



HAL
open science

Capteur en ligne pour mesurer l'encrassement dans les procédés continus

Pascal Debreyne, Rene Cardenas Caroti, Jozef Korolczuk, Luc Fillaudeau

► **To cite this version:**

Pascal Debreyne, Rene Cardenas Caroti, Jozef Korolczuk, Luc Fillaudeau. Capteur en ligne pour mesurer l'encrassement dans les procédés continus. Journées de la Mesures et de la Métrologie INRA, Oct 2004, Dijon, France. hal-02308936

HAL Id: hal-02308936

<https://hal.science/hal-02308936>

Submitted on 4 Jun 2020

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.

CAPTEUR EN LIGNE POUR MESURER ET SUIVRE L'ENCRASSEMENT DANS LES PROCÉDES CONTINUS

DEBREYNE P.*, CARDENAS R.** , KOROLZUCK J.*** , FILLAUDEAU L.*

* Laboratoire de Génie des Procédés et Technologies Alimentaires, Villeneuve d'Ascq (LGPTA)

** Laboratoire d'Etudes des Interactions des Molécules Alimentaires, Nantes (LEIMA)

*** Ecole Nationale Supérieure d'Agriculture de Rennes, Rennes (ENSAR-LRTL)

Résumé :

Un capteur d'encrassement en ligne (procédé continu) a été développé lors d'une collaboration entre les équipes INRA du LEIMA, du LGPTA et de l'ENSAR-LRTL. Nous présentons dans cette communication la structure de ce capteur ainsi que l'instrumentation adoptée. Les étapes de validation en procédé discontinu (sensibilité du capteur à l'encrassement) et continu (capteur en ligne) sont décrites.

Mots clefs : capteur en ligne, fil chaud, encrassement, procédés continus, transfert thermique.

1 Introduction

Dans les industries agroalimentaires, les opérations de chauffage ou de refroidissement sont réalisées soit en procédé continu ou batch. Durant ces opérations de transformation (réactions chimiques, changements structuraux, encrassement), les comportements des fluides (rhéologie) et les performances des systèmes évoluent en présence d'encrassement. C'est le cas dans les transferts thermiques. A partir de ces constatations, et en nous appuyant sur des travaux du Leima de Nantes, nous avons développé un capteur d'encrassement pour nos problématiques GIA. Cette collaboration initiée en 2001, nous a permis de déterminer les modifications à apporter à la sonde d'origine. Pour cela il nous a fallu introduire d'autres mesures comme la température pariétale de la sonde active et la température du produit (Température de bulk). Il était nécessaire de définir les critères géométriques pour réussir à exploiter les grandeurs mesurées, sans négliger l'analyse théorique du transfert de chaleur.

2 Matériels et méthodes

2.1 Etude théorique

Dans tous les cas, nous partons de l'équation générale de conservation de la chaleur :

$$\rho \cdot C \cdot \frac{d\theta}{dt} = \lambda \cdot \nabla \theta + q \quad \text{Eq. 1}$$

Les hypothèses simplificatrices sont :

- régime thermique permanent ($d\theta/dt=0$),
- le cylindre de céramique central n'absorbe pas de chaleur,
- la longueur de la sonde est très grande par rapport à son rayon ($L \gg r$),
- la puissance de chauffe est déterminée par les grandeurs électriques U et I,
- le seul générateur de chaleur est dans le fil chaud (sonde de platine), $q=0$ dans toutes les autres zones.

Le bilan thermique est calculé pour les différentes zones (Figure 1) ce qui nous donne la différence de température (Eq. 2) entre la surface de la sonde active (θ_w) et le produit (θ_b) :

$$\theta_w - \theta_b = \frac{\phi}{2 \cdot \pi \cdot L} \cdot \left(\frac{1}{h \cdot (r + e)} + \frac{1}{\lambda_d} \cdot \ln \left(1 + \frac{e}{r} \right) \right) \quad \text{Eq. 2}$$

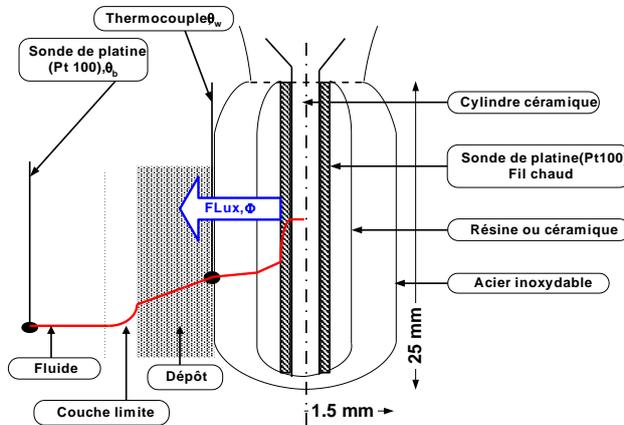


Figure 1 : Structure de la sonde active avec les interfaces produit - dépôt.

On constate que la différence de température est fonction, notamment, de l'épaisseur de dépôt, e et du coefficient de convection, h . Les conditions d'utilisation de la sonde comme capteur d'encrassement ont préalablement nécessité une étude de sensibilité en fonction de la puissance dissipée, la nature des fluides et les conditions d'écoulement. Ces travaux ont permis d'établir une plage de fonctionnement et l'analyse théorique des profils thermiques. En procédé continu, ce capteur requiert un régime thermique non établi avec, pour des conditions propres, une différence de température, $\theta_w - \theta_b$, proche de 0.

2.2 Mise en œuvre et étalonnage

2.2.1 Mise en œuvre

Afin de respecter les hypothèses initiales nous avons arrêté notre choix sur des matériels spécifiques. Il fallait une sonde active qui soit d'une longueur importante par rapport à son diamètre, gainée inox pour pouvoir être plongée dans les milieux tels que soude et acide. La mesure de la température pariétale ne devait pas perturber le transfert de chaleur et l'écoulement du fluide. Enfin comme les phénomènes mesurés sont lents nous n'avions pas la nécessité d'avoir des temps de réponse faibles.

Pour toutes ces raisons nous avons retenu les matériels suivants :

- Sonde active : Sonde de platine Pt 100Ω, longueur 25 mm, $\phi=3$ mm (société Heraeus sensor, Ref : go2327),
- Mesure température pariétale : Thermocouple type K gainé inox isolé de $\phi=0.25$ mm (société Thermo-electric type K ref : MTS-56025-2500-1500),
- Sonde de température bulk : identique à la sonde active,
- Générateur de courant ajustable (0-50mA).

2.2.2 Etalonnage

L'étalonnage des mesures de températures (température pariétale et température bulk) s'est effectué à l'aide de notre banc étalon qui est constitué par un pont de mesure type ASL F16.D de Automatic systems laboratories sur lequel est raccordé une sonde à résistance de platine Pt100Ω N° de série 674.1. Le certificat d'étalonnage a été réalisé en août 2001 par le laboratoire national d'essais. Les mesures de courant et de tension ont été vérifiées par un multimètre type 7151 de Enertec Schlumberger dont le certificat d'étalonnage N°98/BC 190403 fourni par Chauvin Arnoux.

3 Résultats et discussions

Les différentes étapes de l'étude ont été :

- Etude de la sensibilité du capteur à l'encrassement (batch).
- Etude sur une ligne de traitement pour différentes conditions (continu).

3.1 Sensibilité du capteur à l'épaisseur du dépôt (batch).

Pour modéliser un encrassement, nous avons réalisé sur la sonde un dépôt de cire qui varie de 0 à 3mm. Nous avons ensuite procédé à une montée en température de 40 à 70°C, le point de fusion de cette cire est égal à 55°C la couche d'encrassement était éliminée par fusion au-dessus de cette température. Les conditions initiales de la sonde propre sont récupérées au-delà de cette température (Figure 2).

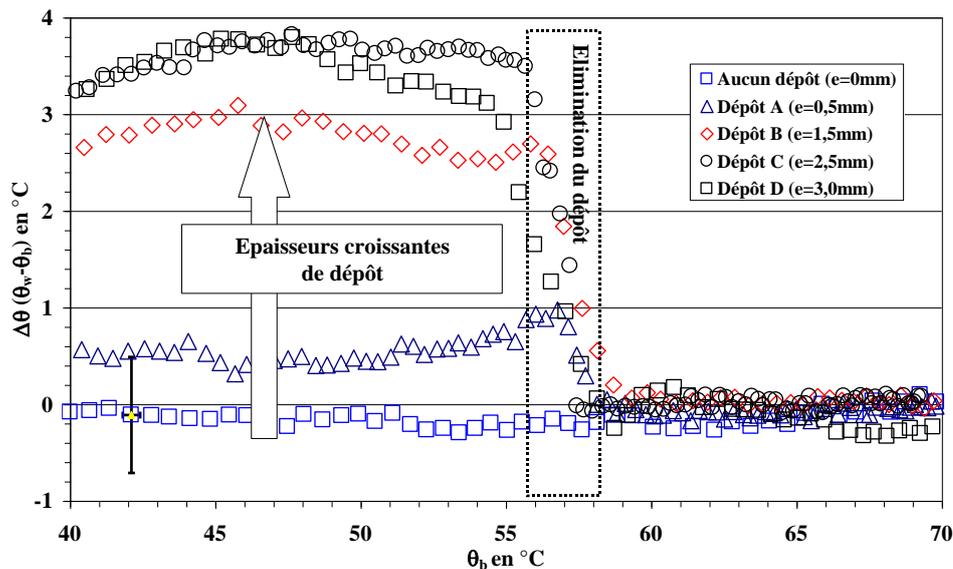


Figure 2 : Etude de la sensibilité de la sonde à l'épaisseur de dépôt.

Ces expériences nous ont permis de montrer la sensibilité du capteur à l'encrassement.

3.2 Etude sur une ligne de traitement pour différentes conditions (continu).

Les objectifs scientifiques et techniques liés au développement du capteur ont été atteints à l'échelle du laboratoire. Il convenait désormais de valider son fonctionnement en procédé continu afin d'utiliser le capteur pour suivre **des cinétiques d'encrassement dans les procédés.**

N° essai	Produit	Débit, l/h	Température d'entrée, °C	Température sortie et chambrage, °C	Type de Chauffage	Type de chambrage	Durée (min)
1	A	200	16	95	Echangeurs de Chaleur à plaques	Tube 1" et Tube 1"1/2	150
2	B	300	4	98	Echangeurs de Chaleur tubulaire	Tube 1"	80
3	C	300	4	98	Echangeurs de Chaleur tubulaire	Tube 1"	200

Tableau 1 : Conditions opératoires

Le cas retenu concerne les phénomènes d'encrassement dans les zones de chambrage pour lesquels peu d'information sont recherchées. Le chambrage reste cependant une zone extrêmement importante pour le produit (cuisson, maturation) induisant tout autant, voir plus que le chauffage des phénomènes de déposition (encrassement). Les différents essais ont été réalisés avec des fluides de type laitier dans les conditions opératoires précisées dans le tableau 1. La sonde a été implantée dans le chambrage comme l'illustre la figure 3.

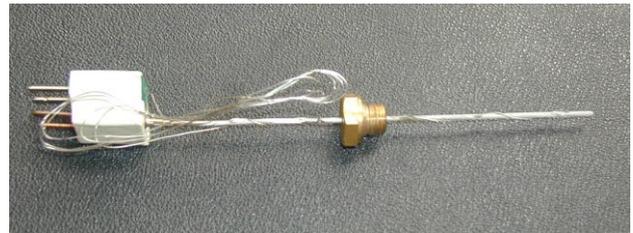
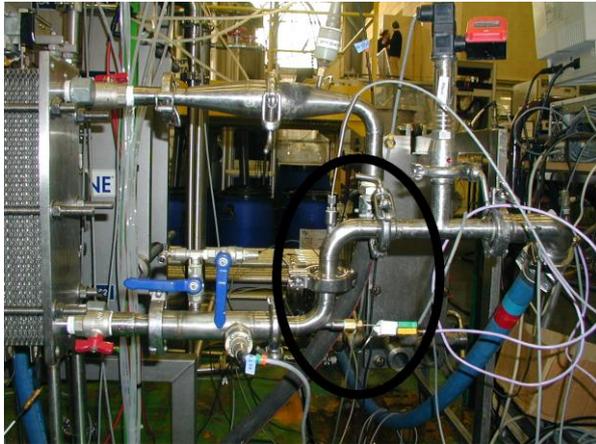


Figure 3 : Implantation du capteur sur site et photo de la sonde active.

L'encrassement varie d'intensité selon les types de traitement et de produit et nous constatons que le capteur y est sensible (objectif recherché). Les figures 4 et 5 illustrent respectivement la dérive des signaux ($\Delta\theta$) en fonction du temps et l'encrassement détecté lors de l'essai n°1.

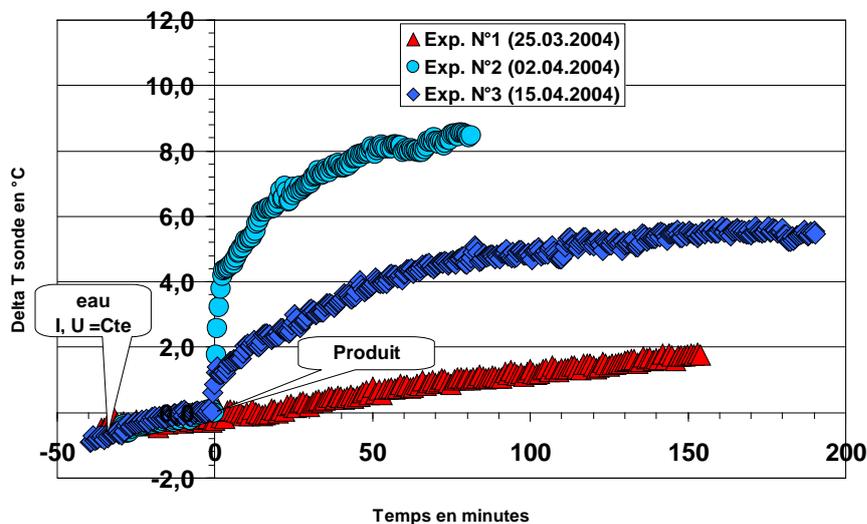


Figure 4 : Suivi de l'encrassement pour 3 essais différents.



Figure 5 : Sonde encrassée

4 Conclusions

Les différents travaux menés sur ce capteur ont permis de déterminer et valider les points suivants :

- La modélisation du comportement du capteur (profil thermique le long du capteur, température d'interface, incidence de l'encrassement en fonction de la géométrie du capteur, géométrie envisagée),
- Les mesures physiques d'ordre thermique (3 variables) et électrique (2 variables).

- L'utilisation en procédé continu pour la détection et / ou la quantification d'un encrassement, ainsi que les critères thermique et hydrodynamique de son fonctionnement,
- La validation expérimentale en procédé continu avec une cinétique d'encrassement (capteur en ligne),
- Les avantages techniques du capteur : sensibilité, faible inertie (potentiellement utilisable en régime dynamique), implantation facile et faible encombrement, utilisation dans les sections isothermes (chambrage) ou anisothermes (refroidissement, chauffage).

Sur la base de cette collaboration et des différentes études réalisées depuis 2001, nous pouvons proposer les perspectives scientifiques et industrielles suivantes :

- Objectif industriel : contrôle et mesure de l'épaisseur de dépôt lors du traitement thermique (capteur d'encrassement en ligne).
- Objectifs scientifiques : connaissance (aspect académique) et mesure des propriétés physiques (épaisseur, conductivité thermique) des dépôts encrassant *in situ* (au sein du procédé, $75^{\circ}\text{C} < \theta < 150^{\circ}\text{C}$, $P < 15$ Bar).

A l'avenir, pour améliorer le capteur nous devons travailler dans les domaines suivants :

- géométrie du capteur / orientation / intrusif – non -intrusif,
- revêtement de surface possible (dépôt électrochimique),
- nombre de thermocouples et distribution géométrique,
- conditionnement électrique plus intégré.

Actuellement, ce capteur en ligne fait l'objet d'une démarche de protection par brevet via le département CEPIA de l'INRA.

5 Bibliographie

La littérature suivante traite de cette problématique (méthode du fil chaud comme capteur).

1. Auvergne A., Lekhal D., Surel O., Bayourthe C., Utilisation d'un coagulomètre à fil chaud en technologie fermière, Industries Alimentaires & Agricoles, Juillet-Aout, 9-13, 2002.
2. Bellon J.L., Quiblier J.P., Durier Ch., Noel Y., Un nouveau capteur industriel de mesure du temps de coagulation du lait, Technique laitière, 1031, 29-32, 1988.
3. Dulac A., Etude de la réponse d'une méthode thermique pour suivre la coagulation du lait, PhD thesis Université de Compiègne, 1990.
4. Fillaudeau L., Cardenas R., Korolzuck J., Lejaye J., Cozic F., Debreyne P., Application of the hot wire method to monitor fouling phenomena in food process, Proceeding of International Conference Engineering and Food (ICEF-9, Montpellier, France), March 9-12, 2004.
5. Hori T., Objective measurements of the process of curd formation during rennet treatment of milks by the hot wire method, Journal of Food Science, 50, 911-917, 1985.
6. Jones A.D., Ward N.J., Schreier P.J.R., Fryer P.J., The use of a heat flux sensor in monitoring fouling, Fouling and Cleaning in Food Processing, Eds Belmar-Beiny MT, Fryer PJ, University of Cambridge (UK), 230-241, 1994.
7. Shariaty-Niassar M., Hozawa M., Tsukada T., Development of probe for thermal conductivity measurement of food materials under heated and pressurized conditions, Journal of Food Engineering, 43, 133-139, 2000.
8. Shimada K., Sakai Y., Nagamatsu K., Hori T., Hayashi R., Gel-setting and Gel melting temperatures of aqueous gelatin solutions under high pressure measured by hot-wire method, Biosci. Biotech. Biochem., 60, (8), 1349-1350, 1996.
9. Tavman I.H., Tavman S., Measurement of thermal conductivity of dairy products, Journal of Food Engineering, 41, 109-114, 1999.
10. Truong T., Anema S., The use of heat flux sensor for in-line monitoring of fouling of non-heated surfaces, Proceeding of Fouling and Cleaning in Food Processing, Eds Belmar-Beiny MT, Fryer PJ, University of Cambridge (UK), 221-229, 2002.