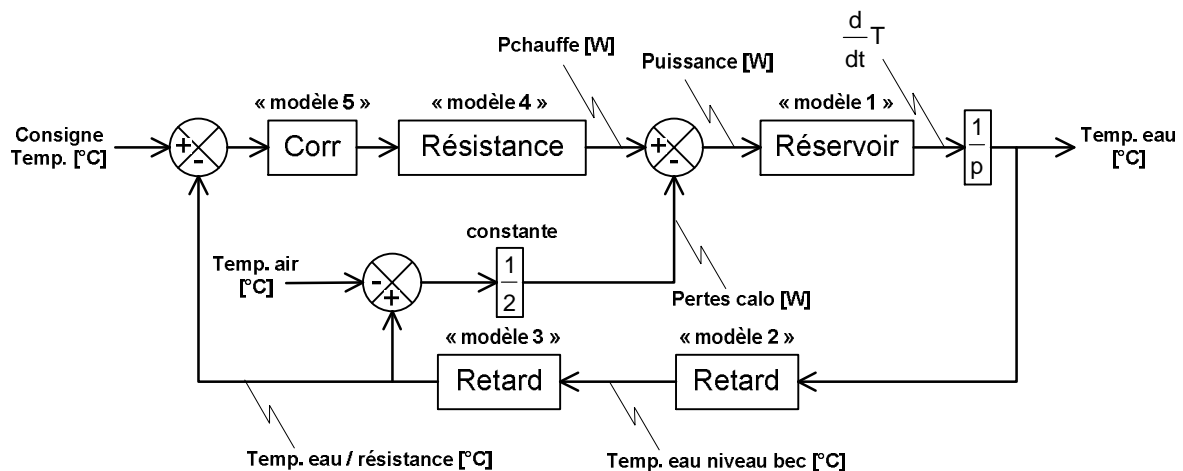


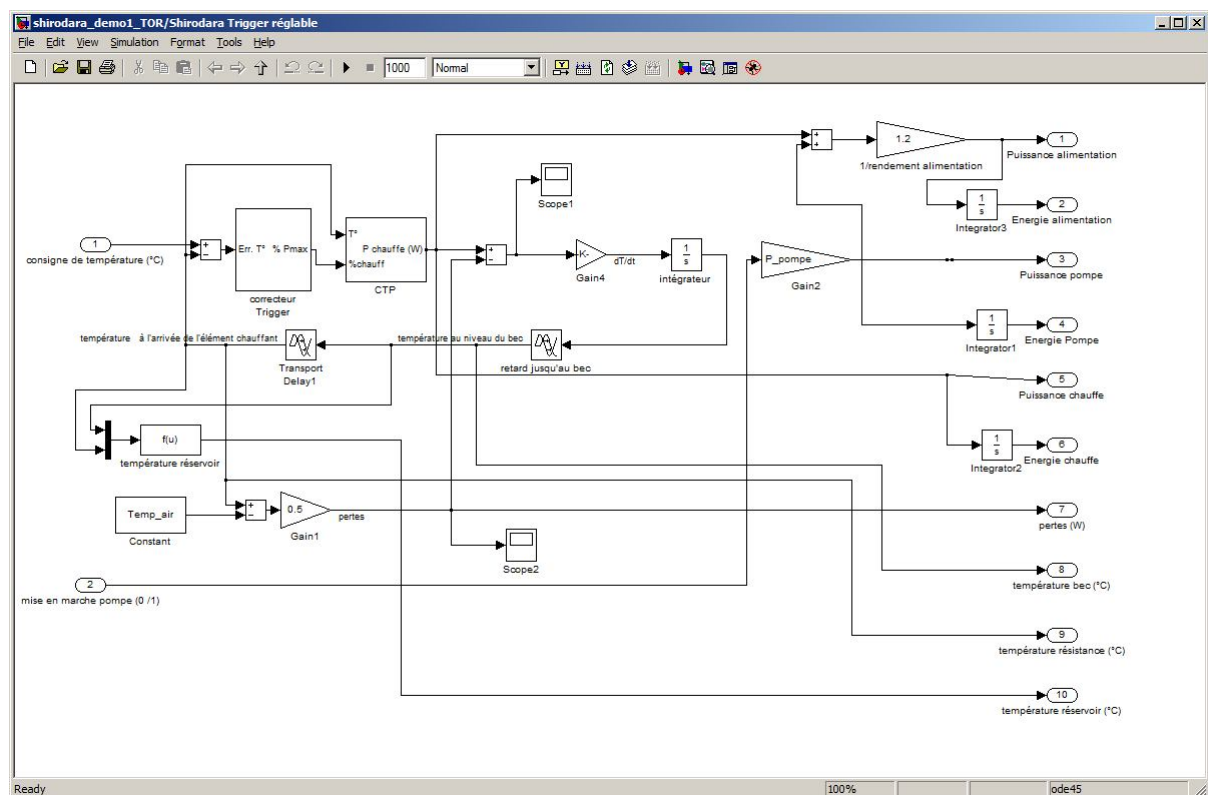
Je me suis concentré sur la régulation de base...Il existe d'autres versions utilisant d'autres types de correcteurs (notamment un PID, Cf. page 4) mais qui ne sont que des variantes (ou modifications partielles) du modèle de base que je me propose de décrire.

Modèle régulation « TOR, Trigger réglable »

Pour plus de clarté, j'ai retracé le schéma-bloc de cette commande sous sa forme classique, ce qui donne :



En relation avec sa forme « Matlab/Simulink » :



En plus du calcul de la température de l'eau proprement dite, on retrouve en plus d'autres calculs de variables comme la température du réservoir, la puissance consommée par la pompe,... qui ne sont pas utiles directement dans le schéma-bloc du modèle de la régulation en température.

RQ : le modèle de comportement est des plus « classique ». Au premier ordre, on peut écrire que la variation temporelle de température T est liée (via un coef. d'échange) à la différence entre la puissance apportée par la résistance P_{chauffe} et aux pertes calorifiques P_{pertes}, soit l'équation

différentielle $K \frac{dT}{dt} = P_{chauffe} - P_{pertes}$.

Comme d'habitude, toute la difficulté réside dans le choix et le calage des constantes des différents modèles de comportement thermodynamique.

Je détaille à présent les modèles utilisés :

« Modèle 1 » : loi de comportement du réservoir

Permet de déterminer la température de l'eau en fonction de la puissance apportée et d'un coefficient d'échange thermique, soit :

$$\frac{dT}{dt} = K * \Delta P \text{ avec } \Delta P = P_{chauffe} - P_{pertes} \text{ et } K = \frac{1}{C * V} = \frac{1}{4,18 * vol_{eau}} \text{ en } [^{\circ}C/J]$$

« Modèle 2 » : retard lié aux transferts thermiques

Modélise le transfert thermique cuve → bec, ce qui permet d'estimer la température de l'eau au niveau du bec, soit :

$$\text{Constante de retard : } T_{r1} = \frac{vol_{retour}}{Q_{nom}} \text{ avec } Q_{nom} : \text{débit nominal en } [m^3/s] \text{ et } vol_{retour} \text{ en } [m^3]$$

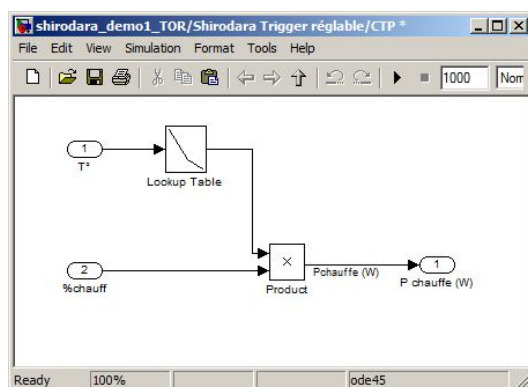
« Modèle 3 » : retard lié aux transferts thermiques

Modélise le transfert thermique bec → résistance, ce qui permet d'estimer la température de retour l'eau (en retour) qui entre en contact de l'élément chauffant, soit :

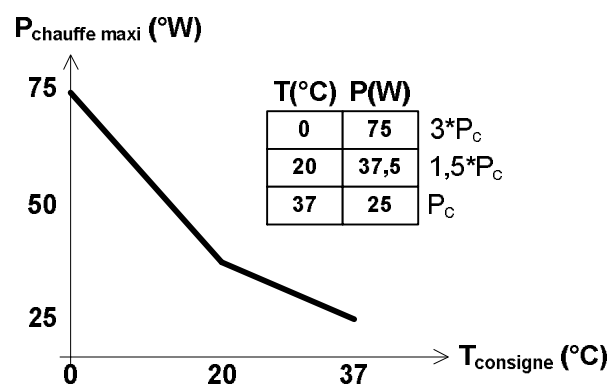
$$\text{Constante de retard : } T_{r2} = \frac{vol_{eau} - vol_{retour}}{Q_{nom}}$$

« Modèle 4 » : loi de comportement de la résistance chauffante

La puissance de chauffage est estimée grâce à une interpolation de 3 points caractéristiques (utilisation du bloc « Lookup Table ») qui fournit une puissance « brute » qui multipliée par un signal binaire (1 ou 0) issu du bloc « correcteur Trigger », détermine la puissance fournie par l'élément chauffant. A noter que P_c (puissance nominale élément chauffant) est réglable dans le masque principal, ici P_c = 25W)



Bloc « détermination de la puissance de chauffe »



Modèle de comportement « Lookup Table »

« Modèle 5 » : correcteur Trigger

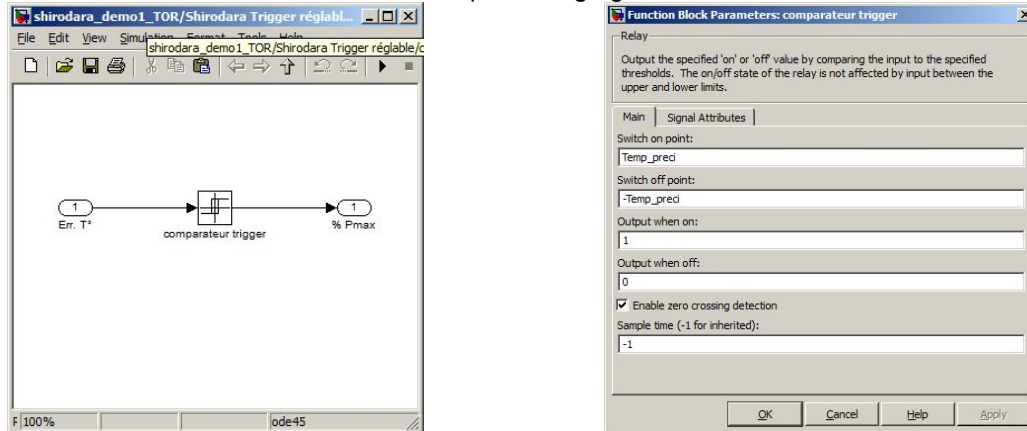
Modèle discontinu (TOR) qui à partir du calcul de l'écart de température (consigne – température de retour), affecte le signal de sortie de la valeur 1 ou 0, soit :

Si $\Delta T = T_{cons} - T_{retour}$, alors :
 si $\Delta T \in [-\varepsilon; +\varepsilon]$ alors %P_{max} = 0
 si $\Delta T \notin [-\varepsilon; +\varepsilon]$ alors %P_{max} = 1

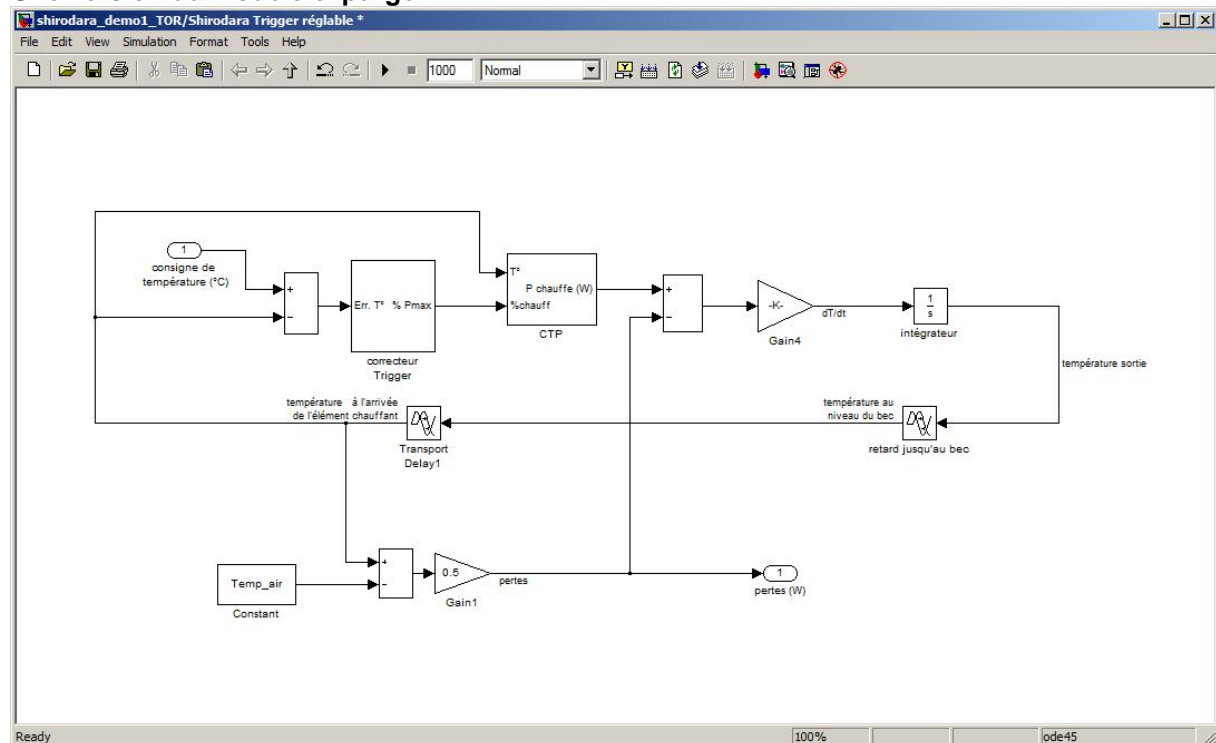
ε : précision désirée (réglage sur le masque, notée « précision de la température requise » en [°C])

RQ : Le modèle retenu pour ce bloc est non linéaire.

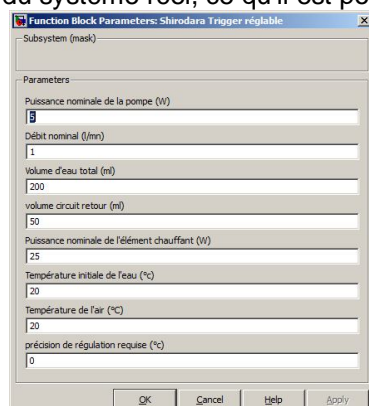
Le bloc du correcteur TOR et son masque de réglage sont donnés ci-dessous :



Une version du modèle expurgé...



Dans ce modèle, on doit indiquer les valeurs de toutes ces constantes (conditions paramétrables) suivantes. Aucune indications sur les valeurs données par défaut, les plages de variations, les données du système réel, ce qu'il est possible de faire varier sur le système,...

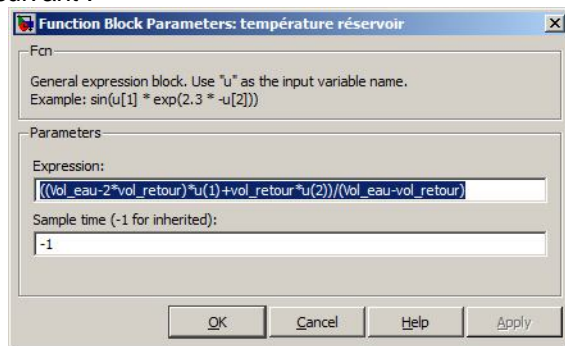


On remarque en particulier que le débit de la pompe est constant (indiquer la puissance de la pompe n'a pas d'influence sur les perfs du modèle de commande).

Le modèle construit ne tiens pas compte de la mise en marche ou non de la pompe (le switch du SB principal est trompeur !). Celle-ci est supposée débiter en permanence.

La valeur du débit influence le calcul des deux constantes de retard.

RQ : Un calcul estimant la température de l'eau contenue dans le réservoir est donné grâce au bloc suivant :



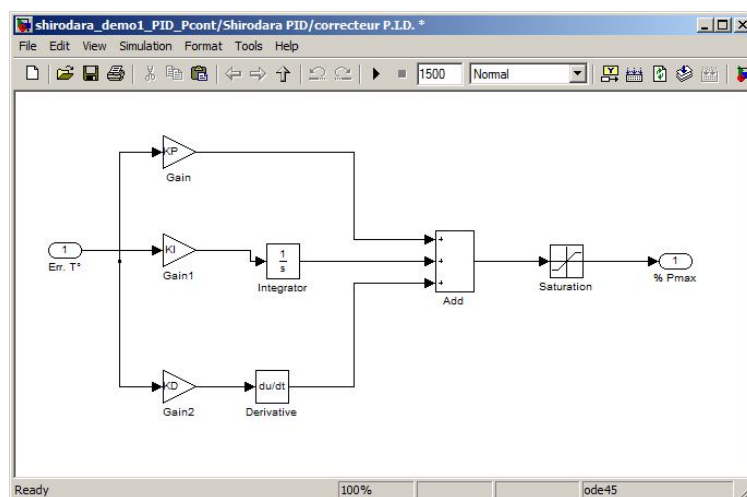
On note que, dans la relation déclarée :

$u(1)$ → représente la température de l'eau au niveau du bec ;

$u(2)$ → représente la température de retour l'eau (en retour) qui entre en contact de l'élément chauffant ;

Les 2 volumes (vol_{eau} et vol_{retour}) sont accessibles via le masque principal (page précédente)

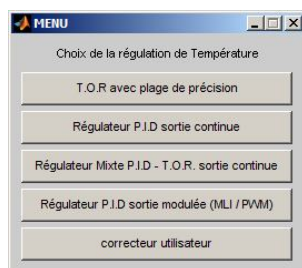
RQ : Pour ce qui est des modèles avec correcteur PID, on remplace le « **modèle 5** » par ce bloc « classique ». On peut régler les 3 constantes KP (proportionnel), KI (intégral) et KD (dérivé).



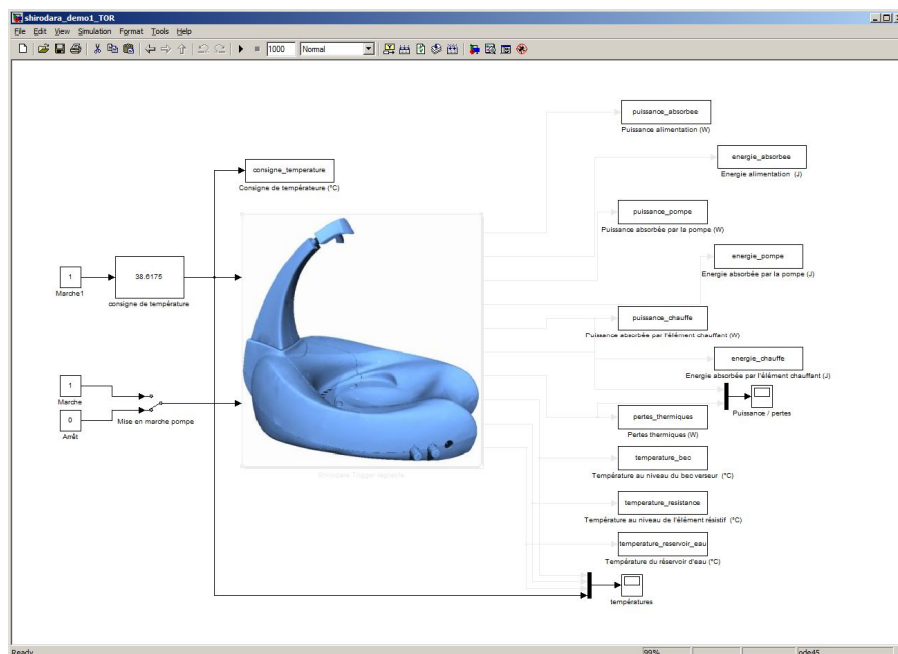
Le reste du schéma-bloc demeure inchangé et utilise les mêmes modèles d'échange thermique.

PROCEDURE de SIMULATION

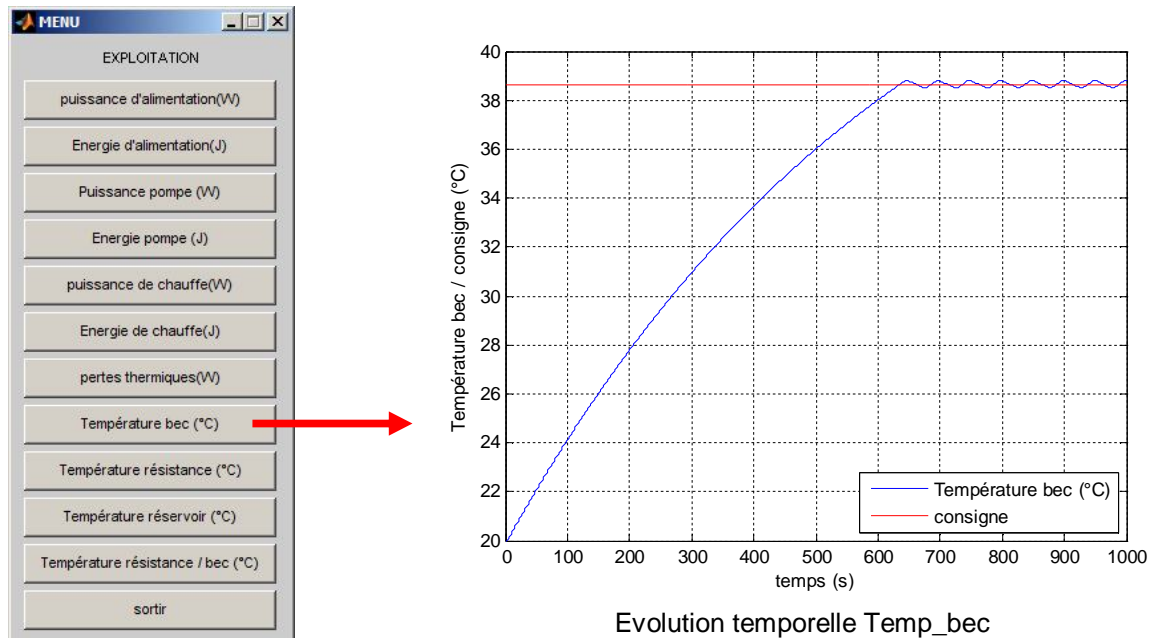
On tape « init » dans la fenêtre de commande de Matlab ; le menu suivant apparaît :



On choisit 'TOR', le 1^{er}, ce qui ouvre le modèle « Simulink » ci-contre :



La simulation effectuée, il est possible tracer un certain nombre de courbe d'une manière automatique grâce à l'appel au programme « exploitation.m », ce qui donne le menu suivant :



CONCLUSION

Pour ce que je peux en juger après avoir manipulé tous les fichiers « Matlab/Simulink » :

- Bonne structuration de la programmation avec un fichier d'initialisation permettant le choix du correcteur et du fichier d'exploitation assurant le « post processing » de manière automatique et transparente. Pour un utilisateur peu expérimenté sur « Matlab », la procédure de simulation est simple et très stable (le pas de temps par défaut est de 1/100 s ce qui assure la convergence au détriment de la rapidité...) ;
- Le choix et le calage des modèles de dissipation, convection et conduction thermique peut prêter à controverse mais il demeure cohérent avec l'idée principale du concepteur ;
- Il me semble qu'il manque des justifications des modèles choisis, des constantes, des plages de variations et de la relation entre les valeurs numériques et les possibilités du système réel. En bref, pour quelqu'un qui ne connaît pas le système réel, peut-il déterminer l'ordre de grandeur de tous ces paramètres ?
- Enfin, une comparaison entre les résultats de la simulation et des mesures expérimentales semble incontournable.