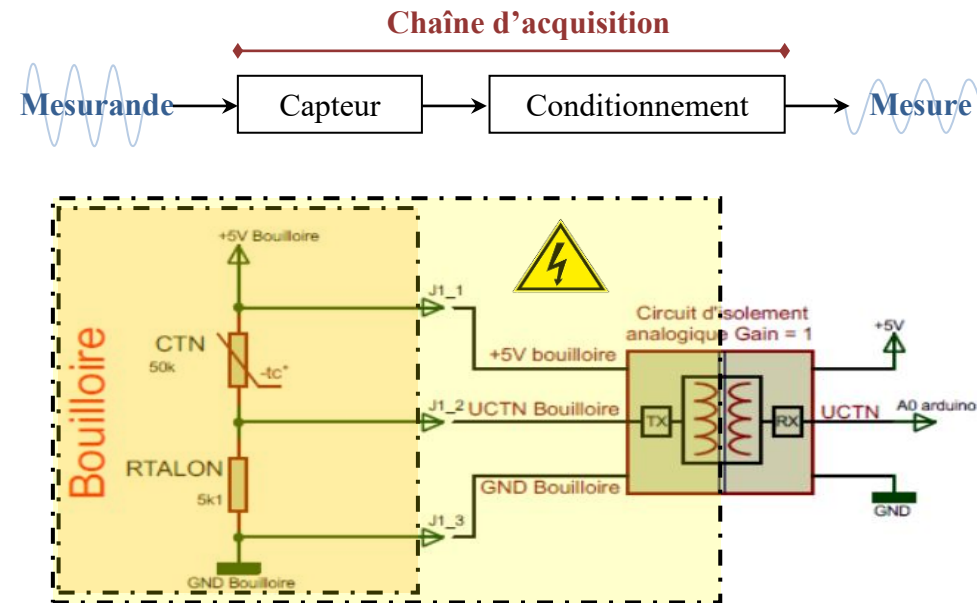
Conclusion : ce TP a permis de montrer que le correcteur PIR est une des solutions pour réguler un système présentant un retard pur important par rapport au temps de montée



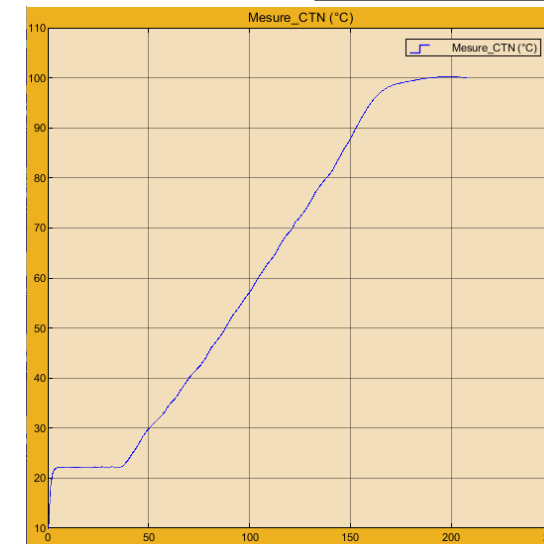


Exemples d'activités pédagogiques proposées

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



Caractérisation de la chaîne 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 chaîne de mesure étalon (cf. 2^{ème} partie), la caractérisation de la chaîne d'acquisition de la température est correcte

Conduire des essais en toute sécurité

Analyser des résultats d'expérimentation

Caractériser un constituant

Qualifier une chaîne de mesure

Thermistance CTN

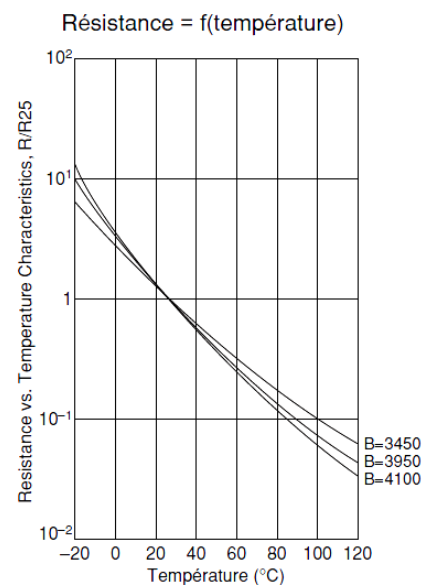
Loi caractéristique :

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

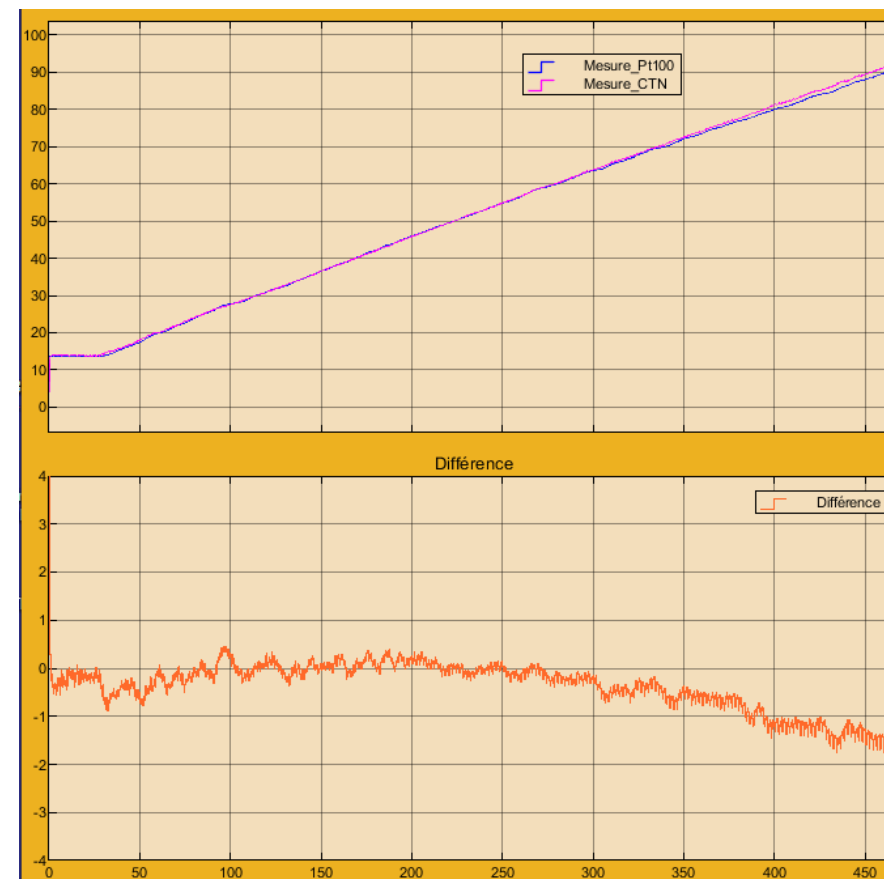
R = résistance à la température T (R en Ohms, T en °K)

R₀ = résistance à la température T₀

B = constante caractéristique de la CTN (en K)



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



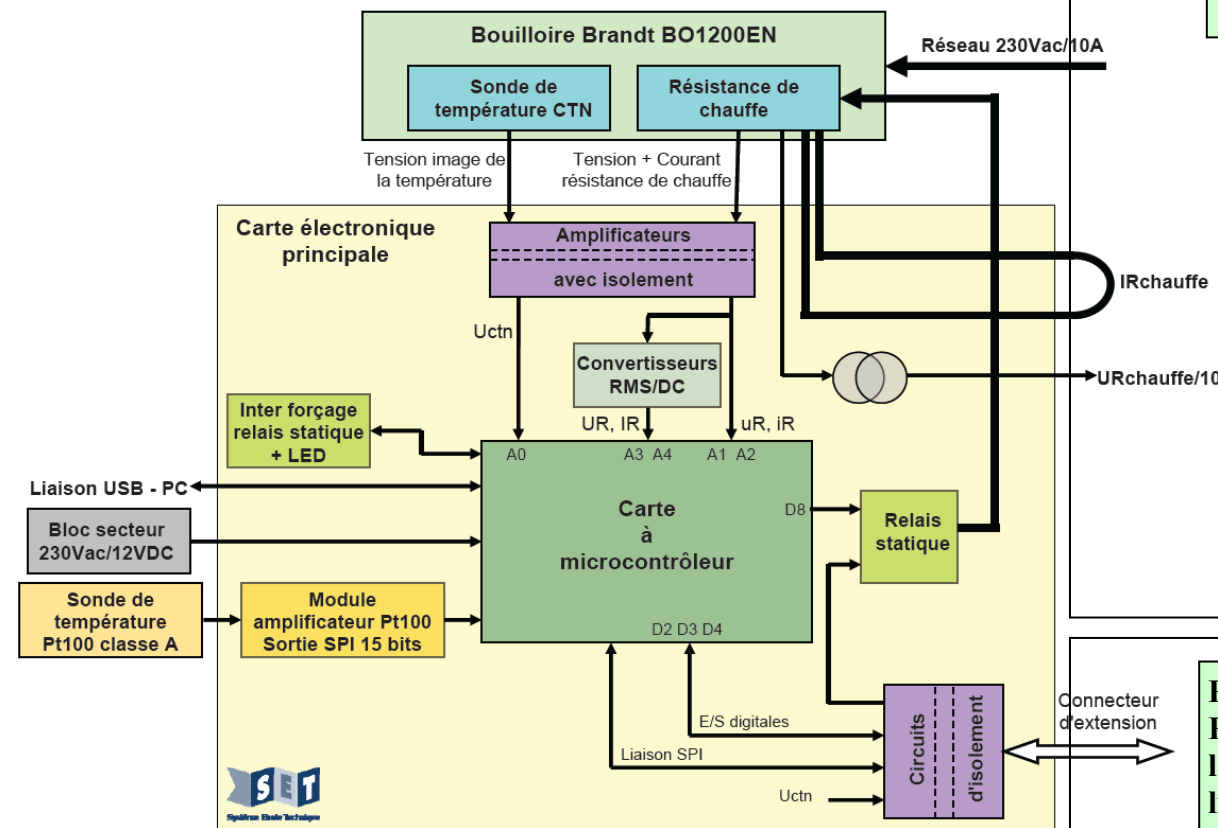
Comme attendu les 2 courbes se superposent nettement. L'observation de la différence montre que l'écart entre les 2 courbes est compris entre environ +0,5°C et -1,5°C.

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

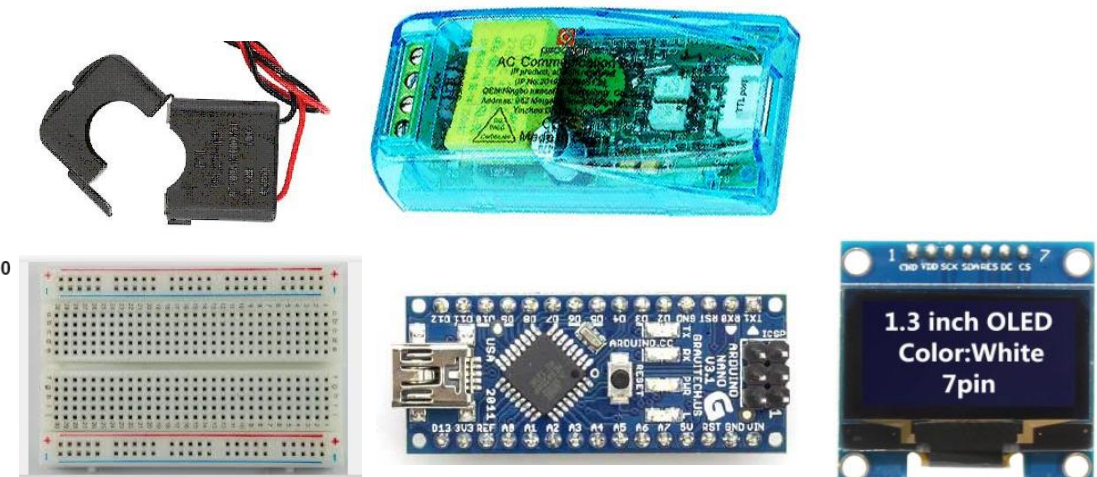
On peut donc conclure que la chaîne de mesure de la bouilloire est qualifiée.



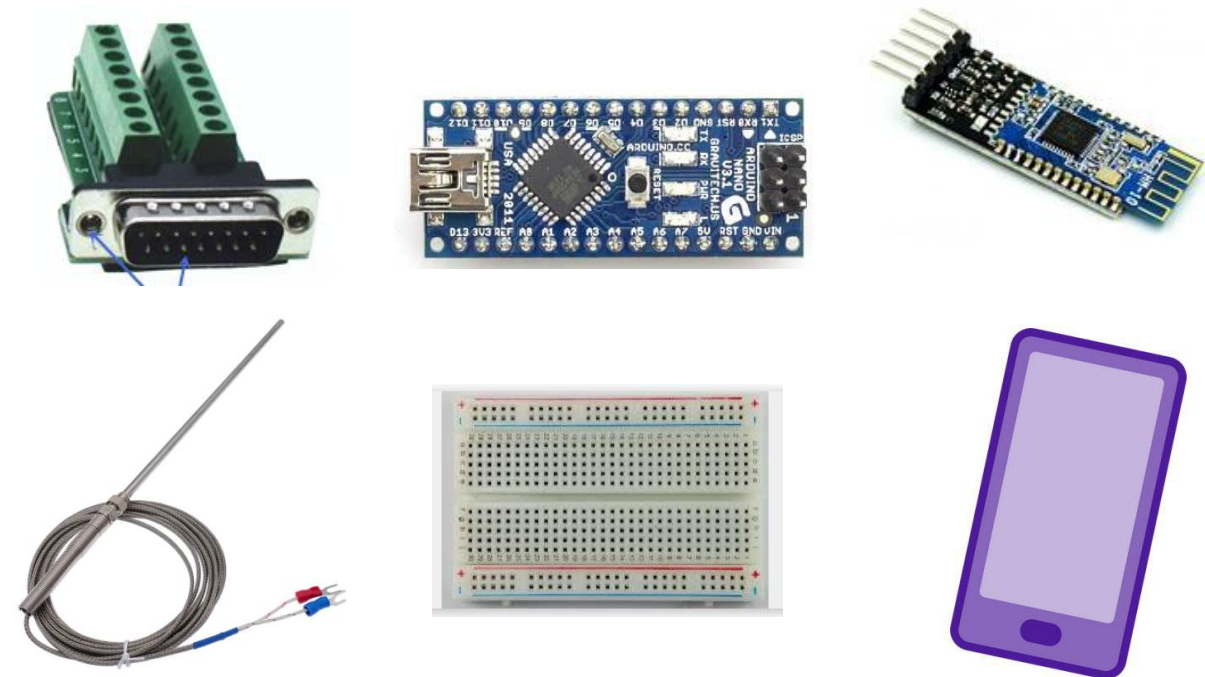
Exemples d'activités pédagogiques proposées



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 liaison bluetooth.



Exemples de projet

www.setdidact.com