

GUIDE PRATIQUE AU SECHAGE INDUSTRIEL DE MUJUMDAR :

Principes, Equipements et Nouveaux d'éveloppements

*Edit é par Sakamon Devahastin
Département de Génie Chimique
Université de McGill, Montréal, Canada*

Exergex Corporation
MontrealExergex Corporation
3795 Navare
Brossard, Québec, Canada J4Y 2H4

Guide pratique au séchage industriel de Mujumdar

Copyright 2000 Exergex Corporation

Tous les droits sont réservés ; aucune partie de cette publication ne doit être reproduite ou distribuée sous quelque forme que soit ou par d'autres moyens ou stockés sans l'autorisation écrite de l'imprimeur.

Ce livre contient des informations de sources reconnues et des efforts ont été faits pour assurer leur authenticité. Cependant, les auteurs, l'éditeur et l'imprimeur n'assument aucune responsabilité pour la validité de toutes les informations ou leur conséquence pour leur utilisation.

La couverture de la version anglaise a été conçue par S. Devahastin

ISBN in Thailand

By Thananuch Business Ltd. Part

(662)

289-3526

(662)

689-1615

REMERCIEMENTS

Qu'il nous soit permis de remercier le professeur MUJUMDAR et le Docteur SAKAMON pour nous avoir autorisés de traduire, compléter et rééditer en français ce livre

Nous tenons à remercier particulièrement toutes les institutions qui nous ont soutenus, à savoir

- le Ministère de l'Enseignement Supérieur (Cameroun)
- l'Agence Universitaire de la Francophonie (Canada)
- le Service de la Coopération et d'Action Culturelle de l'Ambassade de France (Cameroun)
- l'Agence Internationale pour la Recherche à l'Etranger (France)
- l'Université de Ngaoundéré (Cameroun)
- l'Université de Yaoundé I (Cameroun)

Nous remercions également toutes les personnes qui ont participé dans cette action de traduction, de relecture et de mise en forme: Dr MESSASSE Jean, Dr TCHOUAMO Isaac, Dr MBOG BITANGA Robert, Dr NOUMSSI Gérard Marie, Dr NGANYA Thomas, Mmes KAPSEU Liliane, CHIMI Mabelle, Mmes KAPCHIE Virginie, TCHATCHOUANG Ngasop Lili, TCHANKOU Leudeu Carine, MM. Nde Divine BUP, KEPOMI Roméo, SIME Mathurin, PAFING Christian, BOUBA Daniel, MBIAKE Robert.

SOMMAIRE

Préface	
Avant-propos	
I. Principes Fondamentaux du Séchage	1
<i>Arun S. Mujumdar and Sakamon Devahastin</i>	
Introduction	1
Principe de base et terminologie	2
Conclusions	
Références	16
II. Classification et sélection des séchoirs industriels	19
<i>Arun S. Mujumdar</i>	
Introduction	19
Classification des séchoirs	20
Sélection des séchoirs	23
Sélection des séchoirs basés sur la qualité	26
Conclusions	29
Références	30
III. Séchoirs pour particules solides, Pâtes et Papiers	31
<i>Arun S. Mujumdar</i>	
Introduction	31
Séchoirs pour les substances et des solides granulaires	31
Séchoirs pour les boues et les suspensions	36
Séchoirs pour des matériaux sous forme de feuille	43
Conclusions	53
Références	53
IV Séchoirs pour production des particules solides	54
<i>Arun S. Mujumdar</i>	
Introduction	55
Séchoirs pour différents types d'alimentation	60
Nouvelles technologies de séchage	63
Conclusions	63
Références	
V Technologie de séchage à lit fluidisé	64
<i>Arun S. Mujumdar et Sakamon Devahastin</i>	
Introduction	64

Classification et critères de sélection	65
Conclusions	84
Références	85
VI Technologies innovatrices de séchage industriel et perspectives	88
<i>Arun S. Mujumdar</i>	
Introduction	88
Conclusions	97
Références	98
VII Technologies de séchage à la vapeur surchauffée et perspectives	100
<i>Arun S. Mujumdar</i>	
Introduction	100
Conclusions	118
Références	119
VIII Recherche globale et développement sur le séchage	121
<i>Arun S. Mujumdar</i>	
Introduction	121
Conclusions	128
Références	128
IX. Quelques réflexions sur les R et D, Créativité et besoin pour l'interaction Industrie-Université	129
<i>Arun S. Mujumdar</i>	
Introduction	129
Modèles de recherche: Interaction Université-Industrie	129
Signification de la recherche et de développement	132
Créativité et Innovation	137
X Séchage des produits biotechnologiques: État actuel et nouveaux développements	138
<i>Arun Mujumdar</i>	
Introduction	139
Conclusions	149
Références	149
XI Valorisation du savoir faire local dans la mise en œuvre d'un sechoir	152
<i>Kuitche A. , Kapseu C., Et Foko E.</i>	

Introduction	152
Conclusions	154
Références	155
XII Séchoir à dior dans le contexte régional	158
<i>A. Kuitche¹, C. Kapseu¹, L. Deuboue¹, A. Fomethé²</i>	
Introduction	158
Conclusions	163
Références	163
ANNEXE UN : propriétés de transport et thermodynamiques de la vapeur d'eau sur chauffée	165
ANNEXE DEUX : Publications de Dr. Arun Mujumdar	169
ANNEXE TROIS : Publications de César KAPSEU	181

PREFACE

Le séchage thermique est l'une des opérations unitaires importantes et les plus omniprésentes dans les secteurs industriels majeurs. Incontestablement, il est difficile de trouver un produit utilisé quotidiennement qui n'a pas subi le séchage à un stade de sa fabrication. Même l'acier inoxydable si familier dans notre utilisation quotidienne, contient du nickel fait à partir du minerai nickel concentré ayant subi avant transformation une opération de séchage. Le séchage qui est une opération unitaire à énergie-intense a un impact environnemental négatif dû au fait que la grande partie de l'énergie est obtenue à partir des combustibles fossiles. 12 à 25 pour cent de la consommation énergétique industrielle est attribué à la déshydratation dans les nations industrielles. Comme les économies globales prospèrent, la demande en énergie pour le séchage va augmenter. Ainsi, il faut bien comprendre cette opération et s'assurer qu'elle est conduite avec efficacité en tenant compte des contraintes du marché. Il est aussi important de se tenir au courant des technologies de séchage courantes aussi bien que celles émergentes.

Quoique le séchage soit une ancienne opération, la recherche-développement (R&D) dans ce domaine a commencé pleinement, il y a quelques décennies. Les premiers travaux menés afin d'expliquer mécaniquement le séchage des solides sont ceux des ingénieurs du génie chimique. Certains travaux pionniers dans ce domaine ont été publiés par le feu Professeur T. K. Sherwood de MIT dans les années 1920. Par ailleurs, le professeur Sherwood a obtenu son premier diplôme en génie chimique à l'Université de McGill, où le Dr. W. H. Gauvin et le Professeur A. S. Mujumdar ont fait des contributions significatives non seulement en science et technologie de séchage, mais également en promotion à une très grande échelle. Certains enseignants de l'Université de McGill ont poursuivi également les recherches en séchage « principalement en produits agricoles et alimentaires et les papiers » et continuent encore de le faire, faisant de l'Université McGill l'un des centres mondiaux de référence en recherche active sur le séchage au cours de ces dernières années.

Ce livre contient les travaux sélectionnés du Professeur Mujumdar qui semblent être d'un intérêt général pour atteindre un large spectre d'ingénieurs et de technologues. L'information concernant le séchage se trouve inégalement répartie et difficile d'accès, et dans certains cas, impossible d'être obtenue malgré le coût élevé. L'objectif de la production de ce livre est de rassembler cette information et de la mettre à la disposition d'un large public d'ingénieurs et de scientifiques de l'industrie et de l'Université. Il est particulièrement important pour l'ingénieur de l'industrie qui est pris par le temps et qui ne peut pas brasser un gros volume de documents. J'espère que ce livre convient à l'auto-formation, pour obtenir une vue générale du séchage industriel – présente et future. Une référence de ce genre n'existe pas à ce jour.

Ce livre est utile pour les utilisateurs de séchoirs aussi bien que pour les fabricants de séchoirs. Les ingénieurs technico-commerciaux des compagnies de séchage doivent connaître suffisamment de détails au sujet de leurs concurrents et des séchoirs concurrents. Les clients veulent être satisfaits du choix qu'ils ont fait.

Les sujets choisis dans ce livre sont sélectionnés pour donner à la fois aux universitaires et aux industriels une vue rapide des principes fondamentaux et de la terminologie du séchage des solides, la classification et la sélection des séchoirs industriels, la description d'un large spectre de séchoirs couramment utilisés, la discussion en profondeur des différents aspects de la recherche-développement en séchage en incluant l'interaction Université-industrie, l'innovation en séchage, et le besoin d'une coopération globale pour promouvoir le progrès dans ce domaine. Ceci est important pour l'avenir des technologies de séchage.

Ce livre est conçu pour combler le vide entre le polycopié et le handbook sur le sujet. Il est un distillat concentré seulement des informations essentielles qu'un ingénieur et scientifique doit connaître. Les références sont proposées pour ceux qui ont besoin de détails et de discussions en profondeur sur les sujets. L'accent est mis sur le «besoin de savoir ». Ce livre pouvait s'intituler « Tout ce que vous voulez savoir sur le séchoir industriel, mais ne sachant pas à qui demander ». Ce livre est une compilation des pensées et des idées d'un guru de séchage dans un langage simple mais compréhensible et lisible aussi.

Un certain nombre de personnes m'ont assisté de différentes manières pendant la période de compilation de ce livre et c'est un plaisir pour moi de leur présenter mes sincères remerciements. Tout d'abord, je suis reconnaissant au Prof. Mujumdar pour m'avoir permis de travailler sur ses écrits et aussi sur son support et son guide sans lesquels ce projet n'aurait jamais vu le jour. Madame Purnima Mujumdar a préparé plusieurs projets de ce manuscrit et l'index des matières de ce livre. Mes remerciements vont également à Siripon Anantawarsaskul pour son aide dans la préparation des diverses figures. Ma famille, en particulier ma mère, Sumalee, m'a assisté de manière indéfinie et je la remercie pour cela et plus encore.

Enfin je remercie ma meilleure amie Pattita pour son support constant pendant la durée de ce travail.

Quoique le sujet du livre soit 'sec', je suis sûr que les lecteurs trouveront sa lecture facile, intéressante et utile. Les commentaires et les critiques des lecteurs et les utilisateurs de ce livre seront les bienvenus.

Montreal, Canada

Editeur

Sakamon Devahastin

AVANT PROPOS

Les livres sur les opérations unitaires et les différents manuels (handbooks) qui décrivent cette opération donne toujours la (fausse) impression que le séchage est bien compris. Quand j'ai effectué une revue de la littérature sur le séchage et les séchoirs, j'ai découvert très peu de données : il n'y en avait pas assez. Ainsi, j'ai été encouragé par le fait que le séchage est omniprésent et il est difficile de trouver un produit qui n'ait pas subi une opération de séchage tout au long de son processus de fabrication. Ceci est un procédé industriel souvent pratiqué comme un art. Clairement, il faut construire une fondation solide sur laquelle reposeront les futures technologies de séchage. J'ai réalisé que l'éducation et la formation sur le séchage étaient la clé pour promouvoir la compréhension du séchage et des séchoirs.

Le très populaire symposium international sur le séchage –IDS- a été fondé dans cet objectif. Le succès de cette série est le témoignage de la validité de mes suppositions et de mon optimisme initial. Beaucoup a été fait au cours de ces dernières décennies. Beaucoup reste à faire aussi. Le but de ce livre, compilé et édité par l'un de nos enthousiastes et énergiques étudiants en doctorat, Sakamon Devahastin, est simplement pour réduire le coût de quelques-uns de mes écrits sur le sujet largement disponibles. J'ai essayé de distiller beaucoup d'informations et de savoir-faire dans des centaines de publications. J'ai additionné à cela mon évaluation personnelle et des recommandations sur la classification et la sélection des séchoirs, les exigences de R et D en séchage et sur les séchoirs, créativité et innovation nécessaires pour une R&D effective. Evidemment tout ceci est soutenu par mon expérience et mon expertise industrielle. Tous les lecteurs ne seront pas d'accord sur tout ce que j'ai dit ici. Cependant, mes efforts et ceux de Sakamon pour la préparation de cette monographie seraient considérés dans le monde entier si le lecteur pouvait trouver le contenu utile pour la compréhension de la signification et du but du séchage au-delà de ce qu'il peut trouver dans un polycopié de séchage.

Ce livre est conçu comme un guide pratique du sujet et non le dernier mot. Il trouvera le complément détaillé des sujets exposés dans le Séchage industriel « 2^{ème} édition, Marcel Dekker, N. Y., USA) comme dans toutes les autres monographies sur le séchage. Il va servir comme un guide pour l'étudiant en séchage dans toutes les disciplines, notamment en première année de la pratique industrielle qui souhaite avoir une vue d'ensemble sur les différents sujets couverts, sans s'embêter avec les détails et l'analyse mathématique. Les chercheurs vont trouver qu'il leur faut un second souffle dans le domaine en leur faisant gagner du temps et des efforts.

J'espère que ce livre aidera à la fois des technico-commerciaux et les équipementiers. Il peut même être utile aux personnels de vente et de marketing chez les fabricants de séchoirs qui doivent connaître les produits concurrents. Les clients (ou acheteurs de séchoirs) sont devenus très connaisseurs sur le séchage au cours de ces dernières décennies. Ainsi, il est important de maintenir et d'anticiper les marchés par l'amélioration de la conception et en apportant plus d'innovations.

Il serait heureux d'avoir les remarques des lecteurs sur tous les aspects de cette monographie et de la technologie de séchage elle-même. J'espère que le lecteur ne trouvera pas le livre trop sec à lire !

Brossard, Canada

Arun S. Mujumdar
Exergex Corporation