



Modélisation des échanges thermiques dans une chaudière à accumulation sous différentes conditions d'utilisation

Hanen Aloui, Imen Hmouda, Chiheb Bouden

► To cite this version:

Hanen Aloui, Imen Hmouda, Chiheb Bouden. Modélisation des échanges thermiques dans une chaudière à accumulation sous différentes conditions d'utilisation. JITH 2007, Aug 2007, Albi, France. 5p. hal-00155622

HAL Id: hal-00155622

<https://hal.science/hal-00155622>

Submitted on 29 Aug 2007

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

MODELISATION DES ECHANGES THERMIQUES DANS UNE CHAUDIERE A ACCUMULATION SOUS DIFFERENTES CONDITIONS D'UTILISATION

Hanen ALOUI **, Imen HMOUDA, Chiheb BOUDEN *

Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tunis B.P. 37 – 1002 Tunis Belvédère

** chiheb.bouden@enit.rnu.tn , ** alouihanen@yahoo.fr*

Résumé : On étudie numériquement les échanges de chaleur ainsi que la stratification développés dans un ballon de stockage d'eau. Les équations qui régissent les écoulements et les transferts de chaleur à l'intérieur de l'accumulateur d'eau sont discrétisées par la méthode des volumes finis. Le maillage a été réalisé à l'aide du logiciel gambit ; les calculs et le post-processing ont été effectués avec le code industriel FLUENT.

La première partie de cette étude présentera les différentes équations régissant les écoulements et les transferts thermiques dans le fluide et les approximations mises en jeu.

Dans la deuxième partie, on entame l'étude de l'influence de la position de l'entrée de l'eau froide; des simulations paramétriques ont été effectuées en variant ces positions ainsi que le débit du fluide à l'entrée et à la sortie du réservoir.

Dans la troisième partie, on compare les résultats à ceux rencontrés dans la littérature [1].

Mots clés : Stockage d'eau, transferts de chaleur, simulation, Fluent.

1. ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Afin d'optimiser le rendement d'une installation de chauffe eau solaire, une étude de la stratification thermique dans l'accumulateur d'eau s'est avérée nécessaire.

Une étude bibliographique exhaustive nous a permis d'identifier les paramètres influents sur la stratification dans les ballons de stockage : la forme, les dimensions et la position du jet permettant l'entrée d'eau ainsi que le débit; la stratification peut être notablement améliorée par un choix judicieux de ces paramètres.

Parmi les études expérimentales, on cite celle réalisée par L. Jivan Shah [1] qui a étudié l'influence de la forme de l'entrée du jet ainsi que le débit d'écoulement durant le soutirage pour un écoulement laminaire instationnaire. Une simulation par la méthode CFD a permis de définir une configuration géométrique optimale avec une meilleure stratification.

A partir des études expérimentales, Lavan et Thomson [2] ont conclu que l'emplacement et la géométrie de l'entrée étaient très importants alors que celle de sortie est moins cruciale.

Des études réalisées par Anderson et Furbo [3] ont montré que la destratification durant le soutirage assure une diminution de plus que 23 % des performances du système.

Knudsen [4] a continué cette étude, en considérant plusieurs configurations du ballon, il a conclu que la performance thermique du réservoir diminue d'un taux compris entre 0 et 20 % lorsque le taux de mélange de l'eau dans le réservoir augmente de 0 à 40 % durant le soutirage.

2. POSITION DU PROBLEME ET MODELISATION

Nous considérons une enceinte fermée de section cylindrique remplie d'eau à une température de 333 K. Les parois latérales ainsi que horizontales sont adiabatiques, l'entrée est soumise à un débit. La configuration étudiée est schématisée sur la figure 1.

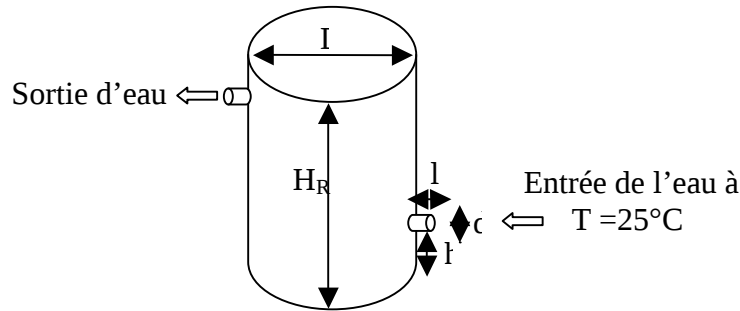


Figure 1 : Modèle géométrique

Les équations sont résolues en considérant les approximations suivantes :

- L'écoulement et le transfert de chaleur sont bidirectionnels (selon r et z).
- L'écoulement est instationnaire et turbulent ou laminaire selon le débit à l'entrée.
- L'eau est un fluide incompressible et Newtonien.
- Les propriétés thermophysiques de l'eau sont indépendantes de la température avec l'approximation de Boussinesq donnée par la relation suivante :

$$\rho = \rho_{\text{réf}} [1 - \beta (T - T_{\text{réf}})] \quad (1)$$

Les équations régissant l'écoulement et le transfert de chaleur sont données par l'équation de conservation de la masse (2), de la quantité de mouvement (3) et de l'énergie (4) :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial U_i}{\partial X_i} = 0 \quad (2)$$

$$\rho \frac{\partial U_i}{\partial t} + U_j \frac{\partial U_i}{\partial X_j} = -\frac{\partial P}{\partial X_i} + \frac{\partial}{\partial X_j} \left(\frac{U_i}{\partial X_j} \right) + \rho g_i \quad (3)$$

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} + U_j \frac{\partial T}{\partial X_j} = k \frac{\partial}{\partial X_j} \left(\frac{\partial T_i}{\partial X_j} \right) + H \quad (4)$$

3. RESOLUTION NUMERIQUE

Le système d'équations est résolu après intégration par la méthode des volumes finis, le couplage pression vitesse est résolu par une procédure itérative basée sur l'algorithme SIMPLE [5]. Un maillage resserré au niveau des parois a été utilisé avec un pas de 0,01, le nombre de nœuds est égal à 3222 et le critère de convergence est 10^{-6} .

Les dimensions du réservoir sont constantes ($H_R=0,805\text{m}$, $D=0,384\text{m}$), l'étude paramétrique porte sur la variation du débit au niveau de l'entrée, la distance h et le diamètre de l'entrée d . Selon la valeur du nombre de Reynolds calculé pour les différents débits, l'écoulement sera soit laminaire soit turbulent. Pour l'écoulement turbulent, on adopte le modèle K- ϵ (RNG). Le choix du modèle de turbulence se justifie par une meilleure précision de la turbulence au niveau du jet; ce modèle est mieux adapté lorsque les écoulements sont instationnaires.

4. RESULTATS DE LA SIMULATION ET DISCUSSIONS

4.1. Effet de la position sur l'écoulement pendant une minute d'écoulement

La figure 2 montre, après une minute d'écoulement, que plus on descend dans la position de l'entrée moins la stratification est bonne pour les deux régimes d'écoulement laminaire et turbulent.

Pour une position de l'entrée d'eau $h = 0,05$ m, une quantité égale à 60 litres est mélangée, en effet plus la position de l'entrée est basse moins le volume mélangé est important.

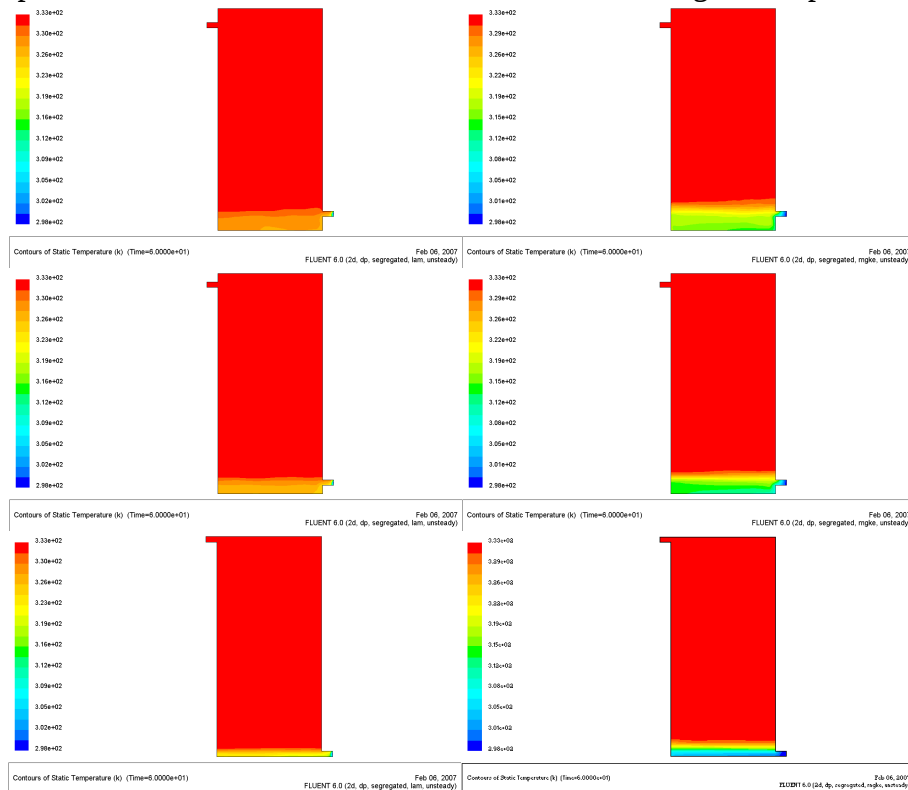


Figure 2 : Comparaison des isothermes après 1 minute dans le cas d'un écoulement laminaire (à gauche) ; débit = $0,045 \text{ Kg/s}$ avec ceux trouvées dans le cas d'un écoulement turbulent (à droite) débit = $0,16 \text{ Kg/s}$ (droite) pour différentes positions h ($h=0,05$, $h=0,03$, $h=0$) de haut en bas.

4.2. Etude de l'écoulement après 10 minutes

La figure 3 illustre l'évolution de la température durant un écoulement pendant dix minutes pour les deux régimes d'écoulement, une meilleure stratification de l'eau au sein du réservoir est obtenue lorsque la position de l'entrée est à $h = 0,05$ m.

On constate que dans chacun des cas, le réservoir peut être divisé en trois couches : une couche froide, une couche à fort gradient thermique et une couche chaude, plus la position de l'entrée de l'eau froide est élevée, plus la couche à fort gradient est épaisse.

En fait, cette couche à fort gradient provient du mélange de l'eau entre le fond du ballon et l'entrée de l'eau froide. En amorçant le soutirage, la couche mélangée monte par effet piston.

4.3. Etude du débit

Il s'agit de visualiser les profils de température pour un écoulement de $0,04 \text{ Kg/s}$ respectivement pendant une, deux, trois, quatre, cinq et six minutes ce qui correspond à un volume soutiré total égal à $14,4$ litres après quatre minutes pour $D=0,02$ m et $h=0,05$ m.

Les profils de température seront comparés à ceux déterminés pour un écoulement qui dure 1 minute avec un débit égal à $0,16 \text{ Kg/s}$ et qui correspond à un volume soutiré égal à $9,6$ litres.

On constate que le profil représenté dans la figure 5 ressemble beaucoup à celui obtenu pour un débit de $0,04 \text{ Kg/s}$ et 6 minutes d'écoulement (figure 4), cette correspondance arrive malgré que le volume soutiré ne soit pas égal dans ces deux cas ($14,4$ litres dans le premier cas contre $9,6$ litres dans le second). Ceci s'explique par la turbulence qui est plus importante dans le cas présent dans la figure 5 que dans le cas de $0,04 \text{ Kg/s}$ pendant 6 minutes.

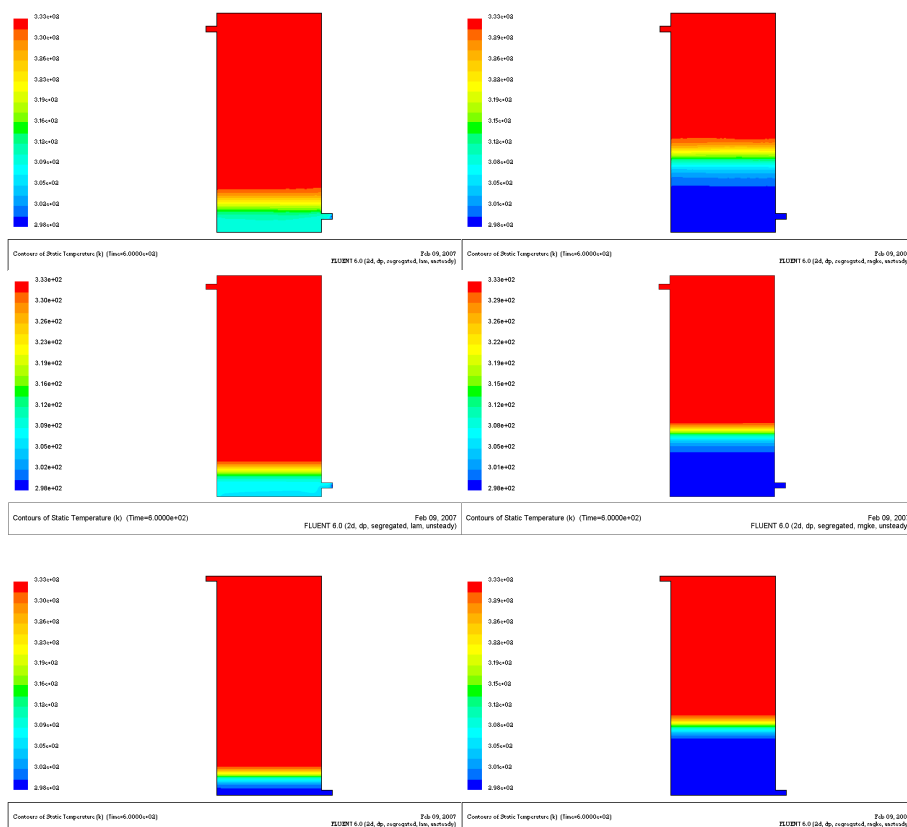


Figure 3 : Isothermes pour les deux régimes d'écoulement laminaire correspondant à un débit $0,045 \text{ Kg/s}$ (gauche) et turbulent correspondant à un débit $0,16 \text{ Kg/s}$ (droite) pour différentes positions de l'entrée h (0,05 m, 0,03 m, 0 m) du bas en haut.

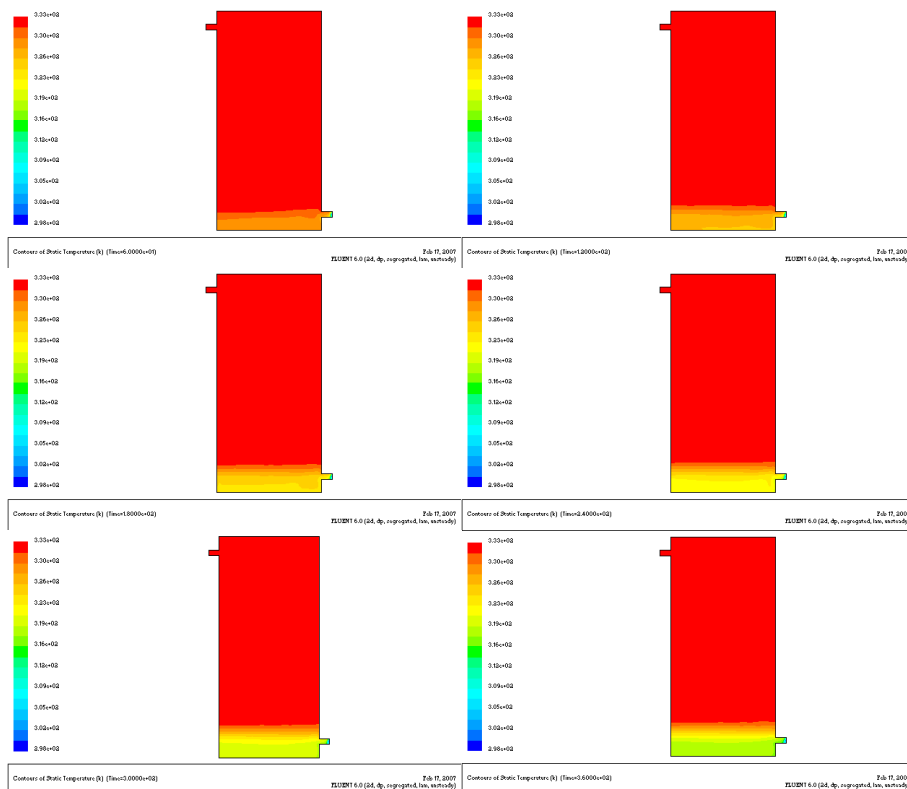


Figure 4 : Profil de la température pour un débit $0,04 \text{ Kg/s}$ respectivement pour 1, 2, 3, 4, 5, 6 minutes d'écoulement de gauche vers la droite

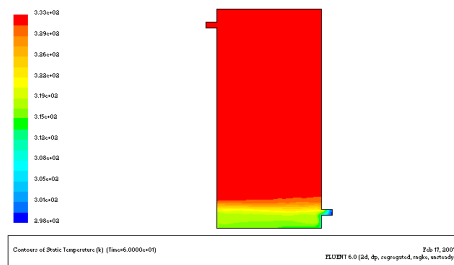


Figure 5 : Profil de la température pour un débit 0,16 Kg/s pendant une minute d'écoulement

CONCLUSION

Les simulations numériques concernant l'écoulement, les transferts de chaleur ainsi que la stratification qui ont été réalisées dans ce travail montrent qu'une bonne stratification au sein du réservoir a été obtenue pour une position de l'entrée de l'eau à 0,05 m du fond du ballon. L'étude paramétrique qui a été réalisée dans la présente communication illustre bien l'influence de la position du jet d'eau et du débit sur la stratification de l'eau.

Dans notre étude, nous avons considéré les parois du réservoir comme adiabatiques ; dans la réalité une conduction a lieu dans le métal de la paroi, cette conduction influence grandement la stratification thermique.

En perspective de ce travail, nous souhaiterions étudier l'influence de cette conduction thermique sur la stratification dans le réservoir. Notre étude touchera dans un deuxième temps le cas des réservoirs verticaux traversés par une cheminée au niveau de l'axe du réservoir, cette étude concerne le cas où la cheminée est traversée par un gaz chaud et le cas où le brûleur en bas de la cheminée est éteint.

Nomenclature

H	Source ou dissipation, W	ρ	Masse volumique $Kg . m^{-3}$
T	Température, K	β	Coefficient de dilatation thermique K^{-1}
k	Conductivité thermique, $W.m^{-1}.K^{-1}$	i	Indice indiquant la composante (r, θ , z)
U	Vitesse, $m.s^{-1}$		
P	Pression, Pa		
U_i	Composante de la vitesse, $m.s^{-1}$		

Références

- [1] L.J. Shah et S. Furbo, Entrance effects in solar storage tanks, Solar energy, vol.75, pp337-348, 2003.
- [2] Z. Lavan et J. Thomson, Experimentally study of thermally stratified hot water storage tanks, Solar energy ,vol.19, pp519-524, 1977.
- [3] E. Anderson et S. Furbo, Thermal destratification in small standard solar tanks due to mixing during tapping, ISES Solar World Congress, Proceedings, pp 1197–1206, 1999.
- [4] S. Knudsen, Consumer's influence on the thermal of small SDHW systems - theoretical investigations, Solar Energy, Vol.73, pp33–42, 2002.
- [5] S.V. Patankar, Numerical heat transfer, Hemisphere/Mc Graw Hill, 1980.