



ETUDE THEORIQUE D'UN SECHOIR-SERRE A MOINDRE COUT POUR LES PRODUITS AGRICOLES

Ahamadi Malik El'Houyoun

► To cite this version:

Ahamadi Malik El'Houyoun. ETUDE THEORIQUE D'UN SECHOIR-SERRE A MOINDRE COUT POUR LES PRODUITS AGRICOLES. premier congrès international Pasma Energie Antananarivo 16 au 20 juillet 2012, Jul 2012, Antananarivo, Madagascar. ⟨hal-03953047⟩

HAL Id: hal-03953047

<https://hal.science/hal-03953047v1>

Submitted on 23 Jan 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

ETUDE THEORIQUE D'UN SECHOIR-SERRE A MOINDRE COUT POUR LES PRODUITS AGRICOLES

**RAKOTONDAMIARANA Hery Tiana*, RAKOTOARISOA Lova Landry, AHAMADI Malik
El'Houyoun, ANDRIAMAMONJY Ando Ludovic, RAJAONAHY Michard Rockson**

Institut pour la Maîtrise de l'Energie, Université d'Antananarivo

* e-mail : rktmiarana@yahoo.fr

RESUME

Les petits paysannats malgaches préfèrent encore sécher leurs produits à l'air libre qu'utiliser les séchoirs sur lesquels nombreux travaux de recherche ont pourtant été menés à Madagascar depuis les années 80. Dans le dessein de proposer aux paysans un système de séchage simple d'utilisation et utilisant également l'énergie solaire à l'instar du séchage à l'air libre, nous avons effectué l'étude théorique d'un séchoir serre de section droite triangulaire isocèle de très faible coût. Après avoir modélisé le système à l'aide de la méthode des analogies électriques, un code de calcul associé a été mis au point sous Matlab. L'ananas et la pomme ont été choisis comme produits à sécher pour les simulations. Il découle des résultats des simulations que la conduite du séchage est tributaire des facteurs météorologiques notamment l'ensoleillement. Néanmoins, le procédé présente, par rapport au séchage à l'air libre, nombreux avantages dont l'hygiène et la possibilité d'achever en moins de 8 heures, donc moins d'une journée, le séchage en couche mince des produits susmentionnés. En outre, le code de calcul cité précédemment permet aussi de faire l'étude de dimensionnement et d'optimisation du séchoir-serre ainsi que l'analyse de sensibilité paramétrique du modèle proposé.

Mots clés : énergie solaire, séchage, séchoir serre polyvalent, film PVC, produit agricole.

INTRODUCTION

Depuis des siècles, l'homme a cherché tous les moyens pour conserver les denrées agroalimentaires afin d'assurer sa survie en période de disette (moindre productivité, sécheresse, ...). Une de ces méthodes de conservation est le séchage. Sécher un produit se résume à extraire de l'eau par vaporisation quelque soit la nature du produit à sécher. A Madagascar, la pratique du séchage traditionnel est très répandue. Il s'agit d'un procédé qui consiste à sécher les produits directement au soleil et à l'air libre. Plusieurs désavantages subsistent alors, on peut citer par exemple la pollution du produit par la poussière et les insectes qui sont porteurs de nombreuses maladies. Selon les conditions météorologiques, le produit peut prendre facilement de l'humidité ce qui rend le séchage très long et provoque souvent un changement de couleur et la formation des champignons. Tous ces problèmes peuvent être évités en utilisant un système de séchage direct ou indirect bien adapté au séchage solaire.

Rien qu'entre la période 1982-1997, des vingtaines de travaux, synthétisés dans [1] et [2], ont été menés dans le domaine du séchage solaire à Madagascar. Plusieurs types de produits ont ainsi été traités : allant des produits de rentes comme la vanille, passant par les produits de grande taille comme le bois jusqu'aux produits agricoles

comme les céréales, paddy, fruits et légumes. Pourtant, les paysans malgaches sont encore réticents pour adopter les techniques et les technologies proposées à l'issue des travaux sus cités. Un des facteurs bloquant est les coûts élevés d'investissement initial et de fonctionnement des systèmes de séchage proposés.

L'objectif de ce travail est de faire une étude théorique d'un système de séchage qui, fonctionnant en convention naturelle, est simple à réaliser et dont le coût est facilement accessible aux paysans des pays en développement. Le système proposé est une serre solaire de section droite triangulaire isocèle dont les matériaux utilisés sont des tiges en bois, des cordes de sisal et un film PVC. Ce séchoir-serre peut être monté, soulevé, transporté et démonté facilement et repose sur une dalle en terre battue sur laquelle a été préalablement appliquée et laissée sécher une fine couche de fumier de zébu.

La présente étude consiste à modéliser le système proposé à l'aide de la méthode des analogies électriques en tenant compte des différents échanges thermiques et massique au niveau du séchoir solaire. Un code de calcul permettant de simuler les comportements du système vis-à-vis des sollicitations météorologiques et des produits à sécher, l'ananas et la pomme dans notre étude, est ensuite mis au point sous environnement Matlab [3] en vue d'effectuer des simulations numériques dont un certain nombre de résultats seront présentés et discutés dans le présent article.

I. DESCRIPTION DU SECHOIR SERRE PROPOSE

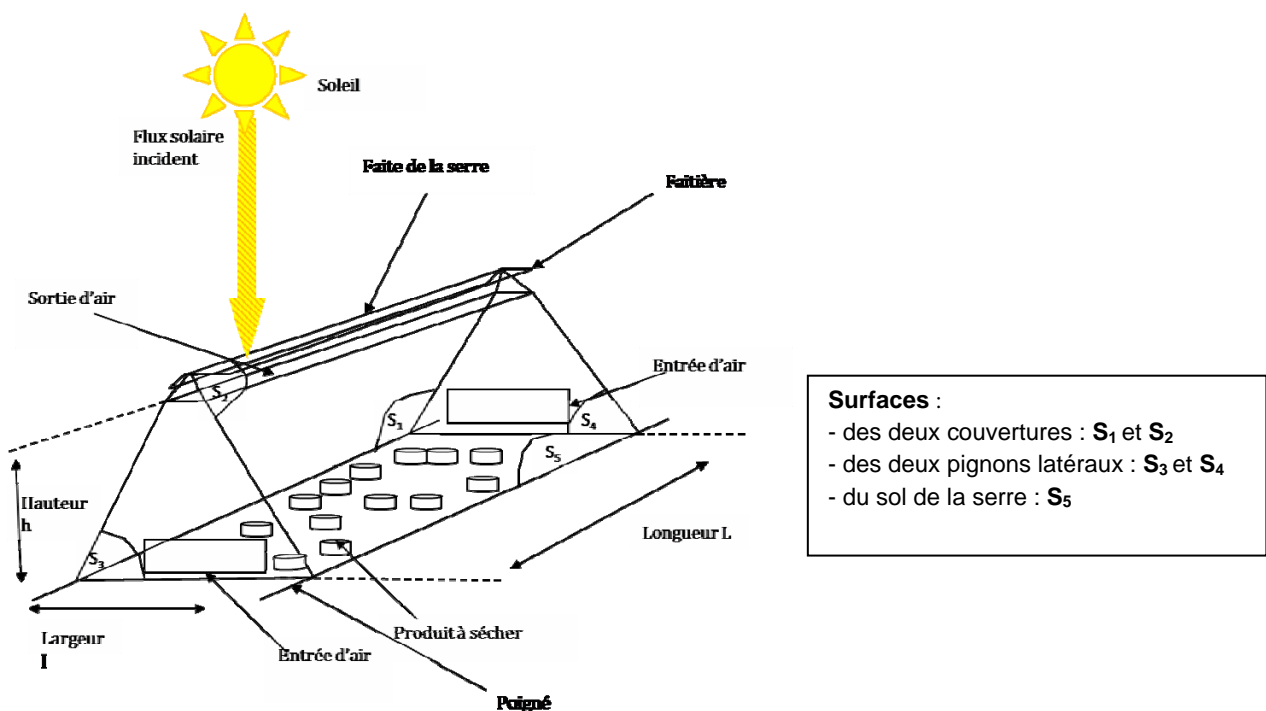


Fig.I.1 : Schéma descriptif du séchoir serre

Schématisée sur la figure (I.1), la serre est caractérisée par ses grandeurs géométriques telles que sa longueur L , sa largeur l et sa hauteur h . Elle est constituée d'une légère charpente faite en bois (pouvant tout simplement être des tiges de manioc ou des petites branches d'arbre de mimosa ou d'eucalyptus liés avec des cordes de sisal), de section droite triangulaire isocèle, couverte par une

couverture transparente en film PVC assurant l'effet de serre au sein du système. Les contraintes dictant le choix des matériaux de fabrication de ce séchoir-serre ont été leur disponibilité localement à des coûts relativement accessibles aux paysans constituant le premier public cible du système étudié.

II. MODELISATION MATHÉMATIQUE DU SYSTÈME ETUDIÉ

II.1. Hypothèses simplificatrice

L'épaisseur de la couverture étant très faible, les transferts de chaleur par conduction entre les faces extérieures et intérieures respectives de la couverture et des pignons sont négligeables. Par ailleurs, le séchage s'effectuant en couche mince, la température est supposée uniforme à l'intérieur du produit à sécher. Les échanges de chaleur avec la charpente en bois de la serre sont également supposés négligeables [4].

II.2. Equations des bilans énergétiques

La figure (II.1) illustre les différents modes de transferts thermiques mis en jeu au niveau de la serre tandis que la figure (II.2) présente le schéma électrique équivalent obtenu par la méthode des analogies électriques.

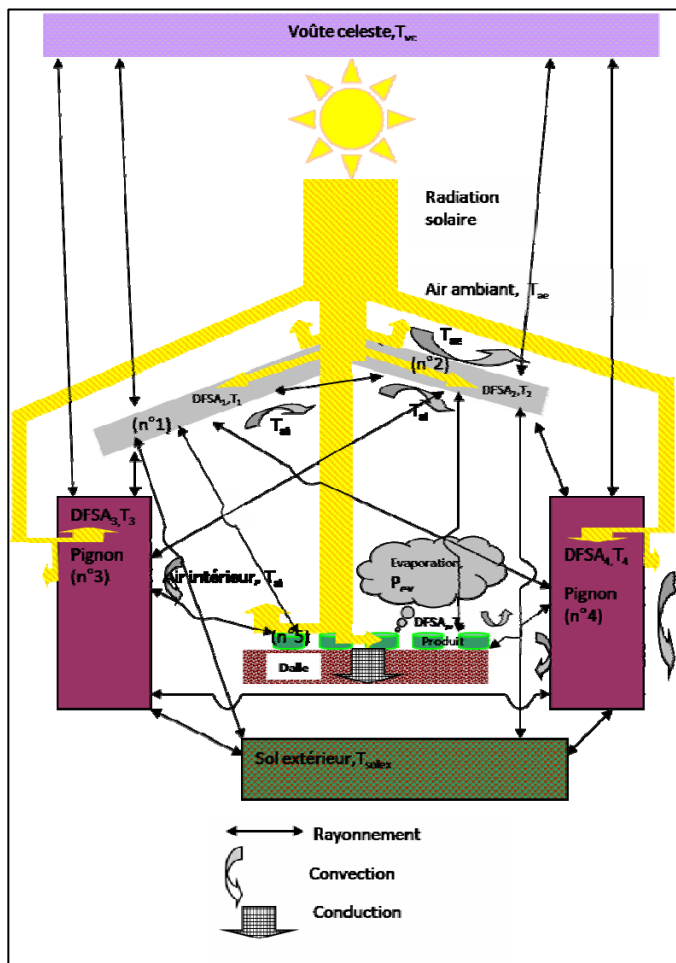


Fig.II.1 : Schéma descriptif des échanges thermiques ayant lieu au niveau de la serre

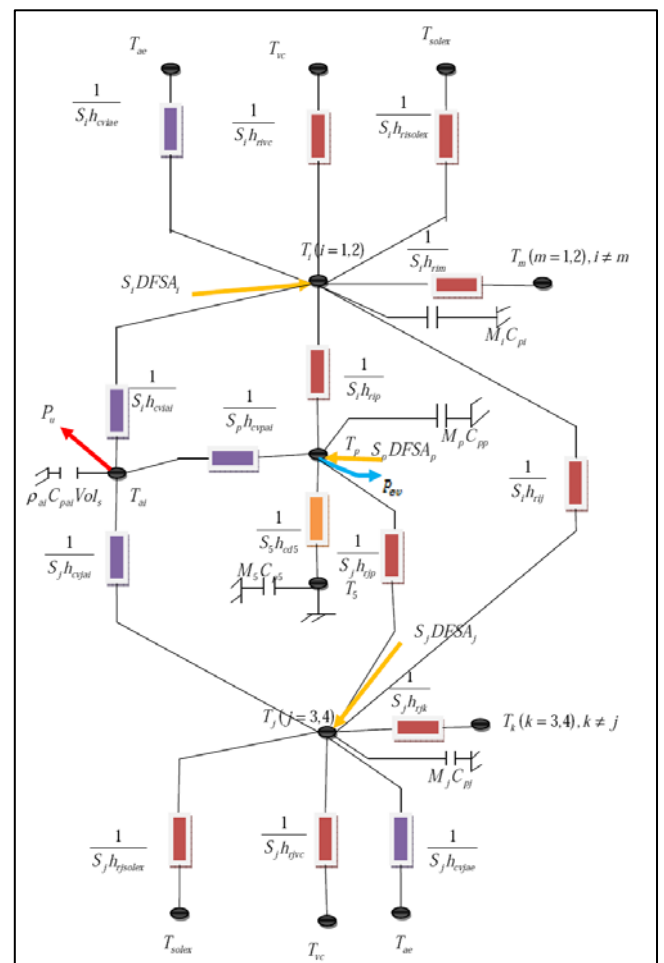


Fig.II.2 : Schéma électrique équivalent aux transferts thermiques ayant lieu au niveau du système étudié

Un système de sept équations différentielles non linéaires à sept inconnues ($T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_{ai}, T_p$) est obtenu en appliquant la loi d'Ohm sur chaque nœud du circuit électrique équivalent représenté sur la figure (II.2). Chaque équation ainsi obtenue se présente sous la forme générale suivante :

$$M_i C p_i \frac{\partial T_i}{\partial t} = \sum_j \frac{1}{R_{ij}} (T_j - T_i) + \sigma_i \quad (1)$$

dans laquelle, pour tout élément i du système, M_i [kg] représente sa masse, $C p_i$ [J.Kg⁻¹.K⁻¹] sa capacité calorifique à pression constante, T_i [K] sa température, T_j [K] la température d'un autre élément j du système en échange thermique avec cet élément i , R_{ij} [K. m². W⁻¹] la résistance thermique entre les éléments i et j du système, σ_i [W.m⁻²] un terme source au niveau de l'élément i du système et t [s] la variable temps.

A ces nomenclatures s'ajoutent les suivantes pour la figure (II.2) :

- les indices *1, 2, 3, 4, 5, ai, p, ae, solex, vc*, désignent respectivement les couvertures (1 et 2), les pignons (3 et 4), le sol de la serre, l'air intérieur de la serre, le produit à sécher, l'air extérieur de la serre, le sol extérieur et la voûte céleste.
- h_{cvij} [W.m⁻².K⁻¹] désigne le coefficient d'échange thermique par convection entre un élément solide de température T_i [K] et un élément fluide de température T_j [K] du système.
- h_{cdi} [W.m⁻².K⁻¹] représente le coefficient d'échange thermique par conduction à travers un élément solide i du système.
- h_{rij} [W.m⁻².K⁻¹] désigne le coefficient d'échange thermique par rayonnement entre deux surfaces en regard S_i et S_j .
- $DSFA_j$ [W.m⁻²] représente la densité de flux solaire absorbée par l'élément j du séchoir serre
- Pa [W.m⁻²] est la puissance véhiculée par l'air asséchant intérieur vers la sortie de la serre et P_{ev} [W.m⁻²] désigne la puissance évaporée au niveau du produit à sécher.
- ρ_i [kg.m⁻³] et S_i [m²] désignent la masse volumique et la surface de l'élément i du système tandis que Vol_s représente le volume de la serre.

Pour ne pas alourdir le présent article, nous invitons les lecteurs intéressés à consulter les références [4] et [5] pour les calculs des apports solaires au sein du système (permettant ainsi la détermination des $DSFA_j$), pour les modèles relatifs à la détermination des divers coefficients d'échange thermique et du débit volumique de

l'air à l'intérieur de la serre ainsi que pour les modèles de cinétique de séchages des deux produits à sécher choisis dans cette étude, à savoir : la pomme et l'ananas.

III. SIMULATIONS ET INTERPRETATIONS DES RESULTATS

III.1. Gain de température de l'air intérieur par rapport à l'air extérieur

La figure (III.1) montre que la puissance de l'énergie solaire joue un rôle fondamental sur l'augmentation de la température de l'air intérieur de la serre. La gamme de variation de la température de l'air intérieur est comprise en 20°C et 75°C, ce qui met en évidence que cette serre peut bien servir de séchoir de produits agricoles.

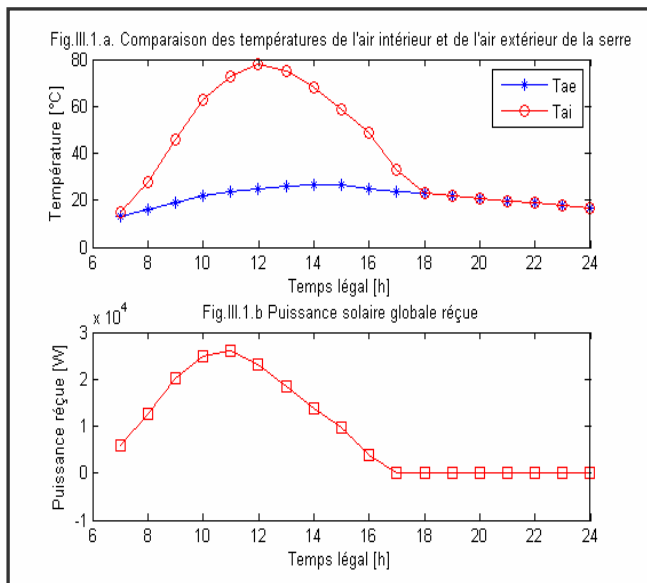


Figure.III.1 : Gain de température de l'air intérieur par rapport à l'air extérieur et évolution de la puissance solaire globale reçue

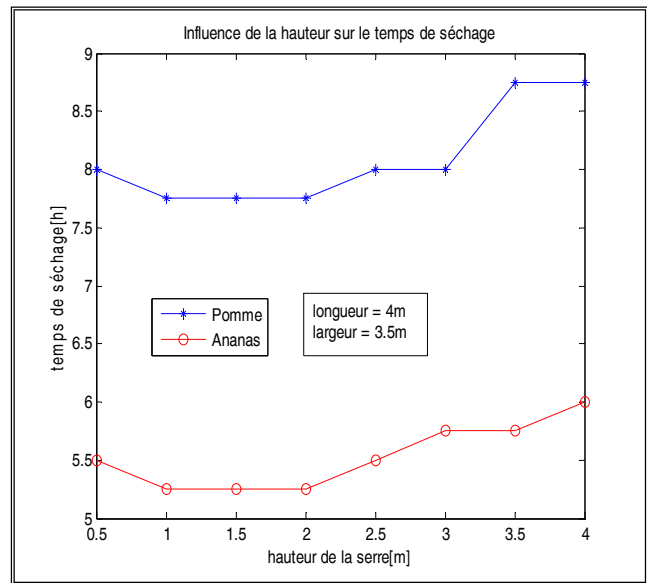


Fig. III.2 : Effet de la hauteur du séchoir sur le temps de séchage

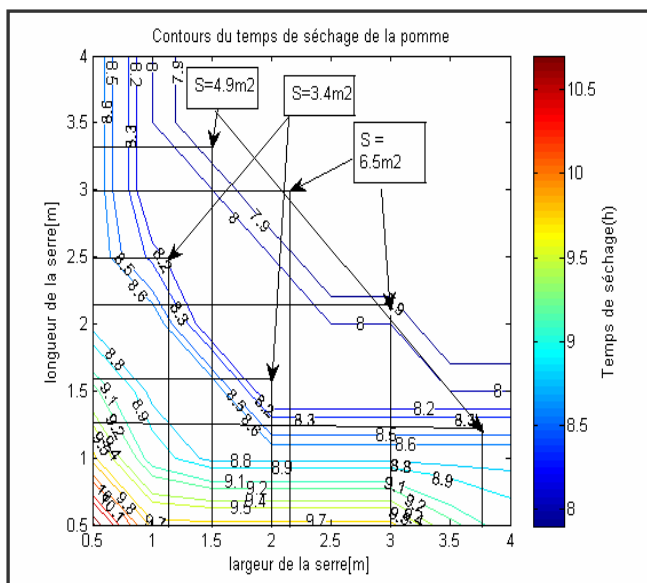


Fig.III.3 : Contours du temps de séchage de la pomme en fonction de la longueur et de la largeur de la serre

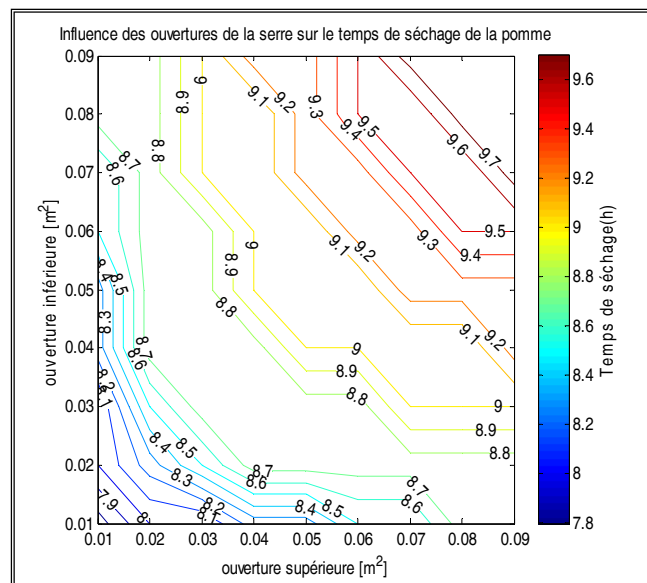


Fig.III.4 : Contours du temps de séchage de la pomme en fonction des ouvertures inférieure et supérieure de la serre pour une surface des pignons de 1.5m²

III.2. Influence de la hauteur de la serre sur le temps de séchage

La figure (III.2) illustre l'influence de la hauteur de la serre sur le temps de séchage des produits. Il y est notoire l'existence d'une certaine valeur optimale de la hauteur du séchoir serre à déterminer. En effet, on y retrouve le phénomène de mouvement ascendant des fluides chauds par convection naturelle. D'une part, le débit d'air étant une fonction croissance de la dénivellation entre les ouvertures inférieure et supérieure, une hauteur très petite n'est pas favorable à une bonne circulation de l'air intérieur dont une bonne partie saturée en humidité devrait être évacuée hors de la serre, d'où la diminution du temps de séchage, jusqu'à une certaine valeur critique de la hauteur. D'autre part, lorsque la hauteur est très grande, le temps de séchage augmente du fait que l'accroissement de la hauteur favorise la circulation de l'air dans la serre, c'est-à-dire, la hausse de la vitesse de l'air asséchant entraînant un court séjour de l'air dans la serre, résultant une faible hausse de sa température et donc un pouvoir asséchant réduit.

III.3. Influence de la longueur et de la largeur de la serre sur le temps de séchage

En faisant varier simultanément la longueur et la largeur de la serre, il est possible de voir pour une même surface de base de la serre, c'est-à-dire, pour la même quantité de produit étalé sur une même aire du sol de la serre, lequel de ces deux paramètres influe le plus sur le temps de séchage. La figure (III.3) représentant les contours du temps de séchage en fonction de la longueur et de la largeur de la serre, montre qu'en fixant l'un de ces deux paramètres, le temps de séchage diminue lorsque l'autre paramètre augmente. Cependant, pour une même surface de produit à sécher, le temps de séchage est moindre lorsque la longueur de la serre est plus élevée que sa largeur. Ainsi, il est avantageux d'augmenter le volume de la serre en allongeant sa longueur plutôt que sa largeur.

III.4. Influence des ouvertures d'aération de la serre sur le temps de séchage

Bien qu'il importe d'assurer le renouvellement de l'air intérieur de la serre, la figure (III.4) représentant les contours du temps de séchage en fonction des ouvertures inférieure et supérieure de la serre montre qu'ouvrir grandement ces ouvertures d'aération ne fera qu'augmenter le temps de séchage. La symétrie des contours par rapport à la bissectrice indique que l'idéale serait d'avoir des aires identiques pour ces ouvertures inférieure et supérieure. Ainsi, il y a lieu de déterminer la valeur optimale de ces ouvertures d'aération en tenant compte d'autres contraintes technico-économiques du fonctionnement de ce séchoir-serre.

CONCLUSION

Cette étude théorique nous a permis de proposer un séchoir serre solaire de section droite triangulaire isocèle présentant nombreux avantages susceptibles d'intéresser les paysans des pays en développement. En effet, ce système de séchage à convection naturelle est non seulement très facile à monter, à soulever, à transporter et/ou à démonter mais son coût est aussi accessible aux petits paysannats du fait de la disponibilité abondante localement de ses matériaux de fabrication.

Ainsi, la modélisation de ce séchoir à l'aide de la méthode des analogies électriques a permis la mise au point d'un code de calcul sous environnement Matlab et de faire

un certain nombre de simulations dont les résultats ont permis de dégager que le séchage par convection naturelle au sein de cette serre est très tributaire de l'ensoleillement ; il est avantageux d'allonger la serre que de l'élargir, pour une même valeur de l'aire de son sol ; ouvrir grandement les ouvertures d'aération ne fera qu'augmenter le temps de séchage alors qu'il importe de renouveler l'air intérieur de la serre ; une grande et une petite valeurs de la hauteur du séchoir serre résultent un long temps de séchage. Ainsi, il y a lieu d'effectuer à l'avenir un calcul d'optimisation pour dimensionner et déterminer les valeurs optimales des caractères géométriques du séchoir proposé.

En outre, différentes perspectives peuvent être envisagées dans le prolongement de ce travail. A titre d'exemple, citons l'analyse des sensibilités paramétriques du modèle proposé ainsi que les mesures expérimentales sur un prototype. Il serait également intéressant d'intégrer, dans le code de calcul des modèles de cinétique de séchage d'autres produits agricoles, notamment le paddy, le maïs, le manioc et le poisson, aliments de bases dans nombreux pays en développement.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] RAKOTONDAMIARANA H.T., ANDRIANANTENAINA B.J.,
RAKOTOMALALA M.S.,
«Le séchage solaire à Madagascar ». Acte du Colloque « Semaine de l'Institut pour la Maîtrise de l'Energie », du 8 au 13 décembre 1997, Institut Pasteur de Madagascar, Antananarivo, (1997).
- [2] RAKOTONDAMIARANA H.T.,
«Evaluation des systèmes énergétiques de séchage solaire réalisés à l'Institut pour la Maîtrise de l'Energie de 1982 à 1997». Mémoire de DEA. Faculté des Sciences. Université d'Antananarivo, (1997).
- [3] Matlab R2010a,
"High-performance numerical computation and visualization software",
The Mathworks, Inc, (2010)
- [4] AHAMADI M. E.,
« Étude théorique d'une serre a section droite triangulaire isocèle de faible coût pour le séchage des produits agricoles », Mémoire de DEA. Université d'Antananarivo, (2009).
- [5] RAKOTONDAMIARANA H.T.,
« Etude théorique du séchage thermique et de la digestion anaérobie des boues des stations d'épuration - Mise au point des dispositifs pilotes de laboratoires pour la caractérisation expérimentale liée au séchage et à la méthanisation des boues ». Thèse de Doctorat, Université d'Antananarivo. (2004)