

NOTES TECHNIQUES

TECHNICAL NOTES

TECHNISCHE NOTA'S

NOTAS TÉCNICAS

Parc des ventilateurs et des résistances dans les techniques de séchage adaptées à l'environnement tropical

C. Kapseu^{*1}, J.R. Puiggali^{**}, F. Broto^{**}, M. Roques^{**} & J.P. Nadeau^{***}

Keywords: Drying - Fan - Resistance - Dryer - Developing Country.

Résumé

Pour dimensionner un séchoir, il est nécessaire de connaître les éléments qui entrent dans sa construction. Les ventilateurs et les résistances font partie des éléments principaux du séchoir à ventilation forcée et chauffage de l'air. L'exploitation des catalogues de 33 et 14 fournisseurs français de ventilateurs et de résistances respectivement fait apparaître un parc de plus de 773 ventilateurs et de 226 résistances pour les techniques de séchage. Les principaux ventilateurs se classent ainsi par ordre décroissant: ventilateurs axiaux (58%), ventilateurs centrifuges (41%) et tangentiels (1%). Les caractéristiques de quelques séchoirs et des ventilateurs utilisés dans les unités pilotes de séchage adaptées aux pays en développement dans la littérature sont présentées. Le ventilateur centrifuge est le plus utilisé. L'optimisation des paramètres pertinents de la ventilation (régime du ventilateur, recirculation d'air) est menée en fonction de la durée de séchage.

Summary

Fans and Resistances Park in Drying Technologies Appropriate for Tropical Environment

To design a dryer, it is necessary to master its elements. Fan and resistance are parts of heated and convective dryer. Catalogues analysis of 33 and 14 french suppliers of fans and resistances respectively showed 773 fans and 226 resistances suitable for drying technologies. Fans are classified as follows in decreasing order: axial (58%), centrifugal (41%) and tangential (1%). Specifications of fans used in pilots dryers adapted for developing countries in the literature are presented. Centrifugal fan appeared to be the most used. Optimisation of fan parameters (rating fan, air circulation) are presented as a function of drying time.

Introduction

Les séchoirs sont définis par l'équipement (étuve, etc.), la puissance thermique, la durée de fonctionnement et le mode de chauffage (5,7). Le séchoir à convection forcée est composé entre autres de la chambre de séchage, du ventilateur et de la résistance. Le ventilateur aspire l'air extérieur pour l'envoyer directement sur une batterie de résistances chauffantes. L'air ainsi échauffé est envoyé à l'intérieur de la chambre de séchage. Le choix d'un ventilateur et d'une résistance est rendue difficile par la diversité des fabricants et le nombre de types qui sont mis sur le marché. La sélection des ventilateurs et des résistances pose des problèmes lorsque le coût, la maintenance, la durée de vie et la corrosion sont des facteurs limitatifs. C'est le cas de l'environnement tropical.

Nous nous proposons d'exploiter les catalogues des fournisseurs afin de connaître les caractéristiques des ventilateurs et des résistances dans les techniques de

séchage et de mettre en évidence l'interaction entre les paramètres pertinents du ventilateur. Une attention particulière sera portée sur l'utilisation des séchoirs à convection forcée dans les pays en développement.

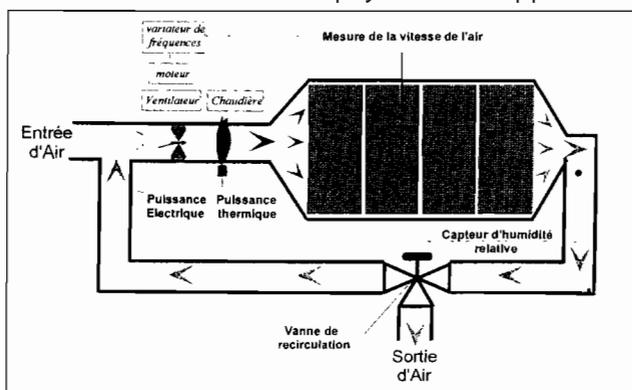


Figure 1: Séchoir à planchettes [4]

* Département de Génie des Procédés et d'Ingénierie, ENSAI, B.P. 455 Ngaoundéré, Cameroun

** Laboratoire de Génie des Procédés de Pau (EA 1932), ENSGTI, Rue Jules Ferry, 64 000 Pau, France.

*** Laboratoire d'Energétique et des Phénomènes de Transfert (UA 873), ENSAM, Esplanade des Arts et Métiers, 33405 Bordeaux-Talence Cedex, France

Adresse de correspondance :

Reçu le 05.02.98 et accepté pour publication le 13.11.98.

Tableau 1
Exemples d'utilisation à grande échelle de séchoir à ventilation forcée en zone tropicale

Caractéristique	Réf. (1)	Réf. (13)	Réf. (14)	Réf.(14)	Réf. (12)
Température de séchage (°C)	45	50-70	40	70	45-65
Durée de séchage (heures)	36	18	24	24	48
Surface de séchage (m ²)	4,05 (5 claies)		2	4	0,81(par claie (15 claies)
Capacité de séchage de produit humide (kg)	50	320	40-50	30-40	120
Produit séché	Igname	Manguue	poisson salé SE-005	foufou SE-010	Fruits et légumes
Dénomination du séchoir				66	
Humidité initiale du produit (%)				8	13-15
Humidité finale du produit (%)	8,8			1000	500
Puissance disponible (W)			500	12	
Consommation max par jour (kWh)				24	
Dépenses énergétiques par cycle deséchage (F CFA par cycle)			720		1440

Matériel et méthodes

L'appareil utilisé pour la conduite du ventilateur et de la recirculation d'air est un séchoir à planchettes de peuplier utilisées pour la fabrication de cagettes (transport de fruits et légumes) (4). Les principaux éléments qui le composent sont représentés sur la figure 1. On distingue les palox, le système de propulsion de l'air (ventilateur, moteur, variateur de fréquence, système de transmission), le système de chauffage (chaudière), un capteur d'humidité relative de l'air associé à la vanne trois voies de recirculation d'air de sortie (contrôle et régulation sur cette humidité relative) et un système de mesure de vitesse d'air au sein des palox.

Définition du besoin

En matière de séchage, poser son problème n'est pas facile, mais choisir une solution technique est devenu difficile pour l'acheteur. Lorsqu'on compare des propositions pourtant établies à partir du même cahier des charges, on trouve des différences de caractéristiques techniques qui vont du simple au double, par exemple l'un propose 3 ventilateurs quand un autre en propose 6 (7). Le choix d'un ventilateur ou d'une résistance est déterminé par la qualité, le prix et le service que rend le matériel à l'utilisateur. L'acheteur sera d'autant plus satisfait que le matériel est adapté à sa situation c'est-à-dire à son problème de séchage.

Les ventilateurs sont définis selon leur taille (représenté par le diamètre de la roue), leur puissance, l'intensité du courant qui les traverse, la tension, la vitesse de rotation, le niveau sonore, le débit, la pression et le parc. Le débit qui est la quantité d'air à véhiculer. La pression qui est la résistance créée par les gaines, les coudes, les grilles et les filtres... Cette résistance s'appelle la perte de charge.

Les résistances sont définies par leur puissance, la tension d'alimentation et sa nature, l'intensité du courant, la charge de surcharge des résistances blindées et le parc. Les résistances blindées fonctionnent indifféremment sur courant continu ou alternatif. L'intensité d'une résistance blindée devra rester dans certaines limites. La résistance par mètre de la longueur chauffante d'une résistance blindée doit également se maintenir dans une certaine limite. Une fois la puissance totale de la résistance calculée, il y a lieu de déterminer la surface de la résistance sur laquelle cette puissance devra être répartie, c'est-à-dire, il faut chercher la

charge ou la puissance spécifique. Elle peut être réduite en W/cm pour des diamètres de blindage connus, en multipliant le W/cm² par la circonférence du tube de blindage (exprimée en cm).

Intérêt et importance des séchoirs électriques en zone tropicale

Quand on parle de l'énergie en zone tropicale, on pense directement à l'énergie solaire. Or celle-ci est dispersée et nécessite des capteurs, donc des investissements. On n'oublie que l'énergie électrique s'est beaucoup développée ces dernières années dans les pays en développement (tableau 1). Certaines zones rurales sont bien fournies en électricité, c'est le cas par exemple de la région de l'ouest au Cameroun, le développement de l'énergie électrique a permis à plusieurs zones rurales de se désenclaver. Les séchoirs solaires tels qu'ils ont été conçus jusqu'à présent sont isolés de la maison principale. Or la transformation des produits alimentaires sont principalement effectués par les femmes. Il serait judicieux d'intégrer le séchoir dans l'environnement ménager de la femme. Dans ce cas, le séchoir deviendrait comme la casserole, un maillon de la chaîne des équipements ménagers. Ceci ne peut se faire qu'en utilisant l'énergie électrique qui présentent beaucoup d'avantages (tableau 2). De plus, l'utilisation de l'énergie solaire est très limitée en zone humide à cause de la pluie et cette énergie n'est valable que le jour (tableau 3). Les aliments en cours de séchage reprennent de l'humidité la nuit et se détériorent. L'utilisation de l'énergie électrique permet non seulement de gagner du temps mais aussi de garantir la qualité des produits séchés.

Ventilateur et résistance

L'exploitation des catalogues de 33 et 14 fournisseurs français de ventilateurs et de résistances respectivement fait apparaître un parc de plus 773 ventilateurs et de 226 résistances pour les techniques de séchage. Les principaux ventilateurs se classent ainsi par ordre décroissant: ventilateurs axiaux (58%), ventilateurs centrifuges (41%) et tangentiels (1%). Plus de la moitié des ventilateurs sont constitués de matière plastique. La répartition des résistances en fonction du matériau de réalisation se présente comme suit: inox (82%), acier (18%).

Tableau 2
Raisons du choix du séchoir électrique

Paramètre	Avantage	Application
Produit commercial	Gain de temps et contraintes des normes	Urbanisation poussée en Afrique, Exportation
Quantité du produit	Grande quantité de produit à sécher	Augmentation des surfaces cultivées Augmentation de la population
Coïncidence de la période de récolte avec la saison des pluies	Conduite du séchage en toute saison	Stockage et transport facile à moindre coût
Climat équatorial humide	Chauffage de l'air	Forte humidité de l'air
Présentation du séchoir	Esthétique	Utilisation aisée par les femmes en particulier
Durée de vie du séchoir	longue	Conservation du séchoir à l'abri des intempéries
Qualité du produit	Obtention de l'humidité la plus constante possible	Respect des normes
Recyclage de l'air	Economie d'énergie	
Durée de séchage	Gain de temps	
Surveillance	On peut faire autre chose durant le séchage	Protection contre les insectes et les rongeurs

Discussion

Les données rassemblées sur les caractéristiques des ventilateurs en usage dans quelques techniques de séchage (tableau 4) montrent que ces appareils sont de faible débit excepté celui en usage sur le séchoir solaire. La puissance de chauffe des résistances varie de 22,5 kW (2) à 60 W (6).

Les exemples du séchage du tableau 4 ont été choisis pour les raisons suivantes:

1. Une très petite échelle voisine de l'échelle artisanale;
2. Une puissance du ventilateur élevée avec des débits d'air raisonnables;
3. Traitement de petites quantités de produits;
4. La nature des produits. Nous avons choisi les séchoirs qui traitent principalement les produits tropicaux périssables tels que les fruits et légumes.

Les lignes de flux des ventilateurs axiaux sont rejetées sur les parois du conduit alors que celles des ventilateurs centrifuges redeviennent rapidement parallèles

Tableau 3
Les limites des énergies solaire et électrique

Energie	limites
solaire	<ul style="list-style-type: none"> - Difficulté de contrôler les paramètres de séchage, - Durée de séchage plus longue - Forte dépendance vis-à-vis des conditions climatiques (caprices du ciel) - Problèmes de stockage de l'énergie solaire pour la nuit - Faible qualité nutritionnelle et microbiologique du produit séché - Séchage non uniforme - Destruction de certaines vitamines
électrique	<ul style="list-style-type: none"> - Coûts d'investissement et de fonctionnement élevés - Besoin en formation de la main-d'œuvre pour la maintenance - Coût du transport du produit humide jusqu'au séchoir

à la conduite. Les ventilateurs centrifuges présentent plus d'avantages (moins de bruit, variation de puissance facile, températures élevées, changement de moteur facile, profil du flux d'air plus régulier et plus grande puissance pour un même débit) que les ventilateurs axiaux (coût moins élevé, rendement plus élevé, encombrement réduit) (Tableau 5). Il est conseillé de séparer le moteur de flux d'air (transmission par courroie) et au dessus de 3 kW de puissance du ventilateur, l'alimentation électrique doit être triphasée (9). Les ventilateurs tangentiels sont utilisés dans le cas de très faibles pertes de charges.

Il existe un fort couplage entre les chambres de séchage, le produit séché et les systèmes de conditionnement d'air (ventilateur, résistance). Le choix d'un ventilateur est tributaire des contraintes de séchage. Celles-ci varient durant les cycles et selon les besoins de production. Les critères peuvent imposer des systèmes de ventilation à vitesse variable. La figure 2 montre, pour un séchoir pour planchette de peuplier, l'évolution de la vitesse de rotation et la manœuvre de la vanne de recirculation trois voies au cours du séchage.

On constate les deux éléments suivants:

- le produit se rétracte, les pertes de charge s'en trouvent diminuées et la section de passage augmentée. Pour ce type de ventilateur centrifuge, l'effet des pertes de charge l'emporte et le régime du ventilateur baisse au cours du séchage.

- pour la courbe de recirculation de l'air, on retrouve les trois zones distinctes liées à la cinétique de séchage. La montée en température du produit, dans un premier temps, provoque une augmentation de la recirculation. Ensuite, durant la phase isenthalpe, cette recirculation diminue progressivement jusqu'à ce que le produit atteigne la teneur en eau critique, provoquant alors une diminution du flux masse et donc une augmentation de la température (4).

Tableau 4
Caractéristiques des ventilateurs dans quelques techniques de séchage sous 220 V

Séchoir	Type de ventilateur	Courant (A)	Puissance (W)	Débit d'air (m ³ /h)	Vitesse de rotation ou de l'air	Produits Séchés	Référence
Solaire	Centrifuge (radial)	0,33	70	1360	1400 (trs/min)	Fruits et légumes	(2)
Solaire	Centrifuge (radial)	2,4	520	4100	1365 (trs/min)	Plantes aromatiques	(2)
Convectif	Centrifuge	0,8	65	25 à 126*	1 à 5 m/s	Gels	(7)
Mixte	Centrifuge	0,8	170		2,5 m/s	Supports de catalyseurs	(7)
Convectif	Centrifuge (radial)		900	113*	1 m/s	Fruits et légumes	(1)
Convectif	Centrifuge		3000	225*		Fruits et légumes	(1)
Convectif	Centrifuge	4,5	2200	82 à 440	2830	Abricots	(10)
Convectif			160	250	1,5-2 m/s	Fruits et légumes	(12)
Convectif			900	8000	2 m/s	Fruits et légumes	(11)

*Valeur calculée à partir de la vitesse de l'air et de la section de la veine

N.B.: La puissance (P) nécessaire pour l'élévation de la température d'un débit d'air est égal au débit (D) multiplié par 0,34 multiplié par la différence de température (Delta T).

Soit $P = D \times 0,34 \times \Delta T$ avec P en Watts, D en m³/h et delta T en degrés représentant la différence entre la température désirée et la température minimale de départ.

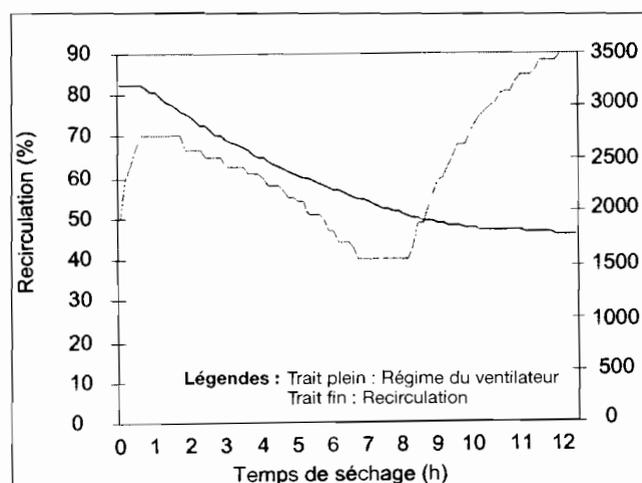


Figure 2: Conduite du ventilateur et de la recirculation d'air

Tableau 5
Avantages et inconvénients des ventilateurs

Ventilateurs	Avantages	Inconvénients
centrifuges	Portée importante d'où forte pression de sortie Canalisation aisée du flux d'air à la sortie Recirculation possible Accouplement facile (séparation de la partie électrique de la turbine) Moins de bruits Protection contre l'humidité aisée	Faible champ d'attaque
axiaux	Front d'attaque de l'air important Turbulence élevée Séchage dans un grand volume	Faible portée Mal indiquée pour le séchage tunnel

L'environnement agressif des séchoirs et la diversité des produits à sécher imposent le choix des résistances en inox. Mais le coût est limitatif pour les pays en développement. De même le choix doit être porté sur les ventilateurs en plastique à cause de leur résistance aux intempéries. Leur inconvénient réside dans le changement en cas de casse. L'approvisionnement en pièces de rechange des ventilateurs et des résistances coûtent cher aux utilisateurs des pays en développement. Ceci justifie la formation du personnel local à la maintenance préventive et curative de ces appareils. L'utilisation des pièces de rechange localement appropriées permettrait d'augmenter la durée de vie des ventilateurs et des résistances.

Conclusions

Le séchage traditionnel par exposition au soleil est très pratiqué en zone tropicale, mais cette technique présente des limites. Devant l'exigence de la qualité des produits séchés et de la quantité des produits à sécher en un temps relativement court, les professionnels ont recours à l'utilisation des séchoirs à convection forcée.

Les turbo-ventilateurs (centrifuges) ont une portée beaucoup plus grande que les ventilateurs axiaux. Ceux-ci présentent par contre un front d'attaque de l'air plus important. Ainsi pour des produits présentant une grande perte de charge (lit fixe en amas par exemple) les ventilateurs centrifuges seront plus indiqués. Par contre pour des produits légers avec une grande surface d'échange (feuilles par exemple) les ventilateurs axiaux sont adaptés.

Les ventilateurs centrifuges sont les plus utilisés dans les techniques de séchage à très petite échelle.

Remerciements

Ce travail a été soutenu par l'Agence Universitaire de la Francophonie (AUPELF-UREF) dans le cadre d'une prime de Recherche du Fonds francophone de la Recherche.

Références bibliographiques

1. Bouka R., Approche systémique de la production de la farine d'igname, Actes du séminaire séchage des produits alimentaires à haute teneur en eau en Afrique francophone, Avril 1997, Ouagadougou, Burkina Faso (Ed.: Gret, Paris) pp. 88-99.
2. Desmorieux H., 1992, "le séchage en zone subsaharienne une analyse pratique face aux réalités géographiques et humaines", Thèse de l'INPL, Nancy, 234 p.
3. Häuser M. & Ankila O., 1995, Manuel du séchage solaire au Maroc, GATE/GTZ, Allemagne, pp. 11-13.
4. Hugget A., Nadeau J.-P. & Sebastian P., 1997, Evolution des méthodes de modélisation des séchoirs et d'optimisation de leur conduite, 15èmes journées de l'AFSIA, Lyon, 3 et 4 avril, pp. 1-19.
5. Kapseu C., 1997, Mise au point d'un séchoir pour produits oléagineux, Rapport d'activités, AUPELF-UREF/ENSGTI, Pau, France, 83 pp.
6. Lefèvre A., 1983, Modélisation du capteur plan à air chaud et application au séchage de produits agricoles, in : Séchage solaire et développement rural, Actes des journées internationales de Bordeaux, pp. 53-66.
7. More-Chevalier F., 1996, Séchage du bois: Le séchoir ou la difficulté de devenir une machine de production, Revue du Bois, 3: 21-25.
8. Moynes C., Kechaou N., Do Amaral Sobral P.J., 1992, Roques M.A., Cairault A. & Bizot H., Séchage et mécanismes de transport de l'eau dans les gels. Entropie, 167, 9,17.
9. Rozis J.-F., 1995, Sécher des produits alimentaires, Techniques, procédés, équipements, Collection le point sur, GRET/Ministère de la Coopération/CTA, Paris, pp. 133-134.
10. Schlienger M., 1991, Parc des réacteurs et des équipements de séchage en chimie fine, Informations chimie 333, 172-173.
11. Senhaji F.A., Bimbenet J.J., Hakam B., 1991, Quelques données sur le séchage de l'abricot: cinétique de séchage et qualité du produit séché, Sciences des Aliments, 11, 499-512.
12. Sy O., Séchoir mixte avec chauffage supplémentaire à gaz pour fruits et légumes tropicaux, Actes du séminaire séchage des produits alimentaires à haute teneur en eau en Afrique francophone, Avril 1997, Ouagadougou, Burkina Faso (Ed.: Gret, Paris) pp. 117-121.
13. Traoré A., Fiche technico-économique de séchoir en situation de production, Actes du séminaire séchage des produits alimentaires à haute teneur en eau en Afrique francophone, Avril 1997, Ouagadougou, Burkina Faso (Ed.: Gret, Paris) pp. 122-127.
14. Tsengue-Tsengue, Sécheur de produits thermosensibles (produits alimentaires, tradi-thérapeutiques et pharmaceutiques), Actes du séminaire séchage des produits alimentaires à haute teneur en eau en Afrique francophone, Avril 1997, Ouagadougou, Burkina Faso (Ed.: Gret, Paris) pp. 100-105.

C. Kapseu: Camerounais. Docteur d'Etat, Responsable du Département de Génie des Procédés et d'Ingénierie - ENSAI, B.P. 455 Ngaoundéré, Cameroun.

J.R. Puiggali: Français. Professeur, Responsable de la formation doctorale à l'ENSGTI - Rue Jules Ferry, 64 000 Pau, France.

F. Broto: Français. Professeur, Directeur des Etudes à l'ENSGTI - Rue Jules Ferry, 64 000 Pau, France.

M. Roques: Français. Professeur, Directeur à l'ENSGTI - Rue Jules Ferry, 64 000 Pau, France.

J.P. Nadeau: Français. Professeur Agrégé, Enseignant à l'ENSAM - Esplanade des Arts et Métiers, 33405 Bordeaux-Talence Cedex, France