

Etude Expérimentale d'un Echangeur Thermique en Polypropylène Application au Conditionnement des Aquariums

M. Hazami, C. Kerkeni, A. Farhat, S. Kooli, F. Ben Jemaa et M. Maalej

INRST, B.P. 95, Hammam Lif, Tunisie

Résumé - Une expérience a été menée sur des échangeurs en polypropylène fabriqués par la société Allemande Clina. Ces échangeurs sous forme de nattes à tuyaux capillaires se caractérisent par une grande surface d'échange, une facilité de montage, d'adaptation et de maintenance. Ils ont été utilisés comme échangeurs eau / eau dans un système de conditionnement des aquariums destinés à l'élevage des espèces maritimes au musée de Salammbô.

Le système utilise l'eau de mer, dont la température est d'environ 18 °C comme fluide caloporteur. Les résultats, montrent que ce type d'échangeur, peut sous des conditions expérimentales optimales baisser la température de l'eau de l'aquarium jusqu'à 19,5 °C. En régime permanent, cet échangeur présente un coefficient d'échange moyen de l'ordre de 280W/m²°C, avec une efficacité thermique de l'ordre de 95 %.

Mots clés: Echangeur de chaleur - Efficacité thermique - Conditionnement - Aquarium.

1. INTRODUCTION

Dans l'industrie, le facteur température constitue un souci majeur, notamment dans le domaine de l'agro-alimentaire et l'élevage de masse où la température peut jouer un rôle important dans la prolifération et la rentabilité de l'espèce élevée. Cependant les systèmes utilisés pour le conditionnement de l'espace vital de ces applications, sont des systèmes grand consommateurs d'énergie.

Le musée de Salammbô assure, dans des aquariums, l'élevage des espèces maritimes, qui vivent non loin des côtes tunisiennes. Selon leurs origines ces espèces exigent des conditions climatiques spécifiques. La gamme de température de l'eau tolérée par les poissons dépend de chaque espèce, elle est comprise entre 18 °C et 22 °C. Pour parvenir à ces conditions, un dispositif frigorifique dépendant totalement de l'électricité fonctionne toute l'année. Le coût de fonctionnement et de maintenance d'un tel dispositif est excessivement cher. Pour réduire ses dépenses, la direction du musée a opté pour tester un nouveau type d'échangeur de chaleur en polypropylène intégré dans un système de refroidissement utilisant l'eau de mer comme source froide de température quasi constante égale à 18 °C.

Ce nouveau type d'échangeur fabriqué par la société Allemande Clina [1], sous forme de nattes à tuyaux capillaires se caractérise par une grande surface d'échange, une facilité de montage, d'adaptation et de maintenance.

Plusieurs travaux, montrent que l'efficacité thermique d'un échangeur dépend de plusieurs paramètres entre autres les conditions expérimentales, notamment le régime d'écoulement et les températures des deux fluides chaud et froid [2-6].

La présente étude a pour objectif d'évaluer l'efficacité thermiques de ces nattes utilisées comme échangeur eau/eau et d'en déduire leur coefficient d'échange en fonction de la surface d'échange et du débit de l'eau de refroidissement.

2. SUPPORT THEORIQUE

Le calcul des échangeurs de configurations diverses est calculé sur des échangeurs à courants parallèles [7]. En régime permanent, la puissance totale échangée à travers un échangeur est donnée par la relation suivante :

$$Q = U \cdot S \cdot \Delta T_{LM} \quad (1)$$

avec:

$$\Delta T_{LM} = \frac{(T_{ce} - T_{fs}) - (T_{cs} - T_{fe})}{\ln \frac{(T_{ce} - T_{fs})}{(T_{cs} - T_{fe})}} \quad (2)$$

L'efficacité thermique d'un échangeur est définie comme le rapport entre la puissance thermique réellement échangée et la puissance maximale théorique :

$$E = \frac{Q}{C \min(T_{ce} - T_{fe})} \quad (3)$$

où $C \min = \text{Min de} [m.c. \cdot C_p, m.f. \cdot C_p]$

2. DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Afin de parvenir à tester les nattes capillaires sans perturber le fonctionnement normal du système existant, un dispositif expérimental représenté sur la figure 1 a été mis au point. Il est constitué essentiellement de deux bassins, d'un aquarium, d'un réseau de nattes et de deux pompes de circulation.

Le bassin de séjour (BS), qui joue le rôle de thermostat est constitué d'un réservoir cylindrique en matière plastique de volume égal à 1,2 m³. Ce bassin, isolé à l'aide de 5 cm de laine de verre, est rempli d'eau puisée d'un sondage à l'intérieur de la mer de température quasi constante égale à 18 °C. Le bassin de contrôle (BC), qui joue le rôle de source froide pour le refroidissement de l'aquarium est formé d'un réservoir parallélépipédique double parois de 0,80 m³ de volume et présentant un coefficient de déperdition égal à 4 W/°C. L'aquarium fait en plexiglas de 10 cm d'épaisseur, est recouvert seulement sur trois côtés latéraux par une couche de 5 cm de laine de verre. Le système est divisé en deux boucles : la boucle primaire (entre le BS et le BC), et la boucle secondaire (entre le BC et l'aquarium). Le fonctionnement de la boucle primaire est assuré par deux réseaux de nattes de même dimensions, l'un est placé dans le BS, l'autre est placé dans le BC. Les caractéristiques des nattes sont représentées sur le tableau 1.

Les températures de l'eau dans l'aquarium et dans chaque bassin sont relevées à l'aide de thermocouples type T, l'acquisition est assurée par un multimètre digital de type UNI-T-20.

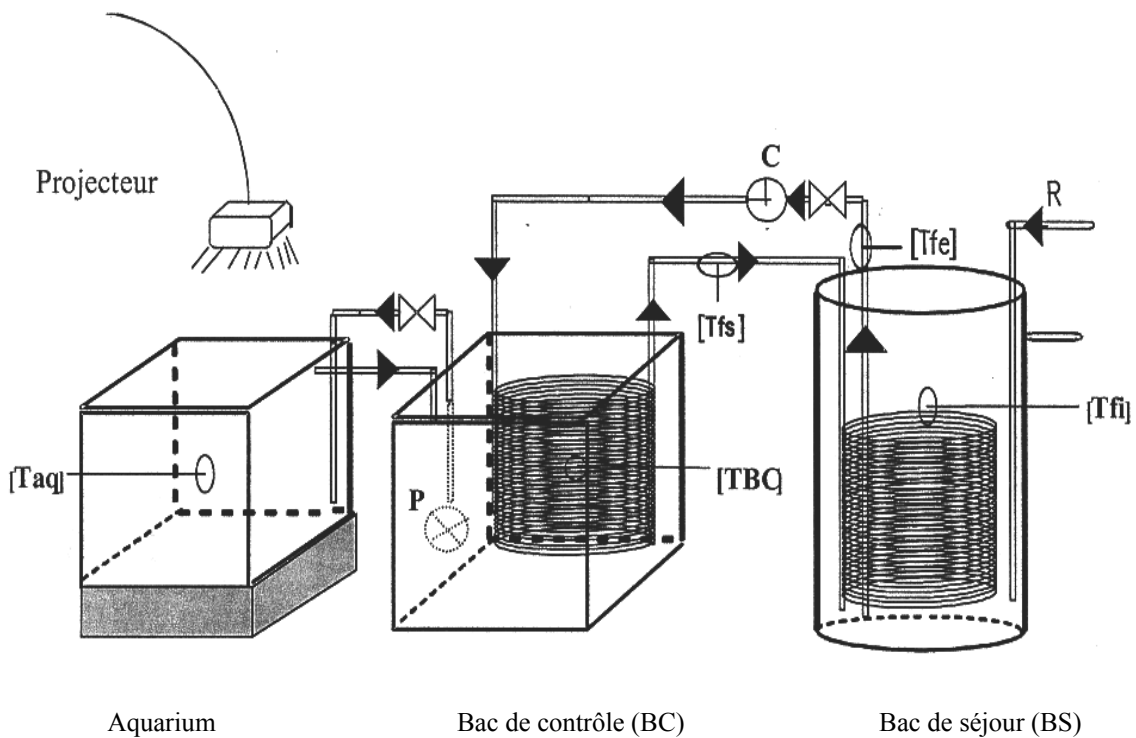


Fig. 1: Schéma de principe du dispositif expérimental

Tableau 1: Caractéristiques techniques des nattes Clina

| | L (cm) | D (cm) | E (cm) | Nombre |
|-------------------|--------|--------|--------|--------|
| Tubes capillaires | 133 | 0.34 | 1 | 156 |
| Tubes Collecteurs | 55 | 2 | 133 | 2 |

3. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 Comportement thermique du BC

3.1.1 Effet de la surface d'échange sur la température d'équilibre du BC

Quatre nattes de dimensions différentes, ont été utilisées pour évaluer l'effet de la surface d'échange sur la température moyenne de l'eau du BC (Fig. 2). On remarque qu'à l'état d'équilibre la température moyenne de l'eau décroît avec la surface. Sous les conditions expérimentales indiquées ($m_f = 200 \text{ kg/h}$, $T_{ci} = 30 \text{ °C}$ et $T_{fe} = 18 \text{ °C}$), la température minimale d'équilibre, semble se stabiliser autour d'une valeur limite de l'ordre de 19 °C , elle correspond à une surface d'échange égale à $2,7 \text{ m}^2$. L'abaissement de température maximum atteint est alors de l'ordre de 11 °C . Ceci indique que toute augmentation de la surface d'échange n'a pas d'effet sur l'abaissement de température d'équilibre du BC.

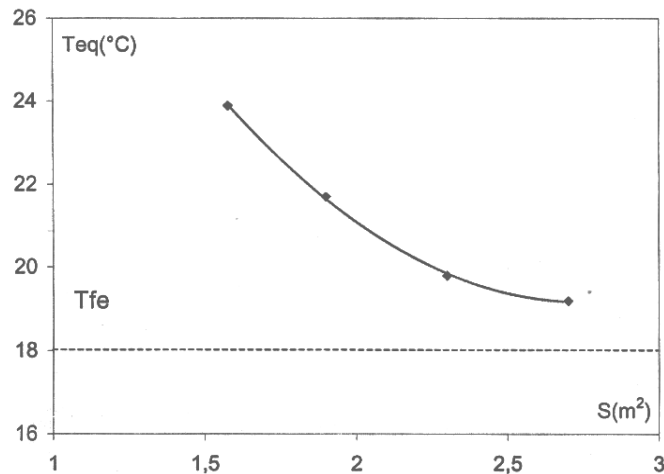


Fig. 2: Variation de la température d'équilibre du bassin de contrôle en fonction de la surface d'échange avec $m_f = 200 \text{ kg/h}$, $T_{ci} = 30 \text{ °C}$ et $T_{fe} = 18 \text{ °C}$

3.1.2 Effet du débit sur la température d'équilibre du BC

L'évolution de la température moyenne de l'eau du BC en fonction du débit de l'eau de refroidissement est représentée sur la figure 3. On constate que l'abaissement de température passe par deux phases caractéristiques. La première est caractérisée par un abaissement de température important. La seconde, qui débute avec un débit supérieur à 150 kg/h est caractérisée par un abaissement de température faible. L'abaissement maximal enregistré sous les conditions expérimentales indiquées ($S = 2,7 \text{ m}^2$, $T_{ci} = 30 \text{ °C}$ et $T_{fe} = 18 \text{ °C}$), correspond à un débit de 200 kg/h , il est aussi de l'ordre de 11 °C .

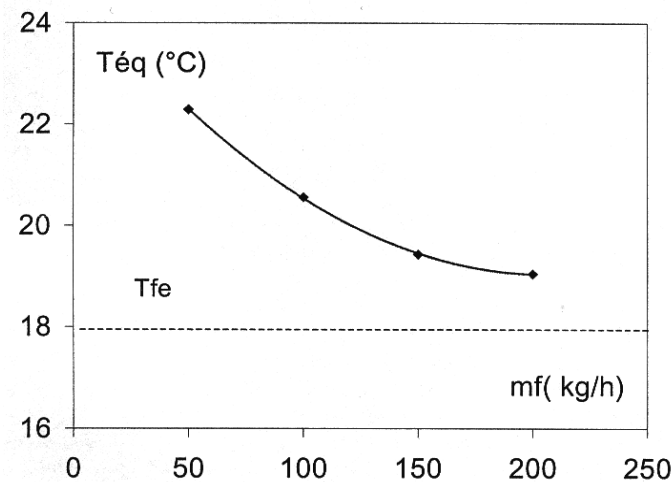


Fig. 3: Température moyenne d'équilibre thermique du BC en fonction du débit, pour $S = 2,7 \text{ m}^2$, $T_{ci} = 30 \text{ °C}$ et $T_{fe} = 18 \text{ °C}$

3.2 Comportement thermique de l'aquarium

Le conditionnement de l'eau de l'aquarium doit être effectué en assurant un taux de renouvellement égal à 50 kg/h, nécessaire à la survie de l'espèce maritime. Ce renouvellement représente le débit de l'eau chaude à refroidir en régime permanent. La température de l'eau dans l'aquarium à l'état d'équilibre en fonction du débit et pour différentes surfaces d'échange est représentée sur la figure 4. Comme on doit s'y attendre, cette température décroît avec la surface d'échange et le débit. La température minimale obtenue est égale à 19 °C. On remarque que quelque soit la surface d'échange et le débit, un écart de température entre la source froide et l'eau dans l'aquarium, persiste, il est de l'ordre de 1,5 °C pour $mf = 250$ kg/h et $S = 2.7$ m².

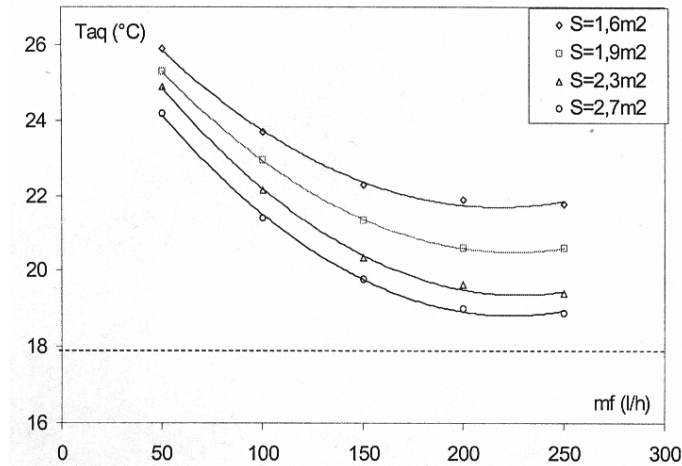


Fig. 4: Températures d'équilibre de l'eau de l'aquarium en fonction du débit de refroidissement, pour différentes surfaces d'échange et avec $T_{fe} = 18$ °C

3.3 Coefficient d'échange et efficacité thermique du système

Les mesures effectuées sur la boucle secondaire, ont permis de tracer la courbe de la puissance échangée (Q_p) en fonction de la différence de température logarithmique moyenne (ΔT_{LM}), représentée sur la figure 5. La corrélation obtenue est de la forme :

$$Q_p = 280 \cdot S \cdot \Delta T_{LM}$$

La valeur du coefficient d'échange obtenue ($U = 280$ W/°Cm²), semble indiquer que ce nouveau type d'échangeur de chaleur présente un faible coefficient d'échange comparé à d'autres échangeurs classiques tels que les échangeurs à tubulaires ou à plaques qui présentent un coefficient d'échange compris entre 800 W/°Cm² et 1800 W/°Cm² [8]. Des expériences ont été menées sur ces nattes comme échangeur eau/air, ont montré que son coefficient d'échange est de l'ordre de 7,5 W/°Cm² [9].

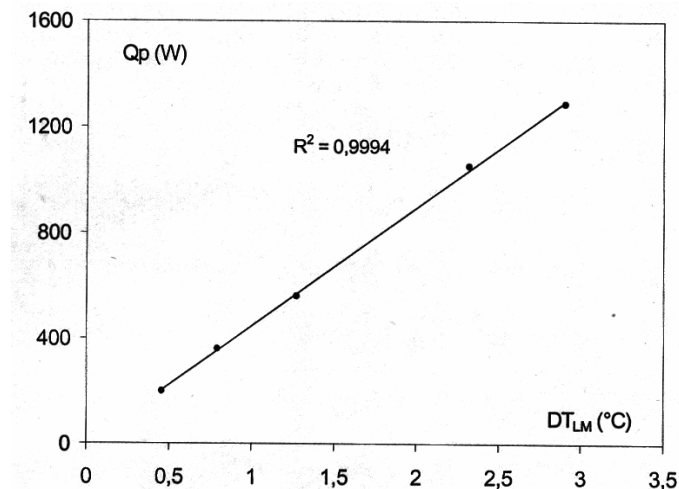


Fig. 5: Puissance échangée en fonction de ΔT_{LM} pour $m_c = 50$ kg/h, $m_f = 200$ kg/h, $S = 1,6$ m², $T_{fe} = 18$ °C et $T_{ci} = 30$ °C

L'efficacité thermique de l'échangeur est évaluée à partir du nombre NUT. Les résultats représentés sur la figure 6, montrent que cet efficacité croît lorsque le rapport de déséquilibre (C_{min}/C_{max}) diminue, elle est de l'ordre de 95 % pour (C_{min}/C_{max}) = 0,25 et NUT = 13.

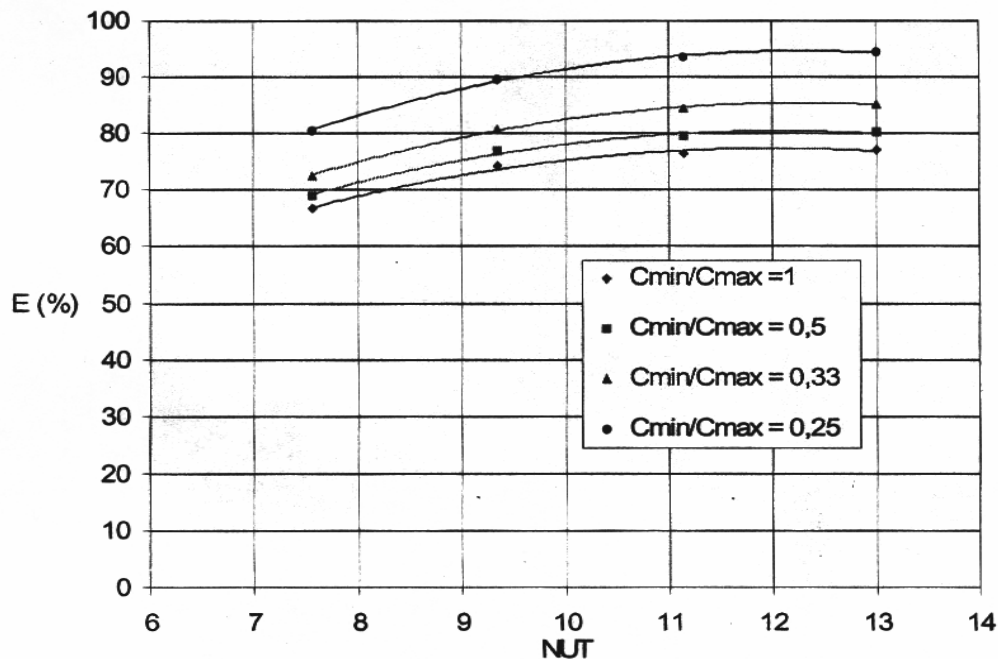


Fig. 6: Efficacité de l'échangeur capillaires pour $T_{fe} = 18\text{ °C}$, $T_{ci} = 30\text{ °C}$ et $m_c = 50\text{ kg/h}$

4. CONCLUSION

Un nouveau type d'échangeur de chaleur en polypropylène sous forme de natte à tuyaux capillaire a été testé expérimentalement comme échangeur eau/eau dans le conditionnement des aquarium d'élevage des espèces maritimes. Les résultats montrent, que cet échangeur intégré dans un système de refroidissement, utilisant l'eau de mer comme fluide caloporteur, peut satisfaire les conditions de température exigées par une classe de ces espèces. En utilisant l'eau de mer comme source froide de température égale à 18 °C , la température moyenne d'équilibre obtenue est fonction de la surface d'échange et du débit. Elle est égale à $19,5\text{ °C}$ sous des conditions optimales. En régime permanent, cet échangeur présente un coefficient d'échange moyen de l'ordre de $280\text{ W/m}^2\text{°C}$, avec une efficacité thermique égale à 95 %.

Nomenclature

| | |
|----------|---|
| C_p | : Chaleur spécifique de l'eau ($\text{W/kg}^\circ\text{C}$) |
| E | : Efficacité thermique (%) |
| m_c | : Débit d'eau chaude (kg/s) |
| m_f | : Débit d'eau froide (kg/s) |
| Q | : Puissance échangée (W) |
| T_{ce} | : Température chaude d'entrée ($^\circ\text{C}$) |
| T_{ci} | : Température chaude initiale ($^\circ\text{C}$) |
| T_{cs} | : Température chaude de sortie ($^\circ\text{C}$) |
| T_{fe} | : Température froide d'entrée ($^\circ\text{C}$) |
| T_{fs} | : Température froide de sortie ($^\circ\text{C}$) |
| S | : Surface (m^2) |
| U | : Coefficient d'échange des nattes ($\text{W}/^\circ\text{Cm}^2$) |

REFERENCES

- [1] Clina, '*Nouvelles Méthodes de Climatisation des Hôtels et Cités Touristiques dans les Pays Méditerranéens par des Nattes à Tuyaux Capillaires en Matière Plastique*', Heiz-und Kühlemente, Lübarser Strass 40-46, 13435, Berlin, Allemagne.
- [2] R. Kübler, M. Bierer and E. Hahne, '*Heat Transfer from Finned and Smooth Tube, Heat Exchanger Coils in Hot Water Stores*', Int. J. Heat and Mass Transfer, Vol. 30, N°14, 1987.
- [3] M. Mahfoudh, F. Abellaziz, M. Lebouche, M. Robert et G. Pierotti, '*Evolution du Coefficient d'Echange et des Pertes de Charge dans un Faisceau de Tubes, en Fonction de l'Angle d'Attaque*', Int. J. Heat and Mass transfer, Vol. 30, N°12, 1987.
- [4] J.Y. Yun and K.S. Lee, '*Investigation of Heat Transfer Characteristics on Various kinds of Fin and Tube Heat Exchangers with Interrupted Surfaces*', Int. J. Heat and Mass transfer, Vol. 42, 1999.
- [5] Q. Wel, A. Ternoveau and C. Hannay, '*Modeling of a Cooling Ceiling Using Steady Analysis*', 9^{ième} Journées Internationales de Thermique, Belgique, JITH 99.
- [6] Q. Wel, A. Ternoveau, C. Hannay and J. Leburn, '*Dynamic Simulation and Control Strategy Evaluation for a Cooling Ceiling System*', 9^{ième} Journées Internationales de Thermique, Belgique, JITH 99.
- [7] J.F. Sacadura, '*Initialisation aux Transferts Thermiques*', CAST - INSA de Lyon, 1972.
- [8] J. Padet, '*Echangeurs Thermiques, Méthodes Globales de Calcul*', Masson, Paris, 1993.
- [9] K. Ben Naser, '*Caractérisation d'un Nouveau Type d'Echangeur à Tuyaux Capillaires Clina : Application à la Climatisation*', DEA, FST, UTII, Novembre 2000.