

## Mise au point d'un procédé innovant d'éco-extraction assisté par ultrasons d'ingrédients alimentaires à partir de spiruline et transposition à l'échelle industrielle

### Résumé

Les microalgues sont l'une des ressources renouvelables les plus prometteuses pouvant constituer une alimentation durable future. Grâce à leur diversité de métabolisme, ces microorganismes sont capables de synthétiser une vaste gamme de composés d'intérêt à haute valeur nutritionnelle. Cependant, leur consommation reste limitée du fait de leurs caractéristiques organoleptiques intrinsèques peu attrayantes. Afin de répondre à cette problématique et de franchir ces barrières, les travaux de cette thèse ont porté sur la mise au point d'un ingrédient alimentaire à partir de spiruline.

Une méthode verte et innovante faisant intervenir la technologie ultrasonore pour l'extraction de protéines à partir d'*Arthrospira platensis* a été proposée dans une première partie. Il s'agit de la manothermosonication (MTS). Le recours à un plan d'expérience a permis d'optimiser les paramètres d'extraction ; et une modélisation mathématique ainsi que des investigations microscopiques ont mené à une compréhension des phénomènes de transfert de masse d'une part et des effets structuraux des ultrasons sur les filaments de spiruline d'autre part. Selon les résultats expérimentaux, la MTS a permis d'obtenir 229 % de protéines en plus ( $28,42 \pm 1,15$  g / 100 g MS) par rapport au procédé classique sans ultrasons ( $8,63 \pm 1,15$  g / 100 g MS). Avec 28,42 g de protéines pour 100 g de spiruline dans l'extrait, un taux de récupération des protéines de 50 % a été atteint en 6 minutes effectives avec un procédé MTS continu. Partant de ces résultats prometteurs, des pistes d'extrapolation ont été étudiées afin de proposer des outils d'aide à la décision pour l'industrialisation du procédé. Ainsi une procédure d'analyse des risques (HACCP & HAZOP), une étude de coût ainsi que l'impact environnemental du procédé ont été développés dans une seconde partie de ces travaux. Enfin, des voies de valorisation des co-produits d'extraction ont été présentées dans une approche de bioraffinerie.

**Mots clé :** *Microalgues, spiruline, éco-extraction, manothermosonication, co-produit, bioraffinerie, industrialisation*

## Development of an innovative process of eco-extraction assisted by ultrasound of food ingredients from spirulina and transposition to industrial scale

### Abstract

Microalgae are one of the most promising renewable resource for future sustainable food. Thanks to their diversity of metabolism, these microorganisms can synthesize a wide range of compounds of interest with high nutritional value. However, their consumption remains limited because of their intrinsic organoleptic characteristics unattractive. To answer this problem and to overcome these barriers, this thesis was focused on the development of a food ingredient from spirulina.

A green and innovative method using ultrasonic technology for the extraction of proteins from *Arthrospira platensis* was proposed in a first part. This is the manothermosonication (MTS). The use of an experimental plan made it possible to optimize extraction parameters; and mathematical modeling and microscopic investigations led to an understanding of the mass transfer phenomena on the one hand, and the structural effects of ultrasound on spirulina filaments on the other hand. According to the experimental results, MTS allowed to obtain 229 % more proteins ( $28.42 \pm 1.15$  g / 100 g DW) compared to the conventional method without ultrasound ( $8.63 \pm 1.15$  g / 100 g DW). With 28.42 g of protein per 100 g of spirulina in the extract, a protein recovery rate of 50% was achieved in 6 minutes with a continuous MTS process. Based on these promising results, extrapolation tracks have been studied in order to propose decision support tools for process industrialization. Thus, a risk analysis procedure (HACCP & HAZOP), a cost study as well as the environmental impact of the process were developed in a second part of this work. Lastly, ways of exploiting by-products have been presented in a biorefinery approach.

**Keywords:** *microalgae, spirulina, eco-extraction, manothermosonication, by-product, biorefinery, upscaling*