

# SIMULATION NUMERIQUE DE LA COMBUSTION D'UNE PARTICULE DE GRIGNONS D'OLIVES

**I. BAKHATTAR<sup>1,3</sup>, A. ELORF<sup>2</sup>, M. ASBIK<sup>1</sup>, B. SARH<sup>2</sup>, T. BOUSHAKI<sup>2</sup>, M. EI KABIRI<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Equipe de Matériaux & Energies Renouvelables, Faculté des Sciences UMI, BP11201, Zitoune, Meknès, Maroc + asbik\_m@yahoo.fr

<sup>2</sup>Institut de Combustion Aérothermique Réactivité et Environnement (ICARE), CNRS - 1C avenue de la Recherche Scientifique, 45071 Orléans Cedex2, France + Brahim.Sarh@cns-orleans.fr

<sup>3</sup>Equipe de Recherche en Thermique, Energie et Environnement (ERTEE), l'Ecole Normale Supérieure d'Enseignement Technique RABAT (ENSET), B.P. 6207 Rabat-Instituts Rabat Maroc. + m.elkabiri@um5s.net.ma

## Résumé

Ce travail porte sur l'étude numérique de la combustion d'une particule de grignons d'olives (biomasse) dans une chambre de combustion. La particule est composée essentiellement d'une partie humide, matière volatile et de la partie char. Lors du processus de combustion la particule passe par plusieurs étapes, notamment le séchage, la dévolatilisation ou la pyrolyse (primaire et secondaire), et l'oxydation. Cette étude a été effectuée en utilisant le logiciel CFD ANSYS Fluent. Les résultats de simulation numérique montrent que les grignons d'olive peuvent être une source prometteuse de la chaleur puisque la température de la combustion peut atteindre 1590K. Les distributions de l'oxygène et du dioxyde de carbone autour de la particule sont présentées dans cette étude.

**Mots clefs :** *Combustion, Simulation numérique, Biomasse, Lit fluidisé.*

## Nomenclature

		<b>Indices</b>	
C <sub>p</sub>	Chaleur spécifique	b	Lit fluidisé
k	Débit massique	f	Flamme
h <sub>conv</sub>	Coefficient de convection	h	Chaleur
h <sub>m</sub>	Coefficient de transfert de masse	hete	Hétérogène
S <sub>r</sub>	Terme source	m	Masse
R	Rayon de la particule	p	Particule
r	Direction radiale	pyro	Pyrolyse
t	Temps	vap	Vaporisation
T	Température	0	
v	Volume		
ΔH	Enthalpie		
ε	Emissivité		
λ	Conductivité thermique		
ρ	Masse volumique		
σ	Constante Stefan-Boltzmann		

## 1. Introduction

Actuellement, les problèmes liés aux changements climatiques influent amplement sur les nouvelles stratégies énergétiques adoptées par la plupart des pays, notamment celles liées aux énergies renouvelables. Une énergie renouvelable est une source d'énergie qui se renouvelle assez rapidement pour être considérée comme inépuisable à l'échelle humaine.

Dans le cadre de la promotion des énergies renouvelables au Maroc, un projet franco-marocain appelé VERA (Valorisation Energétique des Résidus Agricoles) a vu le jour en 2012. Ce projet, traite la valorisation énergétique des grignons d'olive comme source de la biomasse. Ce projet est menée conjointement par un laboratoire marocain (LP2MS, Faculté des Sciences, Meknès) et deux laboratoires français du CNRS d'Orléans (ICARE & ICMN).

Plusieurs travaux de recherche traitant la combustion de la biomasse dans un lit fluidisé (ou fixe) ont déjà été menés [1-5]. En effet, Ninduangdee et Kuprianov [2] ont étudié expérimentalement la combustion de la coque d'amande-palmier dans un réacteur à chambre de combustion de forme conique. Les températures et les concentrations de gaz (O<sub>2</sub>, CO, C<sub>x</sub>H<sub>y</sub> comme CH<sub>4</sub>, et NO) ont été mesurées, surtout, le long de la direction axiale du réacteur. Ils ont montré que la taille des particules et l'excès d'air ont une influence importante sur le comportement des gaz polluants ainsi que sur l'efficacité du réacteur. Bu et al.[3-4] se sont focalisés dans un premier temps sur l'étude expérimentale de la dévolatilisation d'une particule de biomasse, ayant une forme sphérique, dans un lit fluidisé. Cette étude a été effectuée en testant cinq types de biomasse y compris une variété du bois (Schima wood). Ensuite, les auteurs ont conduit une simulation numérique [4] et comparé les calculs aux résultats expérimentaux de la référence [3]. En outre, ils ont prouvé que le temps de dévolatilisation dépend essentiellement des propriétés de combustible utilisé. Par ailleurs, la capacité thermique, la conductivité

thermique de la biomasse, ainsi que le coefficient d'échange thermique convectif sont les paramètres les plus influençant sur le temps de dévolatilisation.

D'après une étude préliminaire menée par l'équipe du projet VERA [5-7], il s'est avéré que la combustion des grignons d'olive pourrait être une voie prometteuse pour la production de l'énergie thermique d'autant plus que les études thermochimiques de ce combustible ne sont pas abondantes dans la littérature. Ainsi, dans ce travail, nous avons utilisé le modèle de la référence [4] afin de prédire le comportement thermique de la particule de grignon d'olive ainsi que la fraction des gaz dégagés, lors de sa combustion dans un lit fluidisé, en utilisant le logiciel CFD (Computational Fluid Dynamics) de ANSYS FLUENT 15.

## 2. Formulation du problème

### 2.1. Modèle physique

La figure 1 (FIG 1) montre un schéma descriptif de l'interaction d'une particule solide dans un lit fluidisé. Il est principalement constitué d'une particule de la biomasse injectée dans une chaudière à lit fluidisé. Cette particule est le siège de l'opération de combustion après avoir subi les processus de séchage, de la dévolatilisation et/ou de la pyrolyse.

Au cours de la combustion de la particule, il existe deux phénomènes de transport, à savoir, le transport de la matière qui est représenté par la libération de la matière volatile contenu dans la particule, et le transport de la chaleur qui comprend les trois modes de transfert de chaleur (conduction, convection et rayonnement) entre les différents constituants du système [1].

Afin de simplifier les équations qui régissent le problème décrit ci-dessus, les hypothèses de la référence [4] ont été retenues.

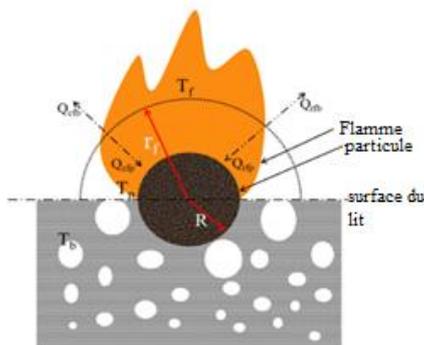


FIG 1 : Schéma de la particule dans un lit fluidisé [4].

### 2.2. Equations de transport

La problématique physique étudiée est décrite en général par deux équations globales appelées qui sont les équations de transport [4]. Ainsi, les transports de la matière et de l'énergie s'expriment respectivement par :

$$\frac{\partial \rho_p}{\partial t} = -S_{r,m}$$

$$\frac{\partial (\rho_p C_{p,p} T_p)}{\partial t} = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left( r^2 \lambda_p \frac{\partial T_p}{\partial r} \right) + S_{r,h}$$

Les termes sources de ces deux équations,  $S_{r,m}$  et  $S_{r,h}$  représentent les effets de la vaporisation et de la pyrolyse [4]. En effet,

$$S_{r,m} = \frac{(k_{vap} + k_{pyro})}{v}$$

et

$$S_{r,h} = \frac{k_{vap} \Delta H_{vap} + k_{pyro} \Delta H_{pyro}}{v}$$

Les conditions initiales retenues sont comme suit :

$$\text{Pour la masse : } t=0 \rightarrow \rho_p = \rho_{p0}$$

$$\text{Pour l'énergie : } t=0 \rightarrow 0 \leq r \leq R, \quad T_p = T_{p0}$$

Les conditions aux limites sont données par les relations suivantes :

$$t > 0, \quad r = 0, \quad \frac{\partial T_p}{\partial r} = 0$$

$$t > 0, \quad r = R, \quad \lambda_p \frac{\partial T_p}{\partial r} = h_{conv} (T_b - T_p) + \sigma \varepsilon_p (T_b^4 - T_p^4) + \frac{\sigma \varepsilon_p (T_f^4 - T_p^4)}{2 \left( 1 + \varepsilon_p \left( \frac{R}{r_f} \right)^2 \left( \frac{1}{\varepsilon_f} - 1 \right) \right)} + k_{hete} \Delta H_{hete}$$

## 3. Présentation des résultats

L'étude numérique de la combustion d'une particule de grignon d'olive réalisée dans une enceinte de forme cylindrique, de 100 mm de diamètre et 200 mm de longueur. L'air primaire est injecté par l'entrée du brûleur de 20 mm de diamètre situé en bas de l'enceinte. Le diamètre de la sortie des gaz situé en haut de l'enceinte a pour diamètre 10 mm.

La figure ci-dessous (FIG. 2) représente la distribution de température dans le réacteur. On constate que la valeur maximale de la température se trouve au niveau de la particule et qu'elle atteint 1590K.

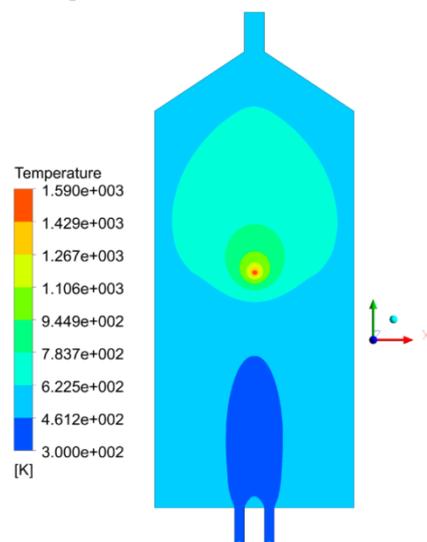


FIG 2 : distribution de la température dans la chaudière.

Concernant la fraction de l'oxygène ( $O_2$ ) dans la chaudière, il est évident qu'au voisinage de la particule le taux de ce

gaz est faible. Cette concentration augmente au fur et à mesure qu'on s'éloigne de la particule jusqu'à qu'elle atteint sa valeur maximale au niveau de l'entrée de l'air d'injection. Ce comportement est dû à la consommation de ce gaz, entourant la particule, lors de la combustion.

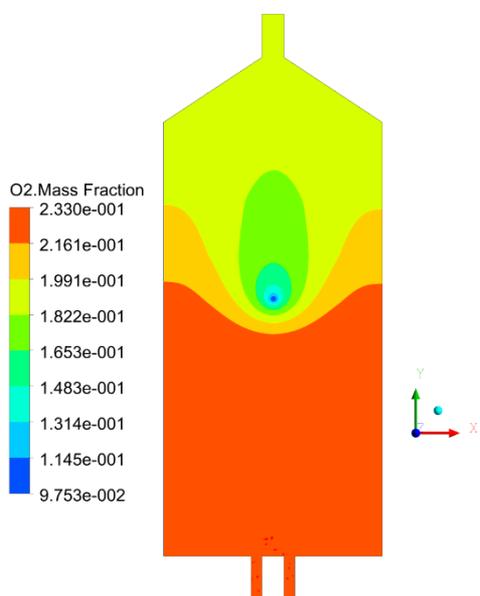


FIG 3 : Fraction de O<sub>2</sub>

La distribution de la fraction du dioxyde de carbone produit lors de la combustion de la particule de biomasse est illustrée sur la figure 4 (FIG. 4). Notons que la concentration de CO<sub>2</sub> est maximale dans les zones adjacentes à la particule puisqu'elles représentent la source des émissions de ce gaz dans la phase de dévolatilisation.

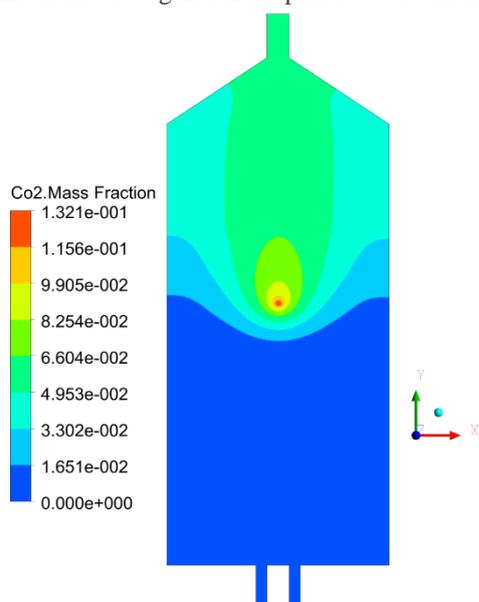


FIG 4 : Distribution du CO<sub>2</sub> dans la chaudière.

L'utilisation des grignons d'olives en tant que combustible solide est une voie prometteuse qui permettra d'une part, de réduire les déchets oléicoles, et d'autre part, de réduire la facture énergétique par rapport aux achats de produits pétroliers. L'étude menée sur la modélisation numérique de la combustion de la particule solide de la biomasse nous a montré que l'utilisation des grignons d'olives comme combustible peut être une solution efficace pour la production d'énergie vue la température élevée qu'il atteint lors de la combustion.

## Références

- [1] S. KOHLER, Pyrolyse rapide de biomasses et de leurs constituants. Application à l'établissement de lois prévisionnelles, Thèse, L'institut National Polytechnique de Lorraine, 2009.
- [2] P. Ninduangdee and V. Kuprianov, Combustion of palm kernel shell in a fluidized bed: Optimization of biomass particle size and operating conditions, *Energy Conversion and Management* 85 (2014), pp. 800-808.
- [3] C. Bu, B. Leckner, X. Chen, A. Gomèze-Barea, D. Liu, and D. Pallarès, Devolatilization of a single fuel particle in a fluidized bed under oxy-combustion conditions. Part A: Experimental results *Combustion and Flame* 162 (2014), pp. 797–808.
- [4] C. Bu, B. Leckner, X. Chen, A. Gomèze-Barea, D. Liu, and D. Pallarès, Devolatilization of a single fuel particle in a fluidized bed under oxy-combustion conditions. Part B: Modeling and comparison with measurements, *Combustion and Flame* 162 (2015), pp. 809–818.
- [5] B. Cagnon, S. Bonnamy, A. Pineau, J. P. Charpentier, M. Asbik and B. Sarh, Combustion and carbonization of olive pomaces dried using solar process, *Carbon Congress*, 8 to 15 July 2016, Pennsylvanie (USA).
- [6] A. Koukouch, A. Idlimam, M. Asbik, B. Sarh, B. Izrar, A. Bah and O. Ansari, Thermophysical characterization and mathematical modeling of convective solar drying of olive pomace, *Energy Conversion and Management* 99 (2015), pp. 221-230.
- [7] A. Koukouch, A. Idlimam, M. Asbik, B. Sarh, B. Izrar, S. Bostyne, A. Bah, O. Ansari, O. Zegaoui and A. Amine, Experimental determination of the effective moisture diffusivity and activation energy during convective solar drying of olive pomace waste, *Renewable Energy* 101 (2017), pp. 565-574.

## Remerciements

Nous remercions la Région Centre Val de Loire (France) d'avoir financé le projet de recherche VERA et VERA\_P2.

## Conclusion