

ANALYSE NUMERIQUE DE L'AERAIQUE D'UN SECHOIR A CHARCUTERIE : CAS D'UN CYCLE DE VENTILATION SINUSOÏDAL D'AMPLITUDE 60%/40%

P.-S. MIRADE
INRA-Theix, SRV-Génie des Procédés, 63122 ST GENES CHAMPANELLE

Introduction

Dans un séchoir à charcuterie, l'air, vecteur des échanges de matière et de chaleur, conditionne, par ses caractéristiques locales (température, hygrométrie, vitesse et turbulence), le bon déroulement du séchage. Dans le cas du saucisson, une vitesse de séchage trop élevée conduit à un croûtage. A l'inverse, une vitesse de séchage trop faible provoque l'établissement d'une couche épaisse et poisseuse sur la surface. Ces deux états nuisent à la qualité gustative finale du produit. Une étude a montré que beaucoup d'accidents de fabrication du saucisson sec étaient imputables à un mauvais contrôle des conditions de séchage. Ainsi, la connaissance de la répartition de la ventilation au sein des séchoirs industriels devient essentielle.

Les séchoirs à charcuterie modernes ont une géométrie relativement simple : outre leur forme parallélépipédique, l'introduction de l'air est assurée par des buses fixées à deux gaines disposées sur chaque paroi latérale longitudinale et la reprise s'effectue en plafond au moyen de bouches d'aspiration. Par contre, le pilotage de ces séchoirs industriels est complexe. En effet, de façon à assurer une homogénéité de séchage, ils présentent : un fonctionnement intermittent où des périodes ventilées à vitesse élevée et à air 'sec' alternent avec des périodes de repos et une ventilation alternée, pendant laquelle, tout en conservant un débit d'air introduit dans le séchoir constant et égal à 100%, le débit dans chacune des deux gaines de soufflage varie autour de 50% entre une limite basse et une limite haute (cette technique est appelée 'Balayage alternatif' - Figure 1 : cas d'un cycle de ventilation sinusoïdal d'amplitude 60%/40%). L'homogénéité de la vitesse de l'air pendant la période de ventilation est directement liée aux valeurs de ces limites qui, selon la pratique industrielle, dépendent de la géométrie et des conditions d'utilisation du séchoir.

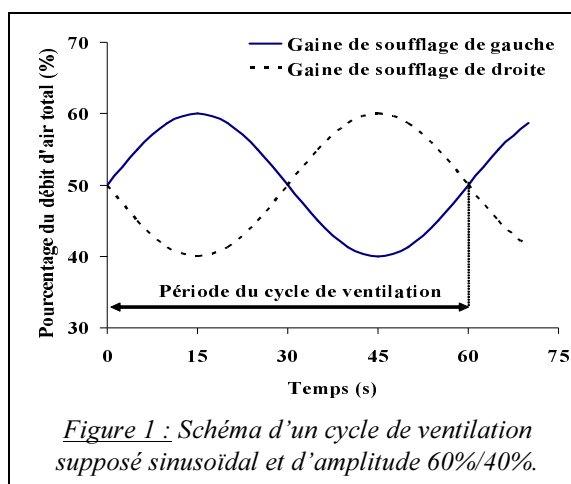


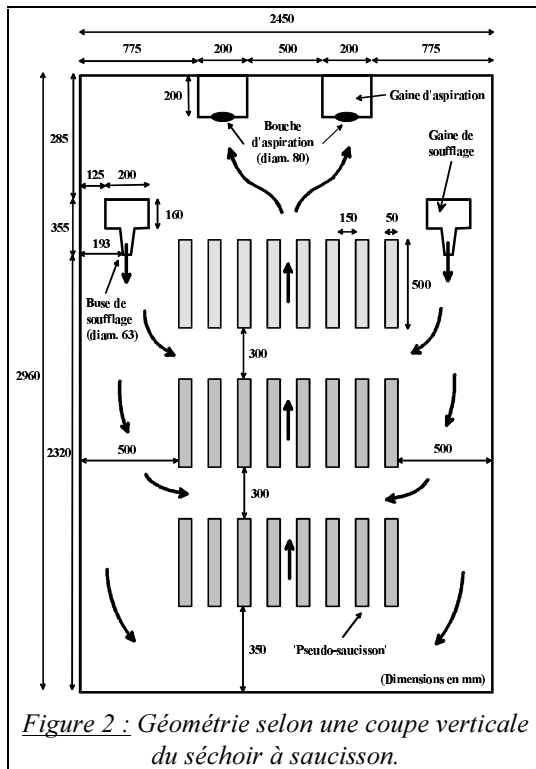
Figure 1 : Schéma d'un cycle de ventilation supposé sinusoïdal et d'amplitude 60%/40%.

Une première approche expérimentale et des travaux de modélisation numérique en conditions limites stationnaires avaient révélé quelques éléments déterminants sur l'aéraiue de ces séchoirs, sans toutefois, permettre de réellement appréhender leur dynamique de fonctionnement. Dans un petit séchoir industriel, la présente étude s'attache donc, au moyen d'une modélisation numérique 2D en conditions limites instationnaires réalisée avec le code FLUENT, à apprécier, sur un cycle complet de balayage alternatif supposé de forme sinusoïdale et d'amplitude 60%/40%, cette dynamique de fonctionnement, au travers de l'homogénéité du champ de vitesse dans la zone occupée par les saucissons.

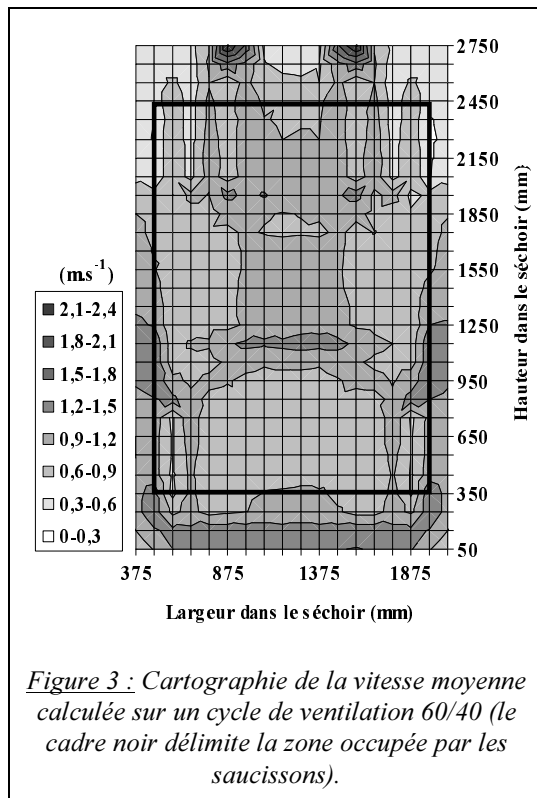
Matériels et méthode

La figure 2 décrit la géométrie, le principe de fonctionnement et le chargement du séchoir moderne qui a servi de support à l'étude numérique présentée dans ce travail. Dans ce séchoir à ventilation alternée de 2,45 m de large et de près de 3 m de haut, l'air est introduit par 2 gaines disposées sur les côtés et comprenant chacune 8 buses de soufflage ; la reprise de l'air s'effectue en plafond par 20 bouches d'aspiration réparties sur 2 gaines. Dans la simulation, le remplissage du séchoir a été pris en compte au moyen de 24 'gros' saucissons.

Le code de calcul industriel en mécanique des fluides numérique FLUENT a été utilisé pour faire cette étude. Un maillage non structuré bi-dimensionnel de 25500 cellules triangulaires, correspondant à la configuration géométrique décrite sur la figure 2, a été créé. A partir de ce maillage, un modèle numérique intégrant une fonction utilisateur, pour tenir compte de l'évolution sinusoïdale '60/40' des conditions de vitesse au soufflage de la figure 1, a été mis au point. Pour les calculs, l'écoulement a été supposé instationnaire, incompressible, isotherme et turbulent. Des tests préliminaires ont permis d'établir à 0,02 s le pas de temps nécessaire à une bonne convergence des calculs, soit 3000 pas à résoudre pour simuler un cycle complet de balayage alternatif de 60 s. Une étude de sensibilité a montré que la turbulence de l'écoulement loin des parois n'était bien prise en compte qu'au moyen d'un modèle à 6 équations (le 'Reynolds Stress Model'). Outre un module de vitesse fixé à chaque pas de temps par la fonction utilisateur, un taux de turbulence de 3% a été



à 250 mm). Dans la zone occupée par les saucissons (délimitée par un cadre noir sur la figure 3), les vitesses d'air moyennes sont plus faibles et relativement hétérogènes (l'écart-type est de 0.2 m.s^{-1}).



obtenus permettent de comprendre les défauts de fabrication régulièrement observés *in situ*. Dans une optique d'optimisation du séchage des saucissons et surtout, d'aide au pilotage des séchoirs industriels, la mécanique des fluides numérique est donc un outil à fort potentiel.

imposé aux extrémités des buses de soufflage. Au niveau des sections de sortie, une condition de type 'sortie libre' a été appliquée. La résolution des calculs a été effectuée sur un PC PIV 2,2 GHz doté de 1,5 Go de RAM et a nécessité 12 heures pour traiter le cycle complet de 60 s.

Résultats et discussion

Compte tenu du nombre important de données (3000 pas de calcul, 200 fichiers d'enregistrement), il est impossible dans ce document de détailler les champs instantanés de vitesse obtenus durant le cycle complet de ventilation. Ne sera donc présenté que le champ moyen de vitesse résultant de ce cycle, qui est une première information utile pour analyser le traitement des produits.

La figure 3 donne selon une coupe verticale du séchoir l'évolution de la répartition de la moyenne des vitesses d'air calculée sur un cycle de ventilation sinusoïdal d'amplitude 60%/40%. Elle rend compte d'une répartition symétrique du champ moyen des vitesses par rapport au plan médian du séchoir. Cela dénote d'une bonne prise en compte de la dynamique de fonctionnement du procédé par le modèle numérique instationnaire.

Globalement, les moyennes les plus élevées sont situées à proximité des 2 buses de soufflage (largeurs de 275 et 2175 mm), ainsi qu'en partie basse du séchoir (hauteurs inférieures à 250 mm). Dans la zone occupée par les saucissons (délimitée par un cadre noir sur la figure 3), les vitesses d'air moyennes sont plus faibles et relativement hétérogènes (l'écart-type est de 0.2 m.s^{-1}). Une analyse plus détaillée de la répartition des vitesses dans la zone où sont placés les produits révèle une distribution assez homogène sur la largeur du séchoir (pour une hauteur donnée), mais par contre, une stratification nette en fonction de la hauteur. Ces résultats sont cohérents avec le fait d'observer, en pratique, un séchage plus intense des produits situés en partie haute, dans un séchoir *a priori* bien réglé.

Néanmoins, ces résultats numériques doivent être analysés avec précaution, car les modèles construits sont 2D. Les objets matérialisant le remplissage du séchoir interagissent donc très fortement avec l'écoulement de l'air, en jouant même un rôle de barrière. Sur ce point, la construction de modèles 3D couplée à des campagnes de mesures *in situ* devrait apporter des réponses claires et accroître l'intérêt industriel de ce travail.

Conclusion

Ce travail, qui relate l'appréciation de l'homogénéité de la vitesse de l'air pendant un cycle complet de balayage alternatif au moyen d'une modélisation instationnaire, constitue une approche innovante dans la manière d'appréhender le fonctionnement complexe des séchoirs modernes à ventilation alternée. Les résultats aérodynamiques