



Modélisation multi échelle des phénomènes dans une chambre de traitement utilisée pour la stérilisation de liquides alimentaires par champs électriques pulsés

1 - Généralités

Les procédés de pasteurisation thermiques traditionnels induisent des pertes de qualité sensorielles et nutritionnelles. L'utilisation d'énergie électrique à la place de la chaleur permet de conserver ces qualités tout en réduisant sensiblement la consommation énergétique. Lorsque des impulsions électriques sont appliquées sur des liquides contenant des microorganismes, ceux-ci sont détruits par des phénomènes de perméabilisation membranaire.

De façon plus détaillée il apparaît que l'inactivation microbiologique dépend de phénomènes aux échelles macroscopiques (hydrodynamique et effet joule) et microscopiques (interface « liquide/microorganisme »). L'objectif est d'améliorer la compréhension de ces phénomènes tout d'abord à l'échelle macroscopique puis microscopique en les représentant à l'aide de logiciels de simulation numérique.

La compréhension et la résolution numérique des phénomènes en jeu dans le procédé permettront de diminuer l'énergie électrique nécessaire au traitement et de réduire très significativement l'empreinte carbone notamment par rapport au traitement thermique actuel.

2 - Description du procédé

Sur des liquides alimentaires, des impulsions électriques brèves (de l'ordre de la micro seconde) sont appliquées par l'intermédiaire d'électrodes reliées à un générateur d'impulsions. Lorsque le champ électrique est suffisant (de l'ordre de 7 à 10 kV/cm), un effet létal sur les microorganismes est observé.

De façon plus détaillée, la mortalité cellulaire dépend de la perméabilisation de la membrane plasmique et des caractéristiques du liquide (résistivité, pH), du microorganisme (sphères ou bâtonnets), des impulsions électriques (intensité du champ électrique) et du régime hydrodynamique.

Les intérêts de ce procédé sont :

- Sa rapidité : du fait de l'efficacité électrique, le temps de séjour à l'intérieur des chambres de traitement se limite à quelques dixièmes de secondes (comparé à la minute pour les stérilisateurs thermiques habituels),
- Sa compacité : le volume des chambres de traitement est de quelques centimètres cubes (comparées à plusieurs dizaines de litres pour les stérilisateurs thermiques habituels),
- Le gain énergétique (3 fois moins qu'avec les systèmes thermiques classiques).

3 - Travail demandé : compréhension et représentation des phénomènes

Le but du travail postdoctoral est de comprendre les interactions entre les paramètres physiques, biologiques, électriques et hydrodynamiques.

En exploitant des résultats expérimentaux réalisés à l'échelle d'un banc de laboratoire, et en suivant des essais pilotes qui seront réalisés chez l'industriel partenaire, l'objectif est de représenter les phénomènes aux échelles macroscopiques et microscopiques.



3.1 Compréhension des phénomènes au niveau macroscopique

Sur l'ensemble du volume du réacteur et pendant le temps de passage les caractéristiques hydrauliques (viscosité, présence de pulpes) et les caractéristiques électriques (effet joule) influent sur l'efficacité en termes d'inactivation biologique. Des logiciels de simulation numérique (fluent, fluydin, etc.) seront utilisés pour représenter ces deux domaines (hydraulique et électrique) afin d'améliorer la compréhension des interactions et augmenter les synergies possibles

3.2 Compréhension des phénomènes au niveau microscopique :

Dans un deuxième temps, les travaux porteront sur la compréhension des phénomènes impulsionsnels à l'échelle du micromélange aux interfaces « électrode/liquide » et « liquide/ microorganisme ». L'idée est d'améliorer le transfert de l'énergie électrique depuis les électrodes jusqu'au microorganisme.

3.3 – Synthèse : Aspects « procédé »

Au final, les travaux permettront (en lien avec des industriels) de dimensionner des têtes de traitement spécifiques à chaque utilisation, sachant qu'un design optimisé contribuera à améliorer l'efficacité énergétique du procédé.

4 - Conclusion

L'étude telle que décrite durera 18 mois, s'intégrera dans un projet collaboratif de type FUI d'une durée totale de 3 ans qui impliquera des industriels de l'électronique de puissance et du traitement des aliments.

Les points forts de ce projet sont :

- Améliorer la compréhension des phénomènes bio-physiques
- Développer une approche pluridisciplinaire dans la mise au point d'un modèle simulant les phénomènes de la macro-échelle à la micro-échelle
- Valoriser concrètement les connaissances théoriques rattachées au procédé
- Aboutir à un procédé performant sur le plan organoleptique et économe en énergie capable de promouvoir une rupture technologique forte avec les technologies classiques de pasteurisation

Mots clés : champ électriques, microorganismes, jus de fruits, simulation numérique

Compétences utiles : simulation, résolution numérique

Références :

Schrive, L., A. Grasmick, et al. (2006). "Pulsed electric field treatment of *Saccharomyces cerevisiae* suspensions ; A mechanistic approach coupling energy transfer, mass transfer and hydrodynamics." Biochemical engineering journal **27**: 212-224.

Jaeger, H., N. Meneses, et al. (2009). "Impact of PEF treatment inhomogeneity such as electric field distribution, flow characteristics and temperature effects on the inactivation of *E. coli* and milk alkaline phosphatase." Innovative Food Science & Emerging Technologies **10**(4): 470-480.