



Université Yahia Fares de Médéa
جامعة يحي فارس المدية

Mise en Evidence de l'encrassement des échangeurs de chaleur à plaques lors de la pasteurisation du lait à l'aide des réseaux neurones

Demonstration of fouling in a plate heat exchanger using artificial neural network models during milk heat treatment

Youcef Mahdi^{1, 2}

¹ *Laboratoire des phénomènes de transfert, faculté de génie mécanique et de génie des procédés, université des sciences et de la technologie Houari Boumediene USTHB, bab-ezzouar, Alger 16111.*

² *Université de Médéa, faculté des sciences et de la technologie, pôle universitaire Médéa 26000.*

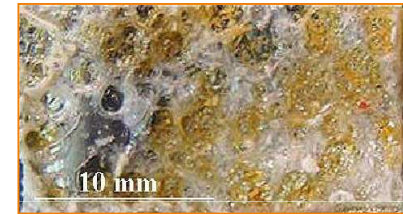
E-mail: mahdi.youcef@univ-medea.dz

Plan de l'exposé :

- Introduction et Positionnement du problème
- Description du système étudié
- Caractérisation des réseaux de neurones
- Mécanisme d'encrassement
- Application de la technique des réseaux de neurones
- Résultats et discussions
- Conclusion

Introduction et positionnement du problème

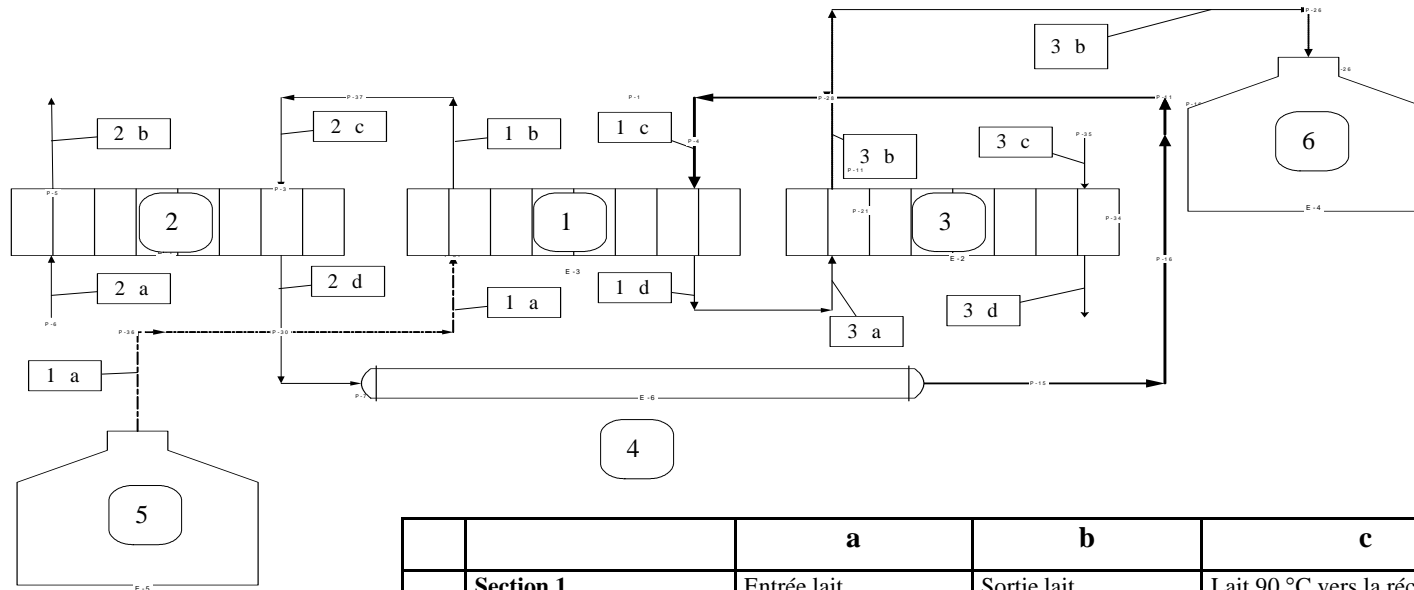
- Les produits agroalimentaires subissent des transformations de plus en plus élaborées afin de présenter des qualités organoleptiques et une texture désirable
- Une variété de **traitements thermiques** est utilisée dans les industries alimentaires. Un exemple typique est **la pasteurisation** du lait qui consiste en une opération de chauffage pour inhiber l'action pathologique des bactéries
- Un dépôt de solides (protéines et sels [Mahdi et al., 2009]) est formé sur la surface de l'échangeur
- Les dépôts génèrent des **perturbations hydrodynamiques** et **thermiques** qui affectent la production et qui créent ainsi le besoin de nettoyer les équipements concernés pour reconstituer la surface initiale propre de l'échangeur et assurer ainsi la qualité et l'hygiène des productions ultérieures
- Nettoyage des échangeurs toutes les 5 à 10 heures
- 140 millions de dollars de pertes par an aux États-Unis (1990)
- 160.000 euros/an et par pasteurisateur en Algérie (2010)



Introduction et positionnement du problème

- Emploi de la technique des réseaux de neurones pour prévoir l'encrassement
- ...mais l'emploi de la technique dans le domaine du nettoyage de ces équipements reste vierge
- Les réseaux de neurones sont un nouveau outil utilisé pour résoudre le problème de l'encrassement qui se base sur une stratégie de type boîte noire
- Technique avantageuse pour éviter la formulation d'un modèle type génie chimique
- L'objectif de ce travail est d'appliquer la technique des réseaux de neurones artificiels dans le cas d'une installation de pasteurisation du lait existante. Ceci afin de prédire la masse de dépôt due à l'encrassement des protéines et à l'entartrage des sels sur la surface du pasteurisateur afin d'estimer le coefficient d'échange thermique global, ainsi que et le seuil qui impose la nécessité de nettoyer

Description du système



		a	b	c	d
1	Section 1 Récupération	Entrée lait 4 °C	Sortie lait 70 °C	Lait 90 °C vers la récupération	Lait vers refroidissement
2	Section 2 Chauffage	Entrée vapeur	Sortie vapeur	Entrée lait 70 °C	Lait 90 °C vers chambrage
3	Section 3 Refroidissement	Lait vers refroidissement	Lait vers stockage	Entrée eau froide	Sortie eau froide
4	Opération de chambrage à 90°C (passage dans le tube)				
5	Stockage lait avant pasteurisation				
6	Stockage lait après pasteurisation				

Caractérisation des réseaux neurones

- Modèle adopté pour un neurone :

$$f(Z) = \frac{1}{1 + \exp(-\lambda_j Z)}$$

- la somme linéaire i des entrées X_i
: deux neurones en entrée (la température et le flux de chaleur)
et un seul en sortie (la masse du dépôt) :

$$i = \sum_{i=1}^n \Gamma_i X_i + \vartheta$$

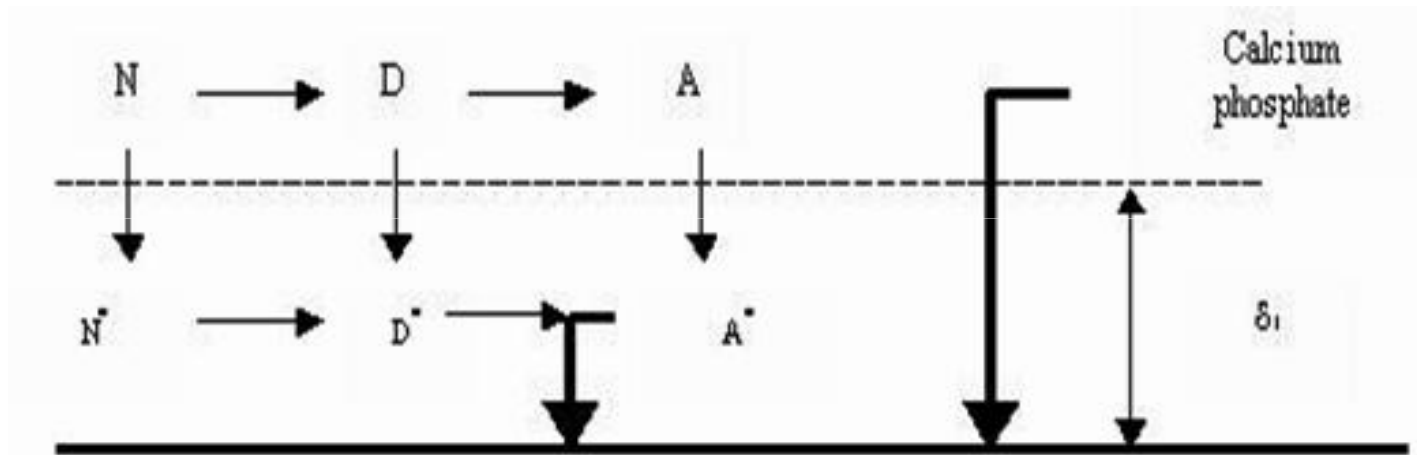
Réseaux Adaline

- L'objectif de l'algorithme Adaline :

$$E = \text{Min}[f(a, b)] = \sum \left(\frac{U}{U_0} \right)$$

Mécanisme d'encrassement

- Mécanisme de Toyoda - Fryer Modifié : (*Mahdi et al.*, 2009)



Y. Mahdi et al. A dynamic model for milk fouling in a plate heat exchanger, *Applied Mathematical Modelling* 33, Issue 2, February 2009, 648–662.

Application de la technique des réseaux neurones

- Détermination des mesures disponibles pour le modèle et définition du nombre d'entrées et de sorties du réseau,
- définition d'un ensemble d'apprentissage de paires de vecteurs d'entrées/sorties,
- sélection d'une configuration du réseau,
- apprentissage du réseau en utilisant les données de simulation,
- test du réseau par présentation d'un ensemble d'entrées non apprises et en observant les réponses sur les sorties obtenus,
- calcul de l'indice de performance du réseau à partir de l'erreur moyenne entre les sorties du réseau et les mesures des simulations
- si l'erreur est acceptable, poursuite de l'algorithme. Sinon, utilisation d'une autre configuration et retour au troisième point,
- utilisation du réseau déjà entraîné en fonctionnement selon les simulations et affichage des variables de sorties.

Application de la technique des réseaux neurones

La procédure suivante est utilisée pour estimer la masse du dépôt :

- Des résultats antérieurs de simulation (température et flux) sont utilisées comme données de base (*Mahdi et Oufer, 2010*) afin d'adapter le réseau neuronal Adaline choisi,
- les réseaux de neurones sont introduits pour mettre en évidence les conditions opératoires qui donnent une erreur minimale,
- la masse de dépôt ou le coefficient d'échange global sont calculés.

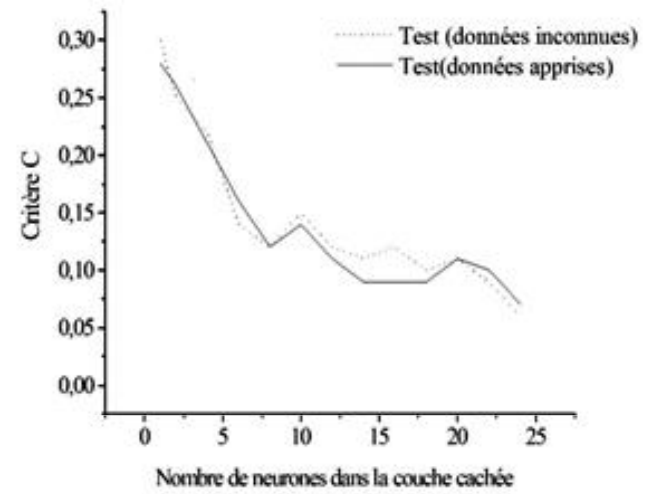
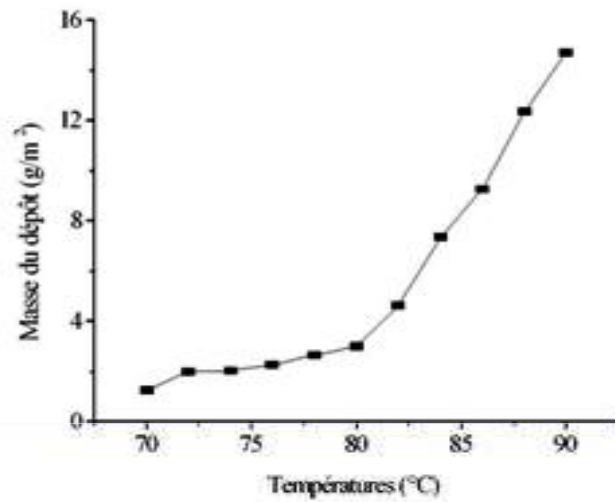
$$E = \text{Min} [f(a, b)] = \sum \left(\frac{U}{U_0} \right)$$

$$U = \frac{U_0}{1 + Bi}$$

$$M(x, y) = \frac{\lambda_d Bi_p(x, y) p_d}{U_0} + t k_s \log \left[\frac{I}{L_1} \right]$$

Y. Mahdi and L. Oufer, Fouling dynamic model of plate heat exchangers during milk treatment, *JP Journal of Heat and Mass Transfer*, Volume 4, Issue 2, 2010, Pages 151-170

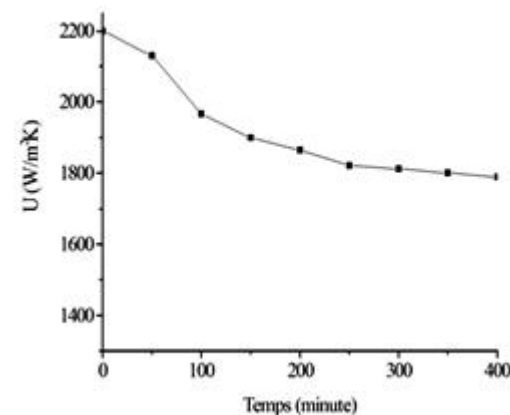
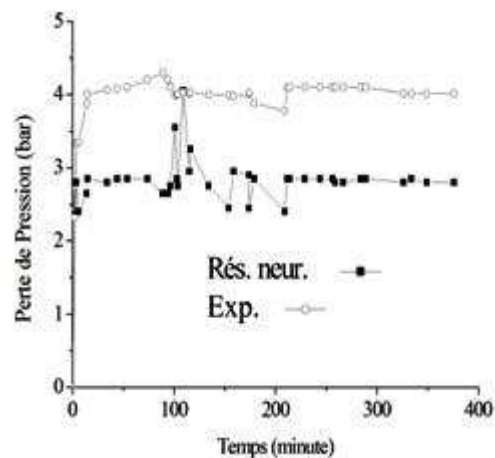
Résultats



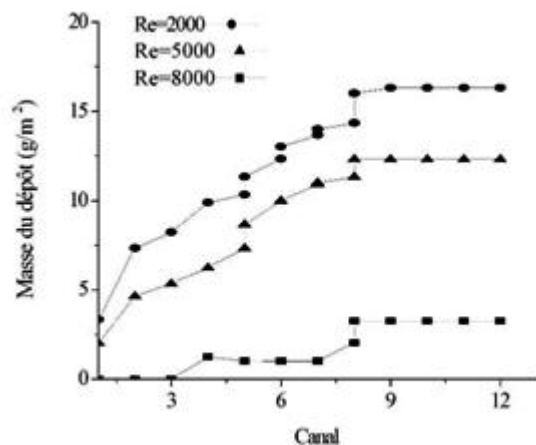
Temps (min)	$M_{\text{simu}}(\text{g/m}^2)$	$M(\text{g/m}^2)$
50	04.60	04.66
100	11.20	11.60
180	14.63	14.60
220	16.03	16.94

Y. Mahdi and L. Oufer, Milk fouling in a plate heat exchanger using dynamic and artificial neural networks models, *JP Journal of Heat and Mass Transfer*, Volume 3, Issue 3, Octobre 2009, Pages 167-197

Résultats



Une diminution de l'ordre de 18% est observée au bout de 220 minutes de fonctionnement. Elle indique que la surface minimale a été atteinte ; les réseaux de neurones indiquent le nettoyage.



Les réseaux de neurones recommandent l'arrêt du fonctionnement pour le nettoyage uniquement dans le cas où le nombre de Reynolds est égal à 2000, car la surface minimale critique a été atteinte.

Conclusions

- Dans ce travail l'étude du phénomène de l'encrassement des échangeurs de chaleurs à plaques lors de la pasteurisation du lait à été considérée par la technique des réseaux de neurones.
- Des simulations de type génie chimique ont été considérées comme référence, pour évaluer ceux obtenues par les réseaux de neurones.
- Une bonne coordination est observée pour l'ensemble des paramètres étudiés:
 - la température,
 - le Coefficient d'échange global,
 - Le nombre de Reynolds.
- L'approche par les réseaux de neurones permet, à chaque fois que c'est nécessaire, de mettre en évidence l'encrassement et de prévoir ainsi le nettoyage des échangeurs du pasteurisateur au moment opportun.