

Maillage 3D par imagerie RMN d’un grain de maïs et modélisation des transferts de chaleur et de masse durant son séchage

Sébastien Janas (1), Sébastien Boutry (2), Luce Vander Elst (2), Robert N. Muller (2), François Béra (1)

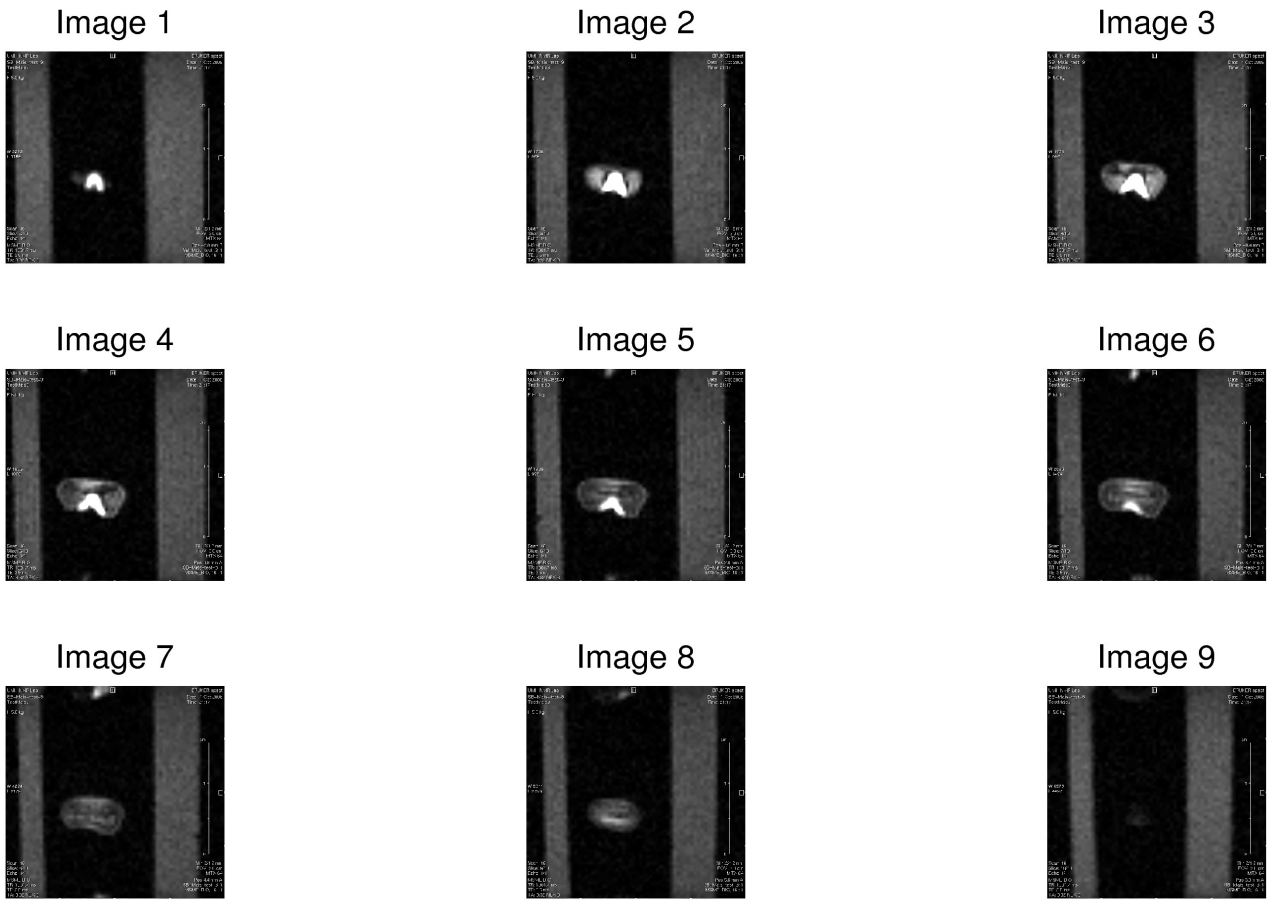
(1) Université de Liège, Gembloux Agro-Bio-Tec, Unité de Technologie des Industries Agro-Alimentaires, Passage des déportés 2, 5030 Gembloux
(2) Université de Mons, Département de Chimie Générale, Organique et Biomédicale, Laboratoire de RMN et d’Imagerie Moléculaire, Avenue Maistriau 19, 7000 Mons

INTRODUCTION

Le séchage est dommageable aux grains de maïs (crevassements, dénaturation des protéines, diminution de l'aptitude au fractionnement,...). Son optimisation nécessite que soit connue l'évolution de la distribution spatiale de la teneur en eau et de la température dans le produit durant le séchage, et cela en fonction des conditions aux limites. Ces paramètres ne peuvent être obtenus que via la modélisation des phénomènes physiques impliqués dans le processus (conduction, diffusion, évaporation). La teneur en protéines salino-solubles est plus élevée dans le germe tandis que l'amidon n'est présent que dans l'endosperme. Selon le critère de qualité étudié, l'évolution de la température et de la teneur en eau doit être suivie spécifiquement dans l'un ou l'autre tissu du grain. Les coupes 2D dans un grain, acquises par imagerie RMN, ont été traitées à l'aide du logiciel MATLAB afin d'isoler un grain dans l'image et d'augmenter le contraste entre le germe et l'endosperme. La géométrie 3D du grain a été reconstruite à partir des coupes 2D avec le logiciel COMSOL Mulytiphysics 3.5a. Le volume obtenu a été maillé à l'aide de tétraèdres. Les équations de Fourier et de Fick ont été résolues par la méthode des éléments finis.

1. Acquisition des images RMN

Les images des grains de maïs ont été obtenues par imagerie RMN à température ambiante sur un appareil AVANCE-200 (Bruker, Karlsruhe, Allemagne) équipé avec un aimant de 4,7 T. Les grains de maïs ont été placés dans des tubes à essais de 15 ml, séparés individuellement à l'aide de morceaux de coton. Ce tube a ensuite été placé dans un tube de 50 ml contenant un mélange d'eau et d'oxyde de deutérium en proportion 1:1.



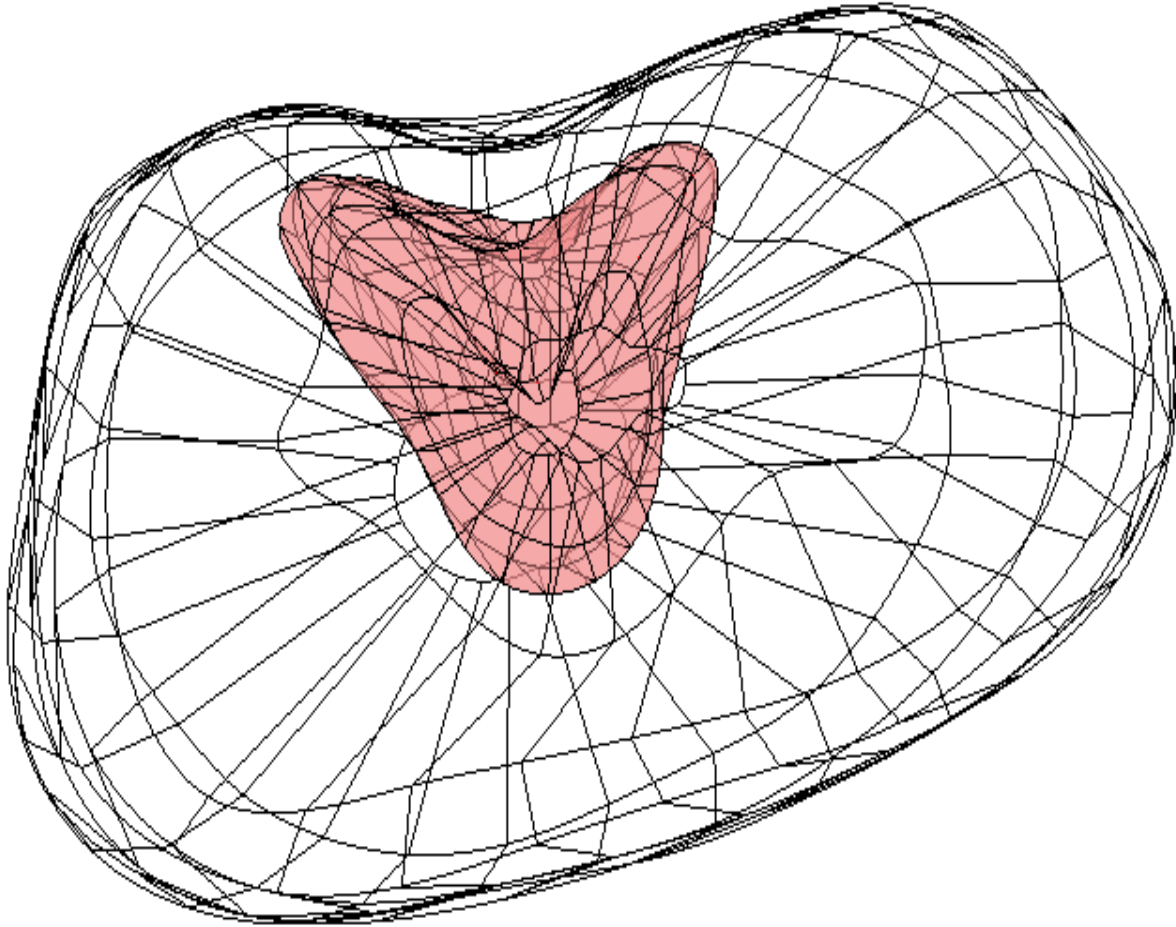
Coupes 2D dans un grain de maïs obtenues par imagerie RMN



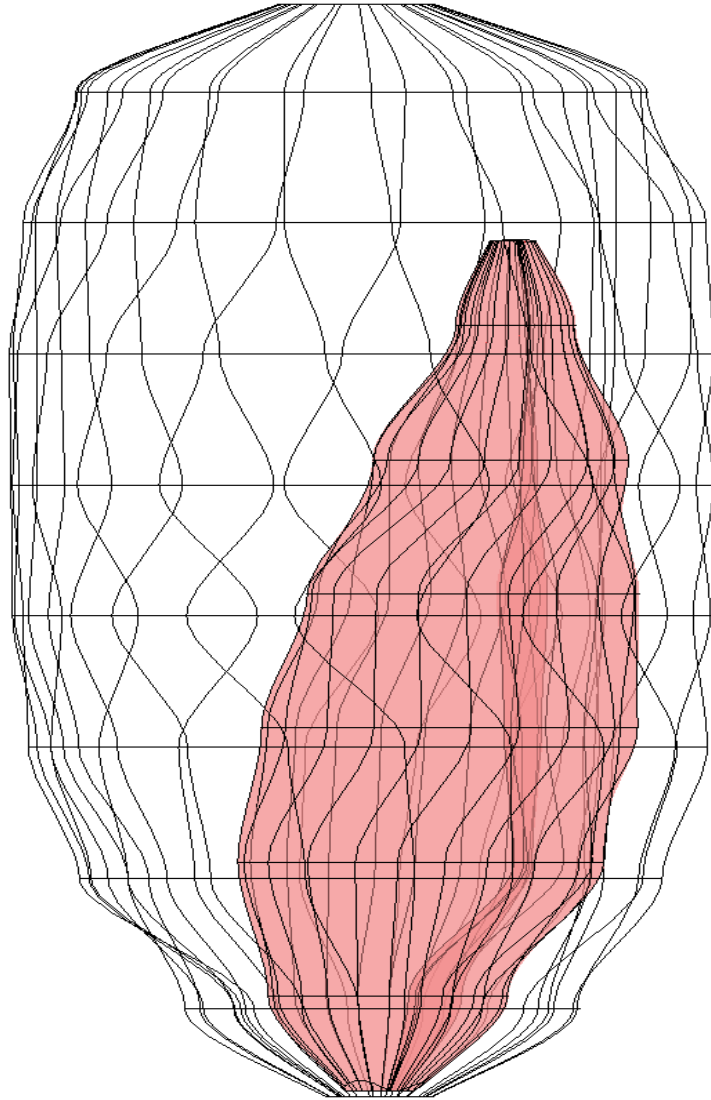
Coupe 2D dans un grain de maïs obtenue par imagerie RMN, distinguant le germe et l'endosperme

2. Traitement des images

Le volume du grain entier, de l'endosperme et du germe sont respectivement de $1.80 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3$, $1.65 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3$ et $1.46 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3$.



Vue du bas de la géométrie 3D du grain de maïs reconstruite à partir des images RMN.



Vue latérale de la géométrie 3D du grain de maïs reconstruite à partir des images RMN.

3. Modélisation des transferts de chaleur et de masse

Équation de Fourier

$$\rho * C_p * \frac{\delta T}{\delta t} = \nabla \cdot (\lambda \nabla T)$$

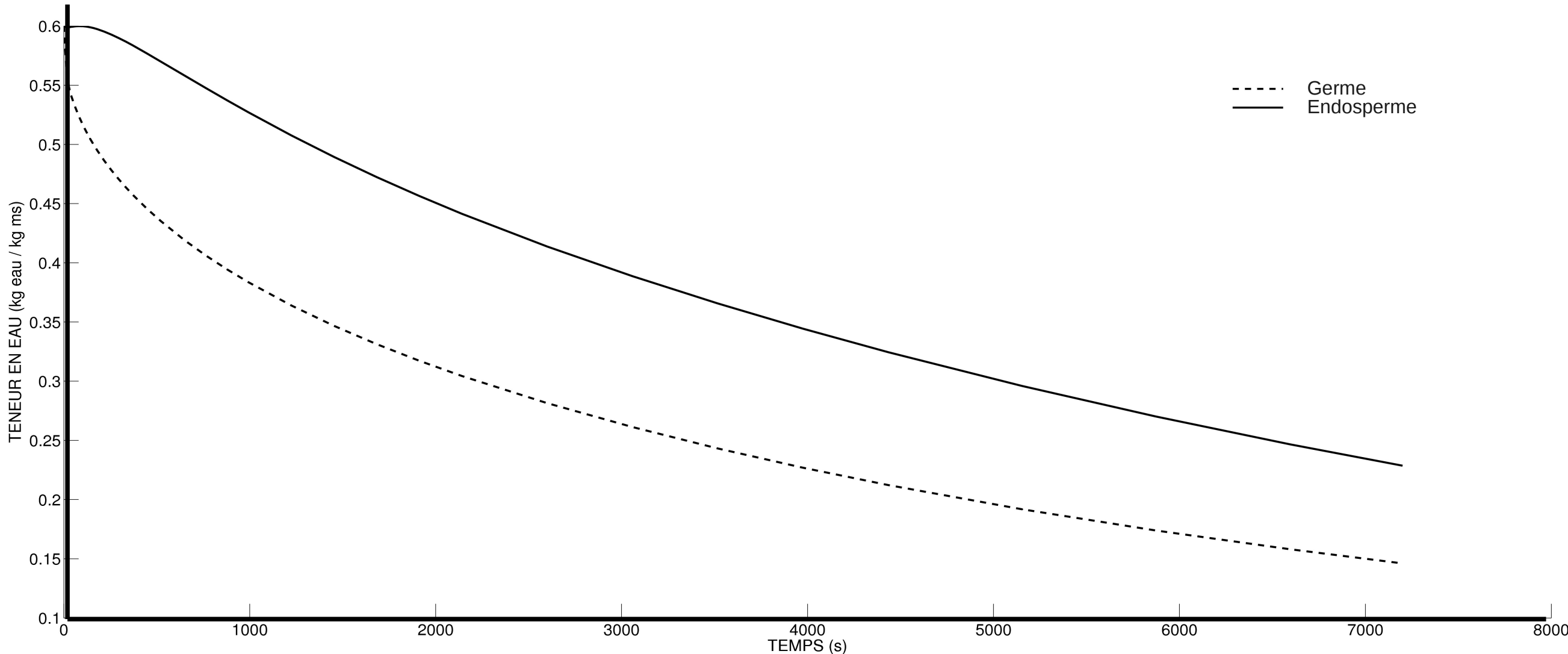
Équation de Fick

$$\frac{\delta X}{\delta t} = \nabla \cdot (D_{eff} \nabla X)$$

Conditions aux limites

$$k * (T_a - T_s) = \vec{n} \cdot (\lambda \nabla T) - H_w * h * \rho_{air} * (Y_a - Y_s)$$

$$-\vec{n} * \rho_{db} * (D_{eff} \nabla X) = h * \rho_{air} * (Y_a - Y_s)$$



Évolution de la teneur en eau moyenne du germe et de l'endosperme d'un grain de maïs lors de son séchage en lit fluidisé à la température constante de 80°C.

CONCLUSION

L'utilisation de l'imagerie RMN permet la construction du maillage 3D de grains de maïs distinguant leurs différents tissus internes. Ce maillage peut ensuite être utilisé pour modéliser les phénomènes physiques intervenant au sein du produit étudié lors des procédés du génie chimique, tels que le séchage. Dans les conditions de séchage investiguées, l'évolution de la teneur en eau est très spécifique à la zone tissulaire considérée. Les vitesses de dégradation des protéines situées dans ces tissus devraient en être affectées.