

Séchage convectif : étude théorique et expérimentation sur différents matériaux

Positionnement thématique

Opérations unitaires, Mécanique des fluides, Physique des matériaux, Thermodynamique.

Mots-clés

Mots-clés (en français)	Mots-clés (en anglais)
<i>Air humide</i>	<i>Moist air</i>
<i>Evaporation</i>	<i>Evaporation</i>
<i>Convection</i>	<i>Convection</i>
<i>Modèles physiques</i>	<i>Physical models</i>
<i>Séchage des matériaux</i>	<i>Drying of materials</i>

Bibliographie commentée

La convection naturelle ou forcée : une problématique qui nous entraîne du cycle de l'eau sur Terre aux procédés industriels de séchage des matériaux. L'eau s'évapore naturellement des océans et des mers par le processus dit de convection naturelle. Contrairement à la diffusion moléculaire [1] qui décrit le transfert de matière dans une phase fluide macroscopiquement immobile, mais agitée à l'échelle moléculaire (mouvement Brownien), la convection correspond à un mouvement macroscopique du fluide [2, 3]. La convection naturelle est mue par la différence de densité entre l'air humide et l'air sec. L'air humide est plus léger que l'air sec (contrairement à la croyance populaire qui nous dit que l'air humide est « lourd » ...), car la molécule d'eau est plus légère que les molécules de dioxygène et de diazote qui composent l'air. Ainsi, lors de la convection naturelle, l'air au contact de la surface libre du liquide est saturé d'humidité et s'élève. L'air non saturé, loin de la surface libre, chute. Il s'enrichit en humidité au contact du liquide puis s'élève. Ce mouvement gazeux est un processus stationnaire, en l'absence de perturbation. Il régit le séchage des terres après la pluie ou l'évaporation des lacs et des océans. On peut cependant s'interroger sur sa rapidité, puisque dans l'industrie, on dépense beaucoup d'énergie pour sécher les matériaux, soit en les ventilant, soit en augmentant leur température [4, 5, 6, 7, 8].

1. La convection induite par ventilation est appelée « convection forcée » : elle est mue par une différence de pression imposée dans la phase fluide, induisant l'écoulement du fluide [2, 3]. Augmenter la vitesse du fluide augmente l'intensité de la convection et donc le taux d'évaporation.
2. Augmenter la température d'un matériau humide augmente la pression partielle de vapeur d'eau à sa surface [9], induisant un gradient plus élevé de concentration en vapeur d'eau dans l'air au contact de la surface, ce qui augmente le taux d'évaporation (le flux de transfert de matière étant proportionnel au gradient de concentration en vapeur d'eau, selon la loi de Fick).

Certains calculs théoriques peuvent être faits : la théorie hydrodynamique de la couche limite en régime laminaire [2], appliquée au cas de la convection naturelle ou forcée d'un fluide s'écoulant au-dessus d'une surface plane, permet d'établir des expressions théoriques pour les valeurs des densités de flux de transfert d'eau. Ces calculs sont-ils suffisamment fiables et précis, et peuvent-ils

être appliqués sur différents matériaux ? L'évaporation est le processus clé du séchage industriel des matériaux [4]. Les matériaux humides sont plus ou moins rétentifs d'eau. Il peut s'agir d'eau libre à la surface accessible du matériau, ou insérée dans sa porosité, non liée chimiquement ou physiquement aux molécules du substrat (matériaux hydrophobes). À l'inverse, les matériaux hydrophiles sont définis par le fait qu'ils développent des interactions physiques avec l'eau. L'hydrophilie est caractérisée par le fait que l'évaporation de l'eau dans ces matériaux demande plus d'énergie que l'évaporation de l'eau libre [5]. Pour accélérer la vitesse de séchage, deux possibilités sont offertes : chauffer plus ou augmenter la ventilation [6, 7, 8]. Laquelle de ces stratégies est la plus efficace, la plus économe énergétiquement, ou la mieux adaptée à un matériau donné, dont la stabilité thermique et morphologique peuvent être en jeu ? Et selon le type de matériau, à quelle période du séchage (phase à taux constant, phase à taux décroissant), chacune de ces stratégies peut-elle être appliquée ?

Problématique retenue

Evaluer la prédictibilité de modèles permettant de calculer des vitesses de séchage de différents matériaux. L'adéquation de modèles de transfert par convection, appliqués à l'écoulement d'air au-dessus d'une surface d'eau, est étudiée expérimentalement. Les résultats sont appliqués à l'investigation des mécanismes de séchage de différents matériaux qui se différencient par leur nature, morphologie et hydrophilie (sable humide, polymères hydrophiles ou hydrophobes, matériau pâteux, ...), et à la recherche d'une stratégie optimale de séchage au cas par cas, prenant en compte l'aspect énergétique.

Objectifs du TIPE

1. Recherche et analyse des modèles d'évaporation par convection
2. Mise au point d'un dispositif expérimental permettant de mesurer une vitesse de séchage et de calculer des coefficients de transfert de matière
3. Étude de l'adéquation des modèles, calcul de bilans énergétiques.

Références bibliographiques

- [1] J. CRANK : *The Mathematics of Diffusion*. Oxford science publications. Clarendon Press, 1979.
- [2] R.B. BIRD, W.E. STEWART et E.N. LIGHTFOOT : *Transport Phenomena*. Wiley International edition. John Wiley & Sons Publishers, 2007.
- [3] S. MIDDLEMAN : *An Introduction to Mass and Heat Transfer : Principles of Analysis and Design*. John Wiley & Sons Publishers, 1998.
- [4] D. GREEN et R. PERRY : *Perry's Chemical Engineers' Handbook, Eighth Edition*. McGraw-Hill Education, 2007. <https://books.google.co.uk/books?id=tH7IVcA-MX0C>.
- [5] Patricia ARLABOSSE : Séchage industriel aspects pratiques. *Techniques de l'ingénieur : Production des médicaments*, base documentaire : TIB610DUO.(ref. article : j2455), 2016. <http://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/biomedical-pharma-th15/production-des-medicaments-42610210/sechage-industriel-j2455/>.
- [6] Jean VASSEUR : Séchage : principes et calcul d'appareils de séchage convectif par air chaud (partie 1). *Techniques de l'ingénieur Opérations unitaires : évaporation et séchage*, J2451, 2016. <http://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/procedes-chimie-bio-agro-th2/operations-unitaires-evaporation-et-sechage-42316210/sechage-principes-et-calcul-d-app>
- [7] Jean VASSEUR : Séchage industriel : principes et calcul d'appareils de séchage convectif par air chaud (partie 2). *Techniques de l'ingénieur*

Opérations unitaires : évaporation et séchage, J2452, 2016. <http://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/procedes-chimie-bio-agro-th2/operations-unitaires-evaporation-et-sechage-42316210/sechage-industriel-principes-et-c>

- [8] Jean VASSEUR : Séchage : principes et calcul d'appareils - autres modes de séchage que l'air chaud. *Techniques de l'ingénieur*, 2008.
- [9] Diagrammes de l'air humide basses températures, moyennes températures, hautes températures., 2008.