

## **ÉTUDE DE L'ADAPTABILITÉ DES DISPOSITIFS DE SÉCHAGE À LEUR CONTEXTE ET AU BESOIN DES UTILISATEURS AU TOGO**

**Kokou AGBOSSOU, Tchamye Tcha-Esso BOROZE\*,  
Sanoussi OURO-DJOBBO, Gnadé DJETELI et Kossi NAPO**

*Laboratoire sur l'Energie Solaire, Département de physique, Faculté des Sciences, Université de Lomé, BP 1515 Lomé, Togo*

---

\* Correspondance, e-mail : [tchamye@gmail.com](mailto:tchamye@gmail.com)

### **RÉSUMÉ**

Le séchage est une activité permettant une bonne conservation des produits de récolte. Pour ce faire, il convient de bien choisir les dispositifs appropriés en fonction des besoins réels des utilisateurs et du contexte d'utilisation. Notre contribution dans le présent travail est l'étude de l'adaptabilité des différents systèmes de séchage utilisés : des séchoirs traditionnels aux séchoirs importés dans le sud du Togo à Gapé-Kodji. Nous avons effectué une enquête et des tests pour caractériser le contexte de séchage, les utilisateurs, la sociotechnique autour des séchoirs et évaluer en conditions réelles les performances des séchoirs. Des tests de séchage ont été entrepris dans la zone de Gapé Kpodji sur les deux dispositifs les plus utilisés : le dispositif de séchage à l'air libre ou traditionnel et le séchoir tunnel Hohenheim. Il ressort que la localité de Gapé-Kodji rurale est essentiellement agricole et jouit d'un bon gisement solaire mais ne bénéficiant pas de réseau électrique ni d'approvisionnement régulier en gaz butane ou autre forme d'énergie outre la biomasse. Le commerce de matériaux et équipements entrant dans la réalisation de séchoir est presque inexistant et le niveau technique de la population est faible.

La grande majorité de la population utilise les techniques traditionnelles de séchage. Le don de séchoirs Hohenheim permet au groupement de sécher leurs productions céréalières avant la vente. Les essais montrent que l'utilisation du séchoir solaire Hohenheim, mène à la réduction considérable de temps de séchage par rapport au séchage traditionnel. De plus les produits sont protégés contre la pluie, les insectes et la poussière. Il permet d'obtenir des produits secs de bonne qualité par rapport à ceux séchés directement au soleil. Toutefois sa capacité est très faible en considérant l'importance de la production céréalière dans la localité. Aussi le coût de sa maintenance et de son renouvellement est au dessus des moyens des utilisateurs. Le séchoir Hoheinheim introduit certes des améliorations par rapport au séchage à l'air libre mais ne répond cependant pas pleinement au cahier des charges des utilisateurs.

*Mots-clés : contexte de séchage, séchoir solaire, besoin des utilisateurs.*

**ABSTRACT****Adaptability study of drying devices to their context and to the needs of users in Togo**

Drying is an activity permitting a good conservation of harvest products. For that it is important choose the drier according to the really needs of the users and the context of use. Our purpose was to study the adaptability of different systems of drying used: from the traditional driers to the imported ones, in the south of Togo in Gapé-Kpodji. We have made a survey and tests on the land to characterize the context of drying, the users, socio-technical aspect around the driers and to value in real conditions the performances of the driers. Tests of drying have been undertaken in Gapé Kpodji on the two devices the more used: the traditional sun drying device and the Hohenheim tunnel drier. It comes out that Gapé-Kodji is a rural and agricultural locality with a good solar radiation. There is neither electric network nor regular provision in gas butane or other shape of energy besides the biomass. The trade of materials and equipment use for dryers' construction are inexistent and the technical level of the population is low.

The great majority of the population uses the traditional techniques of drying. Hohenheim drier allows the grouping to dry their cereal productions before the sale. The tests results show that the Hohenheim solar drier leads to considerable reduction of drying time compare to the traditional device. Besides, the products are protected against rain, the bugs and the dust. It permits to get dry products of good quality. However, its capacity is very low considering to the quantities of cereal produced. Also the cost of maintenance and of its renewal is over the financial capacity of the users. The Hoheinheim drier certainly introduces some improvements compare to traditional sun drying but doesn't answer fully to the specifications of the users.

*Keywords* : *context of drying, solar drier, need of the users.*

**I - INTRODUCTION**

En Afrique sub-saharienne les activités agricoles occupent près de 70% de la population [1]. La mécanisation et l'utilisation d'intrants agricoles permettent de plus en plus d'accroître les productions agricoles. Le problème rencontré par les producteurs et qui se pose avec plus d'acquitte est la stabilisation des produits pour leur conservation avant la commercialisation. Les pertes post-récolte sont considérables et estimées à plus de 40% dans les pays du sud [2;3]. D'où l'intérêt de développer des technologies de conservation de plus en plus performantes. Le séchage, un procédé très ancien, est l'une des

techniques les plus utilisées de par le monde pour la stabilisation des produits de récolte en vue d'une bonne conservation. En Afrique sub-saharienne et au Togo en particulier, plusieurs dispositifs d'origine locale ou importés sont utilisés à cet effet. L'amélioration de ces dispositifs devra répondre au besoin des utilisateurs, réduire les pertes post-récoltes et améliorer la qualité des produits séchés [4]. H. Desmorieux & O. Garro; Marouzé et Giroux ont montré à partir d'étude de terrain, que le transfert de technologie dans la grande majorité des cas ne constitue pas une solution aux problèmes technologiques des pays du sud [5;6]. Il faudrait prendre en compte le contexte local dès la conception des équipements importés ou dans le choix de technologies à opérer. Marouzé et Giroux d'une part, Mujundar d'autre part, ont montré que la détermination du besoin des utilisateurs et son intégration à la conception d'un équipement, accroît sa réussite [6;7].

Marouzé a révélé que dans les pays du sud, très peu d'équipements agricoles ou agroalimentaires sont conçus ou choisis après une étude préalable des besoins des utilisateurs. Les séchoirs n'en font pas exception [8]. Edoun relève au Cameroun que la plupart des utilisateurs de séchoir ne sont pas satisfaits de l'équipement qu'ils utilisent [9]. Augustus *et al.* et Sharma *et al.* ont montré que les caractéristiques thermiques seules sont insuffisantes pour caractériser un séchoir [10;11]. Les travaux de Boroze ont montré qu'il faut prendre en compte dans la conception ou le choix d'un séchoir, en plus de sa caractérisation thermique, le profil des utilisateurs, la spécification de leur besoin, le type de produit à sécher, les conditions climatiques et sociotechniques locales et le débouché [12]. C'est dans cette optique que nous avons orienté notre travail sur la caractérisation des dispositifs de séchage (locaux ou importés) et l'étude des aspects techniques, énergétiques, environnementaux et socio-économiques du séchage en zones tropicales.

Ce travail s'inscrit dans le cadre de la contribution à l'amélioration de systèmes de séchage existant utilisés au Togo, comme séchoir tunnel Hohenheim. Il est pris en compte les paramètres cités ci-dessus en vue d'en ressortir l'adaptabilité ou non des séchoirs utilisés aux besoins des utilisateurs.

## II - MATÉRIEL ET MÉTHODES

Les tests se sont déroulés dans les conditions météorologiques du Togo à Gapé - Kpodji (une localité située à 6°42' Latitude Nord ; 1°21' Longitude Ouest et à 88km de Lomé) et au Laboratoire sur l'Energie Solaire (LES) de l'Université de Lomé.

## **II-1. Matériel**

### **II-1-1. Dispositif expérimental**

Le dispositif utilisé est un séchoir solaire à tunnel du type Hohenheim. Un séchoir solaire mixte composé d'un capteur solaire plan et d'une cabine de séchage où les produits sont disposés pour être séchés [13]. Le capteur et la cabine de séchage sont collés l'un à la suite de l'autre comme le montre la *figure 1*. Le capteur plan est constitué principalement d'un absorbeur en tôle galvanisée peint en noir et recouvert par un film plastique transparent. La circulation de l'air dans le séchoir est entretenue par deux ventilateurs (12V ; 1,2A) alimentés par un module photovoltaïque (Salarex: 12V; 41,6W). La cabine de séchage comprenant trois compartiments en série est recouverte par un film plastique transparent permettant aux rayonnements solaires de parvenir aux produits.



**Figure 1 :** *Séchoir tunnel du type Hohenheim installé dans le canton de Gapé-Kpodji.*

### **II-1-2. Matériel de mesure**

Le matériel utilisé lors des tests de séchage est présenté dans le *Tableau I*.

**Tableau I : Matériel utilisé pour les tests de séchage**

Matériel	Caractéristiques	Fonctions
Balance	OHAUS Pionner (étendue de mesures 4000g ; précision $\pm 0,1g$ )	Mesure de la masse des produits
Capteur de température	Thermocouple type K (précision $\pm 0,01^{\circ}C$ )	Mesure de la température
Capteur d'humidité	Sonde d'humidité capacitive (précision $\pm$ 1%)	Mesure de l'humidité relative
Capteur solaire	LI 200 SA (précision $\pm$ 5%)	Mesure de l'ensoleillement global
Centrale d'acquisition pour les mesures de température et d'humidité	Almémé 2250	Relevé et enregistrement automatique des valeurs mesurées par les capteurs de température et d'humidité
Centrale d'acquisition pour les mesures d'ensoleillement	LI 1400	Enregistrement automatique des mesurées d'ensoleillement globale
Etuve	Interlabs DPI-I ( precision $\pm 2^{\circ}C$ )	Dessiccation des échantillons

## II-2. Méthodologie

### II-2-1. Caractérisation du contexte de Gapé – kpodji

La caractérisation du contexte à Gapé-kpodji par rapport au séchage des produits agricoles a été réalisée à partir d'une enquête qualitative menée auprès des représentants des groupements agricoles et responsables administratifs.

Elle a permis de:

- caractériser le milieu géographique de Gapé-Kpodji ainsi que la socio-technique et les aspects énergétiques,
- caractériser les utilisateurs en relevant leur besoin par rapport au séchage des produits de récolte.

L'ensoleillement global sur la localité de Gapé-Kpodji a été déterminé à partir de la cartographie solaire du Togo obtenue par les mesures et la simulation en

utilisant les réseaux de neurones appliqués aux mesures au sol réalisées par le Laboratoire sur l'Energie Solaire (LES) de l'Université de Lomé [14]. L'humidité relative et la température de l'air ambiant ont été mesurées lors des tests dans la localité. Les produits séchés ont été identifiés et les principaux dispositifs de séchage utilisés ont été caractérisés.

## **II-2-2. Caractérisation des dispositifs de séchage**

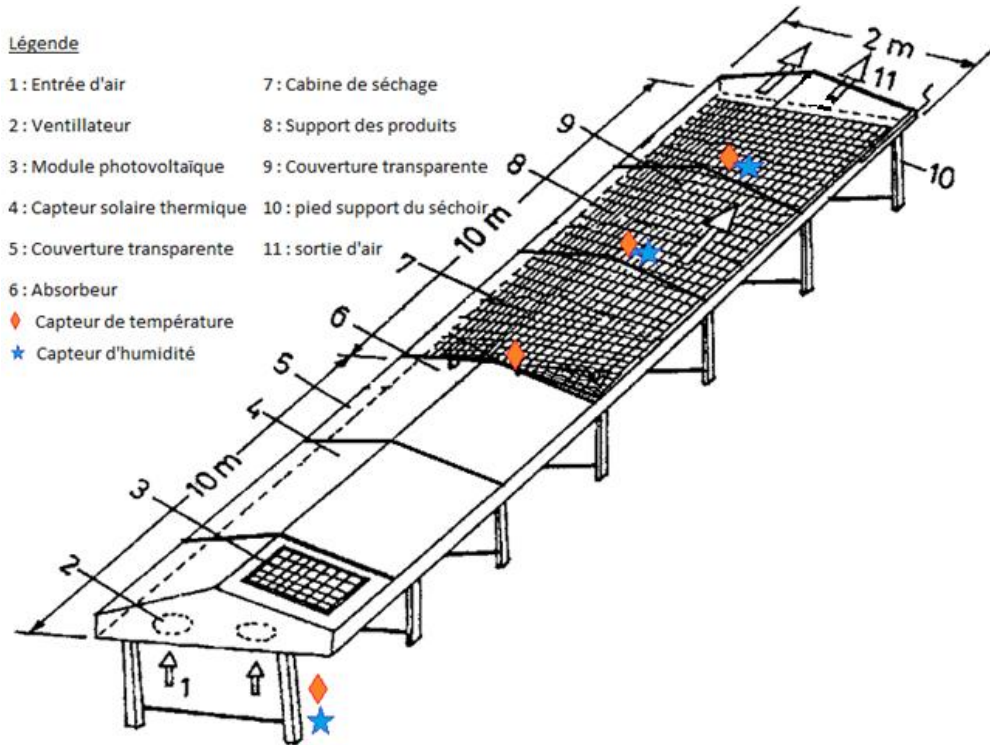
Des tests comparés à vide et à charge ont été réalisés sur les dispositifs répertoriés pour déterminer leur adaptabilité aux besoins des utilisateurs locaux. Deux dispositifs ont été ciblés et testés: le séchage à l'air libre et le séchage dans le séchoir tunnel du type Hohenheim. Deux séries de tests ont été réalisées. D'abord, durant une première période de récolte du maïs et repris durant la même période de récolte une année après.

### ***II-2-2-1. Caractérisation à vide***

La température et l'humidité de l'air ont été mesurées dans le séchoir et à l'air libre. Les thermocouples, thermo-hygromètres sont placés comme l'indique la *figure 2*. La température est mesurée à l'air libre, à la sortie du capteur solaire et à la sortie de chaque compartiment de la cabine de séchage. L'humidité relative ambiante est mesurée ainsi que celle à la sortie des compartiments de la cabine de séchage. L'humidité relative de l'air à la sortie du capteur solaire du séchoir est évaluée en utilisant le diagramme de l'air humide.

### ***II-2-2-2. Caractérisation à charge***

Les tests ont été réalisés sur le maïs qui est le produit le plus séché dans cette zone. Ces tests ont été menés en collaboration avec les coopératives agricoles. Le séchoir a été rempli de maïs étendu en une couche. Des échantillons de maïs repérés dans chaque compartiment de la cabine de séchage permettent de suivre l'évolution de la masse de l'ensemble du produit. Les pesées sont effectuées rapidement puis les échantillons sont réintroduits dans le séchoir chaque jour. Le séchage s'est déroulé entre trois et quatre jours de 8 heures à 16 heures. Toutes les mesures (masse, température, humidité) sont effectuées toutes les trente minutes en début de séchage, et chaque heure à partir du deuxième jour jusqu'à la fin du séchage.



**Figure 2:** Schéma du séchoir tunnel Hohenheim montrant la position des capteurs de mesure

Les teneurs en eau en base sèche ( $X$ ) sont calculées à partir de l'équation (1),

$$X(t) = \frac{m_h(t) - m_s}{m_s} \quad (1)$$

où  $m_h$  indique la masse de produit humide au cours du temps et  $m_s$  la masse sèche. Cette dernière est déterminée en pesant un échantillon de produit après passage à l'étuve à 105°C pendant 24 heures.

La teneur en eau réduite ( $X_r$ ) qui est la grandeur adimensionnelle associée à la teneur en eau du produit, est obtenue à partir de l'équation (2),

$$X_r(t) = \frac{X(t) - X_{eq}}{X_i - X_{eq}} \quad (2)$$

où  $X_i$  et  $X_{eq}$  indiquent respectivement la teneur en eau initiale et celle d'équilibre.

### **III - RÉSULTATS ET DISCUSSION**

Les résultats de cette étude font ressortir toutes les caractéristiques liées à l'activité de séchage dans le milieu de Gapé-Kpodji : sa situation géographique nous renseigne sur les saisons donc les périodes de production agricoles et de récoltes, sur les températures et humidités de l'air ambiant ; la sociotechnique du milieu ; la caractérisation des utilisateurs et des produits séchés et la caractérisation des principaux dispositifs de séchage utilisés (le séchage à l'air libre et le séchoir tunnel Hohenheim). Ces données recueillies, mesurées ou calculées fournissent les renseignements nécessaires pour se prononcer sur la performance de ces dispositifs de séchage et aussi sur leur adaptabilité au contexte d'utilisation.

#### **III-1. Contexte géographique, énergétique et sociotechnique**

La localité de Gapé-Kpodji jouit d'un climat tropical humide avec deux grandes saisons : Une saison sèche de Novembre à Mars et une saison pluvieuse d'Avril à Octobre. La période de récolte et donc de séchage des produits, couvre le mois d'Août à Septembre. Les températures et humidités relatives durant ces périodes, varient respectivement en moyenne de 24°C et 93% en août; à 33°C et 55% en septembre.

Située en zone rurale, la localité sur le plan énergétique n'est pas connectée au réseau électrique. La principale source d'énergie est la biomasse suivie de quelques rares modules solaires installés et du gaz butane utilisé dans les lampes à gaz pour l'éclairage. L'ensoleillement varie entre une moyenne de 3,9 kWh/m<sup>2</sup>/j au cours du mois d'Août et de 4,4 kWh/m<sup>2</sup>/j au mois de Septembre [14].

La population de Gapé-Kpodji est essentiellement agricole. On ne rencontre pas d'ateliers spécialisés en construction métallique ou en bois, qui sont les principaux matériaux de réalisation de séchoirs. De même il n'y a pas de commerce de ces matériaux de construction dans la localité. Ces matériaux et les compétences qui s'y rattachent, ne peuvent être pourvus que dans la ville de Tsévié (58 km) ou à Lomé (88 km). On note sur place, quelques rares compétences en menuiserie et en maçonnerie. Il est donc important de donner la priorité à l'utilisation de matériaux locaux, ou tout au plus, ceux disponibles dans les villes les plus proches, et de former les utilisateurs à une maintenance surtout préventive et aussi curative dans le cas de certaines pannes simples.

Les données sur les conditions climatiques, révèlent la difficulté du séchage à l'air libre pour assurer une bonne conservation à cause de la valeur très élevée de l'humidité relative ambiante, alors qu'une teneur en eau de 13% est requise pour une bonne conservation du maïs [3]. Pour un séchage efficace, il



apparaît nécessaire d'introduire un séchoir qui permettra d'élever la température de l'air et réduire ainsi son humidité relative. La durée de séchage sera aussi réduite par rapport à l'air libre ce qui limitera ainsi les pertes de produits. Le séchoir devra être adapté aux besoins des producteurs.

### **III-2. Caractérisation des utilisateurs et des produits**

Les utilisateurs de séchoirs à Gapé-Kpodji sont essentiellement les membres des coopératives agricoles, comprenant une dizaine à une trentaine d'agriculteurs. La localité compte en tout 90 coopératives agricoles. Les quantités produites sont importantes (en moyenne 2 tonnes par coopérative) et demandent des dispositifs à grande capacité qui sèchent vite (3 à 5 tonnes en 2 jours). La plupart ne maîtrise pas le procédé de séchage et n'en ont qu'une faible notion empirique. Les produits vivriers (céréales et légumes) constituent l'essentiel de la production agricole à Gapé-Kpodji. Les légumes sont commercialisés à l'état frais dans les grandes villes, alors que les céréales sont séchées et conservées avant la commercialisation. L'achat est assuré par l'Agence Nationale de la Sécurité Alimentaire du Togo (ANSAT), qui s'engage à acheter la production des agriculteurs à une teneur en eau spécifiée (13% pour le maïs).

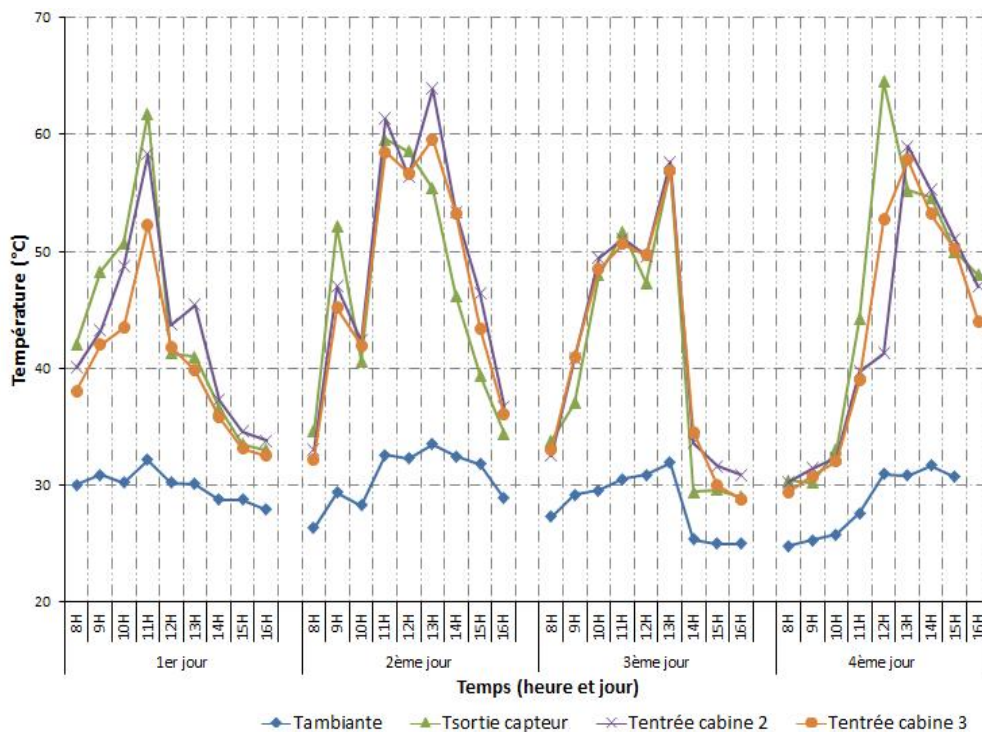
### **III-3. Caractérisation des principaux dispositifs de séchage existants**

Le séchage des produits de récolte se fait en grande majorité de façon traditionnelle, par exposition des produits directement au soleil à l'air libre ou recouvert par une couverture transparente, sur des aires aménagées en terre battues ou sur des bâches en plastiques. Au pire les produits sont laissés sur épis dans les champs et à la merci des rongeurs. Deux séchoirs solaires à tunnel Hohenheim d'une capacité de 1,5 tonne chacune, offerts au canton par des allemands, sont installés et utilisés par les groupements de paysans. Ces séchoirs qui ont servis pour notre dispositif expérimental présenté ci-dessus (*Figure 1*).

#### **III-3-3-1. Caractérisation thermique à vide**

La *Figure 3* présente l'évolution des températures en différents niveaux du séchoir à vide en fonction du temps. Le profil de température suit la variation de l'ensoleillement. La température ambiante varie de 24°C à 33,5°C alors qu'elle est comprise entre 29°C et 65°C. Ces résultats montrent que la température augmente rapidement dans le séchoir. Il ressort de cette figure qu'en l'absence des produits, il y a une élévation de la température de 4°C à 34°C dans le séchoir par rapport à l'air libre et la température est presque homogène dans l'enceinte de séchage. Cette température atteint un maximum

de 69°C dans le capteur et de 65°C dans les cabines de séchage entre de 12 heures et 13 heures. Pour des conditions ambiantes voisines, Gauhar *et al.* ont obtenu des résultats similaires lors de tests à vide sur un séchoir solaire tunnel semblable en Thaïlande. Les températures variaient de 28°C à 40°C à l'air ambiant et de 39°C à 68°C dans le séchoir [15].



**Figure 3 :** Profil de température à l'air libre et à l'entrée de chaque cabine du séchoir solaire tunnel Hohenheim à vide.

La Figure 4 présente l'évolution de l'humidité relative en différents niveaux du séchoir à vide en fonction du temps. L'humidité relative à la sortie du capteur solaire est déterminée à partir du diagramme de l'air humide. Ces résultats mettent en évidence l'influence de l'humidité dans la zone sur les activités de séchage en utilisant ce type de séchoir. On remarque que l'humidité relative est réduite de 76% à l'air ambiant à 56% dans le capteur et à 40% dans les cabines de séchage. A vide, l'humidité de l'air diminue le long du séchoir. Cette diminution montre d'une part, l'efficacité du capteur solaire indirect réduisant de 10% l'humidité relative de l'air. Elle fait ressortir d'autre part l'efficacité du capteur direct qui par l'effet serre, due à la

couverture transparente recouvrant la cabine de séchage, réduit l'humidité de 16%.

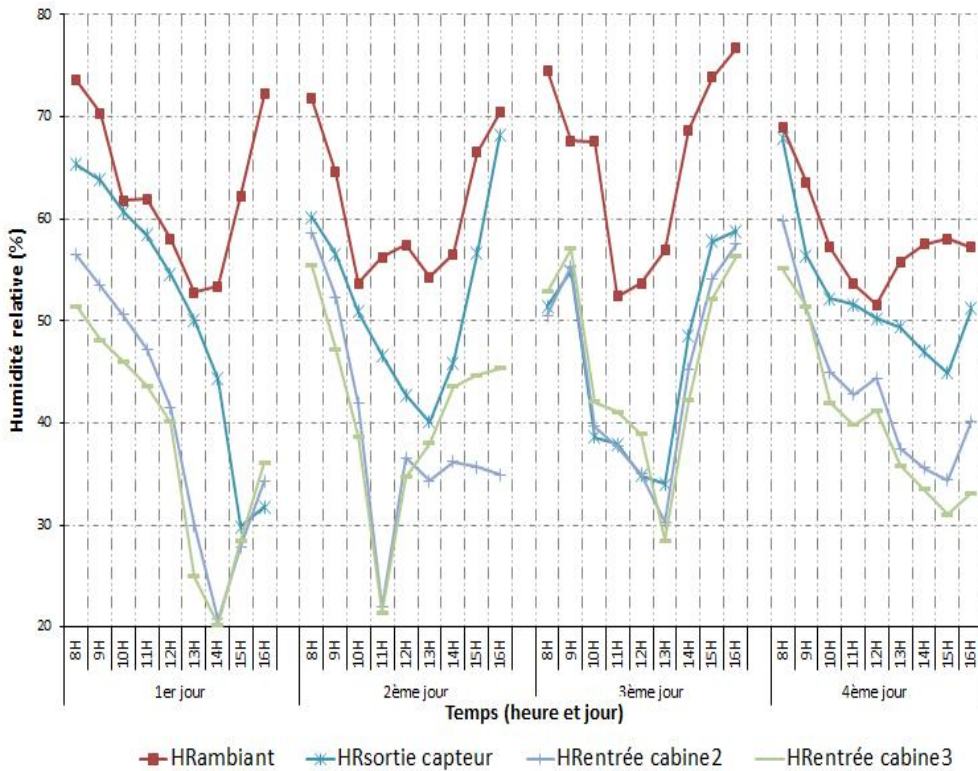
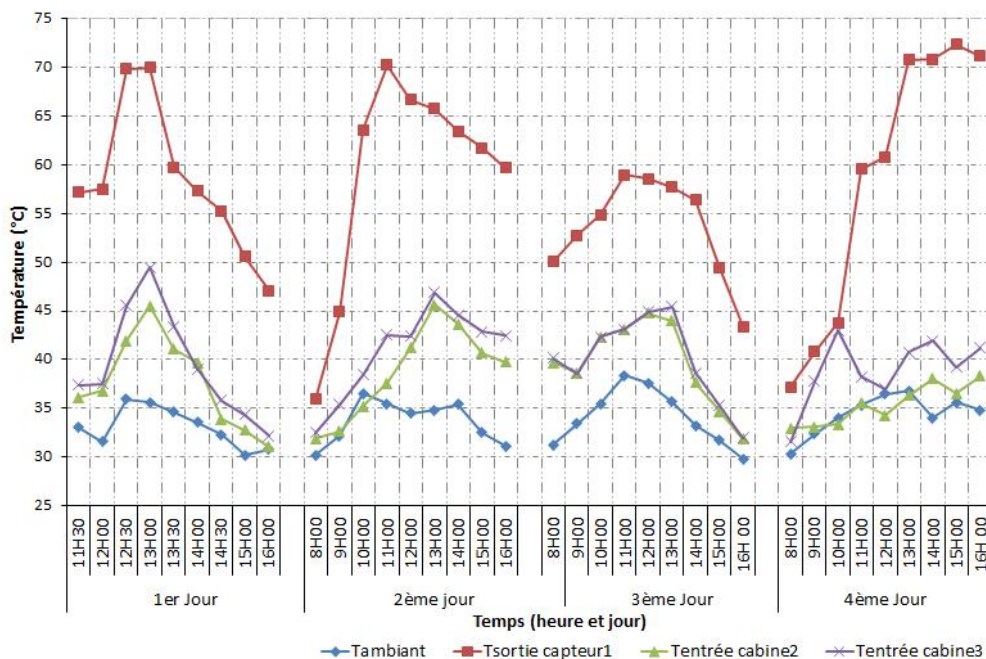


Figure 4 : Profil d'humidité à l'air libre et dans le séchoir solaire Hohenheim à vide

### III-3-2. Caractérisation à charge

Les températures à l'air libre ainsi que dans le séchoir, mesurées au cours des expériences sont présentés sur la Figure 5. La Figure 5 présente l'évolution des températures dans le séchoir à charge pour différentes positions de thermocouple comme indiqué sur la Figure 2. On remarque qu'au cours de la journée, le profil de température suit la variation de l'ensoleillement. Les températures augmentent du matin jusqu'à la plage 12 heures – 14 heures, puis diminuent jusqu'au soir à partir de 14 heures à 16 heures. Ces courbes montrent qu'à charge, on observe une faible variation de la température dans le séchoir. De faibles variations de températures sont également obtenues par Hossain et Bala pour le séchage de piments rouges et verts dans un séchoir tunnel Hoheneim [16].



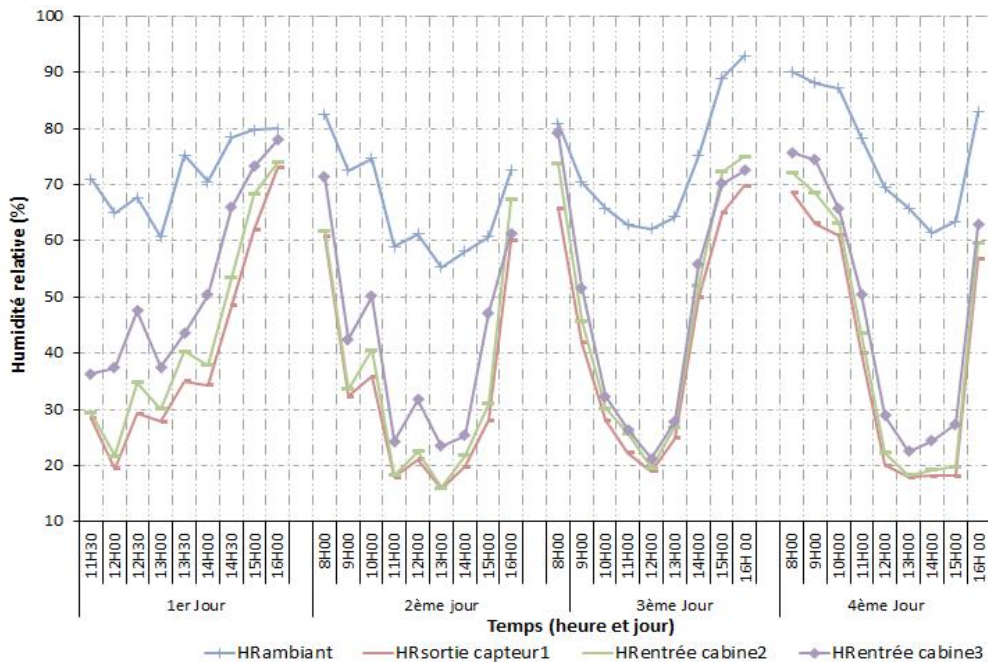
**Figure 5 :** Profil de température à l'air libre et dans le séchoir solaire Hohenheim.

La Figure 5 montre également que le séchoir permet une élévation de la température de l'air de séchage avec des écarts allant de 10°C à 35°C par rapport à la température ambiante. Les températures ambiantes varient entre 25°C et 33°C. À l'intérieur du séchoir, les températures varient entre un minimum de 30°C à 8 heures le matin et à partir de 15 heures à 16 heures et un maximum de 68°C à 13 heures. Ayyappan et Mayilsamy pour le séchage d'amande de noix de coco dans un séchoir tunnel ont obtenu des températures de 35°C à 70°C dans le séchoir contre 29°C à 31°C à l'air libre [17]. Gauhar *et al.* ont obtenu pour le séchage du piment, des températures variant de 35°C à 63°C à l'intérieur du séchoir [15]. Pour le séchage de l'ananas beaucoup plus humide que le maïs, Bala *et al.* ont obtenu de 31°C à 34°C à l'air ambiant des températures de 40°C à 55°C dans le séchoir Hoheneim au Bangladesh [18]. Pour des conditions ambiantes similaires, l'humidité du produit à sécher influence la performance du séchoir. Le choix ou la conception d'un séchoir doit tenir compte du type de produit à sécher. Les températures moyennes à l'entrée des trois cabines du séchoir sont de 52°C pour la première ; 54°C pour la deuxième et 60°C pour la dernière (Figure 5). Ces valeurs conviennent pour un mode de séchage statique [19], car des températures d'air de séchage plus élevées en mode statique,

entraîneraient le croûtage ou le brunissement du produit. De même, des températures trop basses ralentiraient le séchage et entraîneraient le pourrissement des produits. Ainsi il est recommandé pour le séchage du maïs, des températures de 43°C pour le maïs destiné aux semences, 54°C pour le séchage de maïs destiné au commerce générale et 83°C pour le maïs employé dans l'alimentation animale [20]. Donc le séchoir installé dans la zone de Gapé-Kpodji peut être utilisé pour le séchage de maïs destiné pour la consommation générale mais pas pour la semence vu l'analyse des résultats de la *Figure 5*.

La *Figure 6* montre le profil de l'humidité relative de l'air mesurée en fonction du temps au cours des tests de séchage. Ces résultats montrent que les valeurs de l'humidité relative ambiante sont très élevées, variant de 55% à 93%. Ces valeurs élevées sont caractéristiques de la région côtière. La réduction de l'humidité relative à la sortie du capteur solaire indirect du séchoir montre un bon fonctionnement de ce dernier. Il permet de réduire de 35% la quantité d'eau contenue dans l'air en milieu de journée.

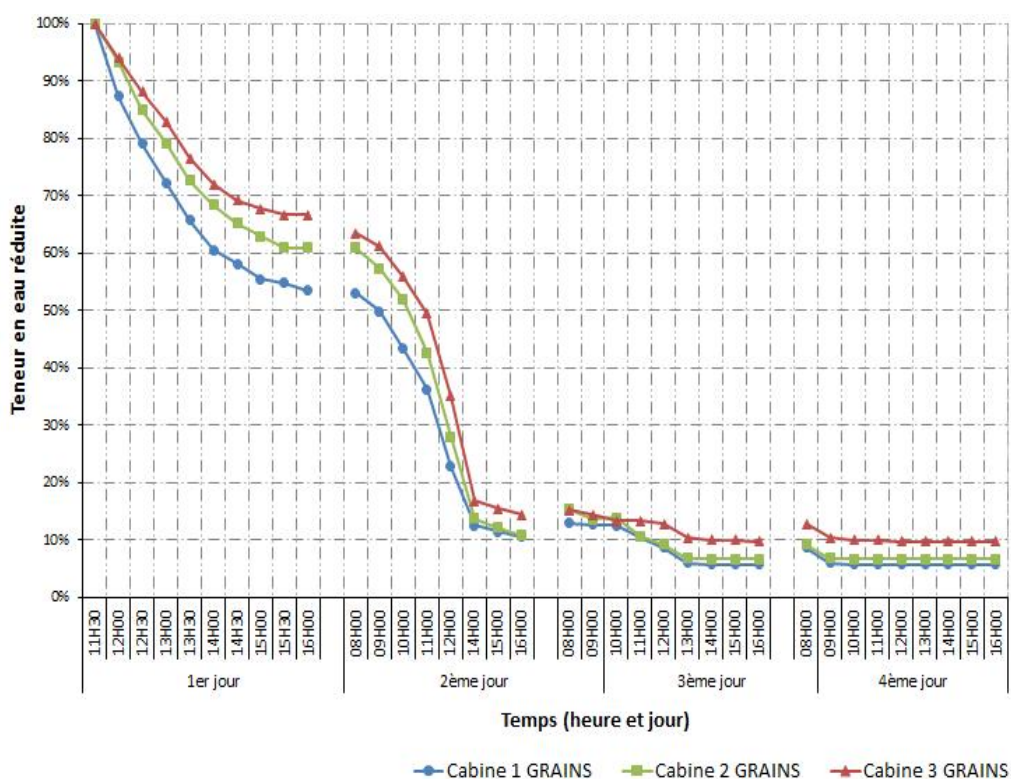
Il ressort des *Figures 5 et 6* que l'air de séchage, en passant d'un compartiment de la cabine de séchage à un autre, baisse en température et en même temps absorbe de la vapeur d'eau qu'il extrait du produit à sécher, donc son hygrométrie augmente.



**Figure 6 :** Profil d'humidité relative ambiante et dans le séchoir Hohenheim à charge

Les valeurs encore faibles de l'humidité relative dans le dernier compartiment par rapport à celle de l'air ambiant, montrent un pouvoir évaporatoire encore élevé de l'air à la sortie du séchoir. Le séchoir pourrait donc être encore allonger pour mettre de sécher de plus grandes quantités de produit.

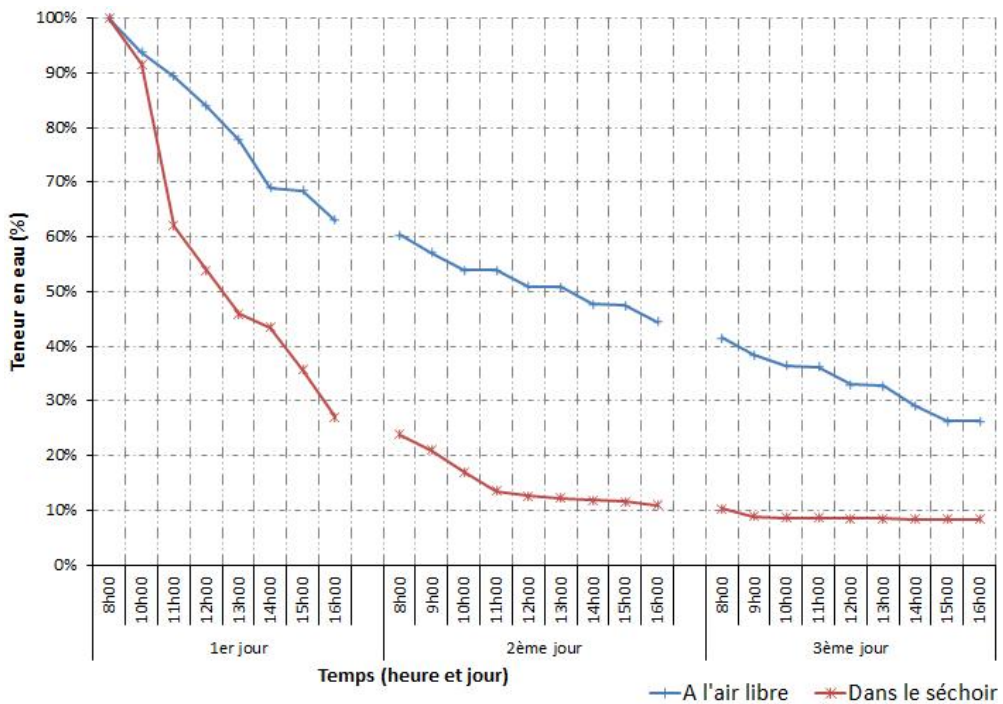
La *Figure 7* montre la variation de la teneur en eau réduite des grains de maïs en fonction du temps de séchage dans les différents niveaux des cabines de séchage. Il est remarquable de constater une décroissance de la teneur en eau au cours du séchage, du premier au quatrième jour avant de se stabiliser vers la fin du quatrième jour. Il est à observer également que les produits dans la cabine 1, sèchent plus vite que ceux des cabines 2 et 3; mais ces courbes ont presque la même allure de séchage. En effet, le produit situé dans la première cabine a mis un peu moins de temps pour sécher (16 heures), alors que dans les cabines 2 et 3, l'équilibre n'a été atteint qu'après 17 heures de séchage. Les résultats de la *Figure 7* sont semblables à ceux obtenus pour le séchage de raisins, de karités et des cladodes avec un séchoir tunnel dans les conditions climatiques d'Alger [21].



**Figure 7 :** Variation de la teneur en eau réduite du maïs en fonction du temps

Le séchage plus rapide des produits disposés dans la première cabine serait dû à la disposition des produits de façon étendue dans la cabine de séchage et au mouvement relatif air-produit dans le séchoir. Les produits sont statiques et disposés par cabine, l'une à la suite de l'autre. Ce qui permet à l'air de séchage circule en flux léchant au dessus des produits, une cabine à la suite de l'autre.

Ce séchage non uniforme des produits mis à sécher, pourrait être corrigé par une circulation d'air de séchage en flux traversant avec la même configuration pour la disposition des produits ou alors en s'inscrivant dans un mouvement semi-continue des produits. Dans ce dernier cas, les produits de la cabine 1 seront déchargés en fin de séchage et remplacés par ceux de la cabine 2. Et les produits de la cabine 2 par ceux de la cabine 3 et de nouveaux produits seront alors introduits dans la cabine 3.



**Figure 8 :** Variations de teneur en eau en fonction du temps à l'air libre et dans le séchoir

La Figure 8 montre la variation de la teneur en eau en fonction du temps. La teneur en eau réduite du maïs, dans le test comparant le séchage à l'air libre à celui dans le séchoir Hoheneim, passe de 100% à 20,13% en une journée dans le séchoir contre 3 jours à l'air libre. Le séchoir met 20 heures pour

réduire la teneur en eau du maïs de sa valeur initiale de 54,32% à la valeur d'équilibre de 13%. La rapidité du séchage des grains de maïs à l'intérieur du séchoir solaire à tunnel est due au fait que les grains reçoivent de l'énergie du capteur solaire mais aussi directement du rayonnement solaire incident. Les échantillons séchés à l'air libre, reçoivent l'énergie seulement du rayonnement d'incident. Mais une quantité relativement importante est perdue par convection dans l'air ambiant. La température du produit reste très proche de celle de l'air ambiant [22]. Le séchoir solaire permet d'accélérer le temps de séchage et d'augmenter la qualité des produits. Cette étude a montré la potentialité du séchoir solaire à tunnel pour le séchage du maïs grain au Togo et les améliorations pouvant être apportées au séchoir ou à l'organisation du séchage.

#### **IV - CONCLUSION**

L'activité du séchage met en relation plusieurs acteurs : le séchoir, l'utilisateur, l'environnement climatique, économique, social autour du séchoir et le produit. Les résultats de cette présente étude font ressortir toutes les caractéristiques liées à l'activité de séchage dans la localité de Gapé-Kopji. Ces données déterminées et calculées fournissent les renseignements pour se prononcer sur la performance des dispositifs de séchage et sur leur adaptabilité au contexte d'utilisation. Il en ressort de notre étude que de par l'humidité ambiante élevée, les pertes de produits causées par les animaux et la mauvaise qualité des produits, le séchage traditionnel à l'air libre n'est ni un système de séchage performant, ni adapté au besoin des utilisateurs. Des résultats similaires dans d'autres contextes pour le séchage à l'air libre confirment ce fait.

Nos essais se sont avérés concluants que ce séchoir tunnel du type Hohenheim importé, est performant pour le séchage des céréales dans les conditions climatiques de Gapé-Kpodji au Togo. Il permet de sécher plus de 1,5 tonnes de maïs - grain en moins de 24 heures contre 72 heures et plus à l'air libre. Toutefois, sa capacité réduite et le séchage non uniforme des produits le long de la cabine de séchage, imposant la présence d'un opérateur pour homogénéiser le séchage et le coût de la maintenance et du renouvellement du séchoir à terme sont autant de facteurs qui révèlent l'inadaptabilité de ce séchoir par rapport à l'utilisation qui en est faite dans le contexte de Gapé-Kpodji. L'utilisation d'une part du séchoir Hohenheim pour des produits en quantité moins importante et de plus forte valeur ajoutée comme certains légumes ou épices serait plus adaptée. D'autre part, un système de séchage de plus grande capacité, réalisé à partir de matériaux disponibles localement et de faible technicité pourraient, dans ce contexte,



répondre mieux aux besoins des utilisateurs. On note que des séchoirs serre de grandes capacités, dimensionnés de manière efficiente en exploitant les avantages du séchoir Hohenheim pourraient être mieux adaptés. Cependant des tests préalables s'avèrent indispensables pour une approbation totale.

## RÉFÉRENCES

- [1] - A. FUDHOLI, K. SOPIAN, M.H. RUSLAN, M.A. ALGHOUL, M.Y. SULAIMAN, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14 (2010), 1–30
- [2] - C. KAPSEU, J. NGANHO, J. BOUDRANT, J. CROUZET, (2002). Séchage et technologie post-récolte. In: Séminaire d'animation régional du réseau génie de procédé appliqué à l'agro-alimentaire de l'agence universitaire de la francophonie, 10 au 12 décembre, Yaoundé, Cameroun.
- [3] - FAO (1989) *Prevention of post-harvest food losses: Fruits, vegetables and root crops, a training manual*. Rome, Italy, FAO training series.
- [4] - David LUNA – SCACHEZ, « modélisation et conception préliminaire d'un séchoir solaire pour bois de pin avec stockage », Bordeaux, Université de Bordeaux I (2008), Thèse de doctorat.
- [5] - H. DESMORIEUX, Y. IDRIS, *Prise en compte de l'environnement dans le transfert de technologie. Cas des séchoirs*, *Journal des Sciences pour l'Ingénieur*, 10 (2009), 17.
- [6] - C. MAROUZÉ, F. GIROUX, *Design method in the context of developing countries: Application to small-scale food processing units*, in: *CIRP Design Seminar 2004, Design in the Global Village*, Cairo, Egypt, 2004.
- [7] - A. S. MUJUMDAR, *Guide to industrial drying: Principles, equipment and new developments* Colour Publications Pvt. Ltd., Mumbai, India, 2004.
- [8] - C. MAROUZE, *Proposition d'une méthode pour piloter la trajectoire technologique des équipements dans les pays du Sud. Application au secteur agricole et agroalimentaire*, Thèse de doctorat Génie Industriel, Ecole Nationale Supérieure des Arts et Métiers, Paris, France, 1999.
- [9] - EDOUN, M. (2010), « Développement d'un outil d'aide à la conception de procédés de séchage à petite échelle en zone tropicale humide ». Thèse soutenue à l'Ecole Nationale Supérieure des Sciences Agro-Industrielles, Université de Ngaoundéré. Ngaoundéré, Cameroun.
- [10] - AUGUSTUS L. M., S. Kumar & S.C Bhattaacharya (2002) “ A comprehensive procedure for performance evaluation of solar driers” *Renewable and sustainable Energy Review* 6(4):367-393
- [11] - A. SHARMA, C. R. CHEN, N. VU LAN, *Solar-energy drying systems: A review*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13 (2009), 1185.

- [12] - BOROZE T. T. « Outil d'aide à la conception de séchoirs pour les produits agricoles tropicaux » Thèse présentée à l'université de Lomé le 1<sup>er</sup> Juin 2011, Lomé – Togo.
- [13] - B.K. BALA, M.D HUSSAIN, M.R.A MONDOL “Photovoltaic based forced convection solar tunnel dryer for pineapple”. *Journal of Agricultural Engineering* 1997; 32(4):2331.
- [14] - K. A. AMOU « cartographie du rayonnement solaire global du Togo à l'aide de réseaux de neurones comme outils d'estimation ». Thèse de doctorat unique, Université de Lomé.
- [15] - GAUHAR A. MASTEBAYEVA, M. AUGUSTUS LEON and S. KUMAR, “performance evaluation of solar tunnel drier for chilli drying” Energy Program, School of Environment, Resources and Development, Asian Institute of Technology, P.O. Box 4, Klong Luang Pathumthani 12120, Thailand.
- [16] - M.A. HOSSAIN, B.K. BALA “Drying of hot chilli using solar tunnel drier” *Solar Energy* 81 (2007) 85–92
- [17] - S. AYYAPPAN & K. MAYILSAMY “Experimental investigation on a solar tunnel drier for copra drying”. *Journal of Scientific & industrial research* vol. 69, August 2010, pp 635-638.
- [18] - B.K. Bala, M.R.A. Mondol, B.K. Biswas, B.L. Das Chowdury, S. Janjai, Solar drying of pineapple using solar tunnel drier, *Renewable Energy* 28 (2003) 183-190.
- [19] - T. KERIM « étude comparative du séchage de cossette de manioc dans l'enceinte solaire et à l'air libre » Mémoire de DEA, IUT de santé et des sciences biologiques; Université de Lomé; pp 32 ; 1982.
- [20] - J.P. NADEAU et J.R. PUIGGALI, Séchage: des processus physiques aux procédés industriels, Lavoisier, Paris. 1995
- [21] - S. LAHSASNI, M. KOUHILA & M. MAHROUZ, Etude expérimentale de la cinétique de séchage de la cladode *d'opuntia ficu indica* Fier : Tetoum - Maroc. 2002, pp. 254-259
- [22] - A.O. DISSA, J. BATHIEBO, S. KAM, P.W. SAVADOGO, H. DESMORIEUX, J. KOULIDIATI, 2009, Modelling and experimental validation of thin layer indirect solar drying of mango slices, *Renewable Energy*, Volume 34 (4), 1000-1008.
- [23] - A. EL-SEBAILI, S. ABOUL-ENEIN, M. R. I. RAMADAN & EL-GOHARY, H. G. (2002). Empirical correlation for drying kinetics of some fruits and vegetables. *Journal de l'énergie* (27). Pergamon, pp. 845–859.
- [24] - A. ESPER, W. MÜHLBAUER, 1996, Solar tunnel dryer for fruits, *Plant Res Develop*, 44, pp. 61-80.