

Guide du constructeur du séchoir hybride

Cas de Bouadel-Taounate (Maroc)

*Préparé dans le cadre du projet de développement
du petit entrepreneuriat agro-industriel dans les zones
périurbaines et rurales des régions prioritaires
avec un accent sur les femmes au Maroc*



ORGANISATION DES NATIONS UNIES
POUR LE DÉVELOPPEMENT INDUSTRIEL

GUIDE DU CONSTRUCTEUR DU SECHOIR HYBRIDE

Cas de Bouadel-Taounate-Maroc

Préparé dans le cadre du projet de développement du petit entrepreneuriat agro-industriel dans les zones péri-urbaines et rurales des régions prioritaires avec un accent sur les femmes au Maroc

US/MOR/04/A48

par

A. OUAOUICH, Expert du développement industriel
ONUUDI - Vienne - Autriche

et

A. OSAKWE, Expert de l'ONUUDI
Université de l'Agriculture et des Forêts de Vienne (BOKU)
Vienne - Autriche

et

H. CHIMI, Expert national du projet
Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II - Rabat - Maroc

Copyright © par l'Organisation des Nations Unies pour le développement industriel
Première édition 2005

Les appellations employées dans la présente publication et la présentation des données qui y figurent n'impliquent, de la part du Secrétariat de l'Organisation des Nations Unies pour le développement industriel, aucune prise de position quant au statut juridique des pays, territoires, villes ou zones, ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites. Les opinions, chiffres et estimations qui y figurent sont ceux de l'auteur et ne doivent pas nécessairement être considérés comme étant ceux de l'Organisation des Nations Unies pour le développement industriel ou comme impliquant son approbation. Les appellations 'pays développés' et 'pays en développement' sont employées à des fins statistiques et n'expriment pas nécessairement un jugement quant au niveau de développement de tel ou tel pays ou telle ou telle zone. La mention dans le texte de la raison sociale ou des produits d'une société n'implique aucune prise de position en leur faveur de la part de l'Organisation des Nations Unies pour le développement industriel.

Cette publication n'a pas fait l'objet d'une mise au point rédactionnelle.

TABLE DES MATIERES

	Page
I NTRODUCTION - DU SÉCHOIR SOLAIRE AU SÉCHOIR HYBRIDE	4
F AISONS CONNAISSANCE AVEC LE SÉCHOIR HYBRIDE: CAS DE BOUADEL - TAOUNATE - MAROC	7
C ONSTRUCTION DU SÉCHOIR HYBRIDE	11
U TILISATION DU SÉCHOIR HYBRIDE	21
M ODE D'OPÉRATION DU SÉCHOIR HYBRIDE	25
T ABLEAU RÉCAPITULATIF DES CARACTÉRISTIQUES DU SÉCHOIR HYBRIDE	26

INTRODUCTION : DU SÉCHOIR SOLAIRE AU SÉCHOIR HYBRIDE

Le présent guide permettra d'aider les entrepreneurs ou les artisans dans leur entreprise de construction d'un séchoir hybride et de contribuer ainsi à la dissémination de la technologie de séchage des fruits et légumes.

Pourquoi sécher les fruits et légumes?

Les fruits et légumes sont des produits très riches en vitamines diverses et sels minéraux et constituent une source importante de ces nutriments pour l'alimentation humaine. La plupart de ces produits sont récoltés avec une humidité très élevée. Ils sont périssables car sujets à des contaminations diverses (moisissures, microbes, etc.) et doivent donc être vendus/consommés frais dans un délai très court. A défaut de cela ils se détériorent et deviennent impropres à la consommation. Par ailleurs, dans les campagnes les producteurs de fruits et légumes qui vivent de leurs petites parcelles de terrain, sont sujets aux fluctuations du marché, notamment lors des saisons de production où les prix baissent jusqu'à rendre la production déficitaire. Sécher permet à ces entrepreneurs ruraux d'allonger la durabilité des produits, de diminuer les pertes (qui peuvent parfois dépasser 50% de la production) et d'ajouter de la valeur à leurs produits.

Tableau 1 : L'humidité des légumes frais à la récolte et pendant le stockage

Produit	Humidité max. (%)	Humidité optimale (%)
Tomates	80 – 90	6
Oignons	80	6
Carottes	70	6

Pourquoi utiliser un séchoir hybride?

Le séchage solaire traditionnel

Sécher veut dire déshydrater, ce qui nécessite beaucoup d'énergie. Le séchage a été pratiqué depuis les temps immémoriaux et c'est le séchage solaire direct qui a été adopté de par sa simplicité d'utilisation et sa gratuité.

Cette méthode se pratique simplement en exposant les produits au rayonnement direct des rayons solaires. Ainsi le produit est étalé sur la terre, sur les rocs, les toits des maisons, directement à même le sol ou sur des nattes.

Cependant, le séchage solaire traditionnel présente plusieurs inconvénients :

- Le produit est exposé à l'air libre, à la poussière, aux mouches et insectes et aux autres ravageurs ouvrant la voie à des souillures et contaminations variées.

- La durée de séchage est longue et peut atteindre plusieurs jours, d'où une très mauvaise qualité des produits : contaminations multiples, réhydrations les nuits et en temps nuageux, etc.
- La méthode est assez contraignante et demande beaucoup de travail. En effet, il faut à chaque fois retourner le produit pour assurer un séchage uniforme, chasser les animaux, tourner et amener la récolte le soir ou quand il pleut.
- Couleur foncée des produits qui perdent beaucoup de leurs composants nutritifs, en particulier les vitamines.

Le séchage solaire amélioré

Plusieurs types de séchoirs solaires ont été mis au point dans le monde pour profiter de l'énergie solaire qui est offerte gratuitement et mettre le produit dans une enceinte plus ou moins fermée pour le protéger des souillures et contaminations variées. On peut les regrouper en deux catégories : Les séchoirs solaires à convection naturelle et ceux à convection forcée.

La première catégorie emploie la convection naturelle pour la circulation de l'air chaud et dans ce cas le collecteur solaire est souvent combiné avec la chambre du séchage. Le séchage solaire est direct. Le collecteur peut être aussi séparé de la chambre de séchage et le séchage est indirect.

Dans la deuxième catégorie l'air chaud est poussé par un ventilateur, et le collecteur solaire et la chambre du séchage sont séparés. Le séchage solaire est indirect. Le tableau ci-dessous montre quelques différents types de séchoirs solaires utilisés.

Type	Moyens de circulation de l'air	Avantages	Désavantages
Séchoir de tente plastique	Convection naturelle	<ul style="list-style-type: none"> • Pas cher et simple dans la construction 	<ul style="list-style-type: none"> • Hauts coûts de l'entretien (l'abri plastique doit être remplacé régulièrement) • Perte de vitamines • Longue durée de séchage • Basse qualité du produit
Séchoir de tunnel	Convection naturelle	<ul style="list-style-type: none"> • Bas coûts d'exploitation 	<ul style="list-style-type: none"> • Hauts coûts de construction et d'installation • Longue durée de séchage • Hautes pertes par pourriture • Dépendance aux conditions extérieures.
Séchoir indirect	Convection naturelle	<ul style="list-style-type: none"> • Bas coûts d'exploitation • Les produits sont protégés contre radiation du soleil directe 	<ul style="list-style-type: none"> • Hauts coûts de construction et d'installation • Longue durée de séchage • Hautes pertes par pourriture • Dépendance aux conditions extérieures.

Quels que soient les progrès réalisés, cette méthode de séchage est loin de satisfaire aux impératifs économiques, aux exigences du consommateur et aux critères de qualité requis sur les marchés. En effet un séchage solaire direct ou indirect reste dépendant de la source d'énergie qui est le soleil. La nuit et en temps nuageux, le processus de déshydratation ralentit et peut même s'arrêter allongeant la durée de séchage. Bien plus les réhydratations multiples des produits influencent

négativement leur qualité. Ceci a amené à concevoir des méthodes de séchage où l'air chaud est produit régulièrement et les paramètres de séchage maîtrisés.

Les séchoirs électriques sont les meilleures dans ce cas mais cette énergie coûte cher dans la plupart des pays en développement, notamment pour les petits entrepreneurs ruraux. Ainsi on a eu recours au bois, gasoil, gaz et eau chaude avec des succès assez remarquables sur la qualité des produits. Mais le coût économique et les conséquences sur l'environnement restent assez élevés. L'utilisation des énergies renouvelables comme le soleil reste intéressant.

Le séchoir hybride, une alternative sérieuse

Sécher en utilisant principalement le soleil pour avoir le coût de production le plus bas possible et utiliser une énergie d'appoint pour assurer un séchage régulier et maîtriser les paramètres pour assurer une bonne qualité des produits, voilà les idées sur lesquelles a été conçu le séchoir hybride, il y a quelques années, à travers une coopération entre l'ONUDI et l'Université de l'Agriculture et des Forêts de Vienne en Autriche.

Le séchoir hybride est un appareil qui utilise l'énergie solaire comme énergie principale et le gasoil ou gaz comme énergie d'appoint pour chauffer l'air. Le séchoir hybride, malgré sa jeunesse, a permis d'obtenir des produits de très bonne qualité pour un coût modéré. Un petit inconvénient est qu'il n'existe pas en formule standard, sa conception qui sans cesse évolue, doit être à chaque fois adaptée aux conditions locales. Cependant, sa construction, sa maintenance et son entretien restent à la portée d'artisans.



Photo 1: Les cellules photovoltaïques sur le toit



Photo 2: Le chauffage complémentaire

FAISONS CONNAISSANCE AVEC LE SÉCHOIR HYBRIDE : CAS DE BOUADEL-TAOUNATE-MAROC

La partie séchage solaire indirect

Capteur solaire

- Douze caisses en bois (six avec l'entrée de l'air et six avec la sortie d'air en bas). Dimensions de chaque caisse : 2,02 m de longueur x 0,77 m de largeur x 0,23 cm de hauteur.
- Verre incassable
- Absorbeurs
- Isolation

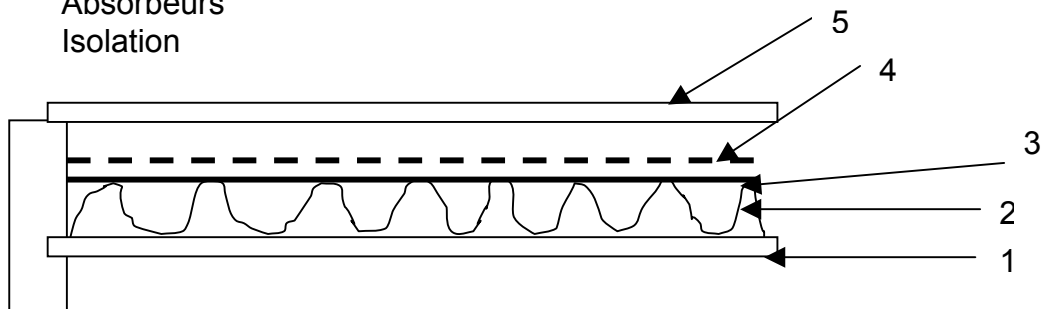


Diagramme 1 : Composantes du capteur de l'air

- 1 = cadre de la caisse en bois
- 2 = Isolation en laine de verre pour minimiser les pertes de chaleur en bas
- 3 = deuxième absorbeur (toile alu)
- 4 = premier absorbeur (grillage)
- 5 = verre pour minimiser les pertes de chaleur par le front

Grâce au capteur, les rayons solaires sont absorbés, transformés en chaleur, laquelle chaleur est transmise et véhiculée par l'air.

Diagramme 2: Arrangement des caisses: en haut : entrée d'air ; en bas : sortie d'air

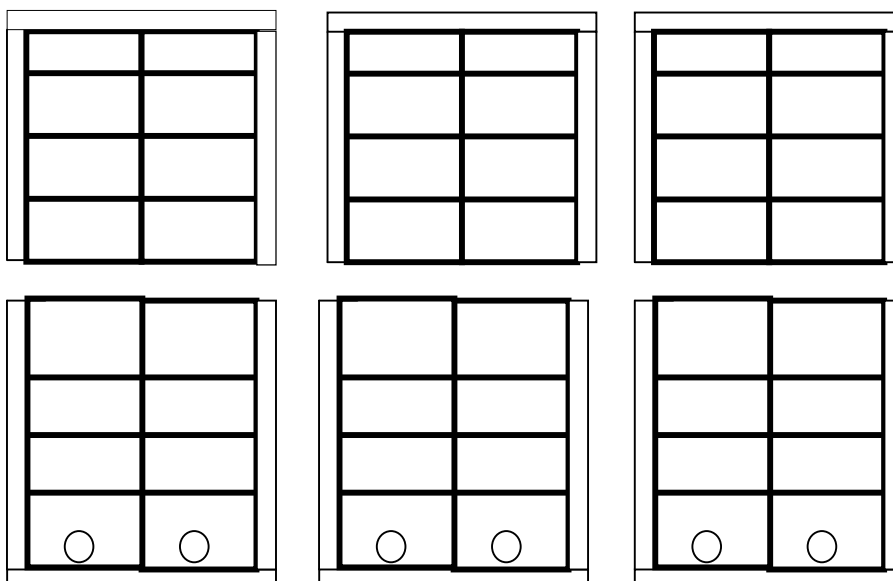


Diagramme 3: Conduits d'air chaud

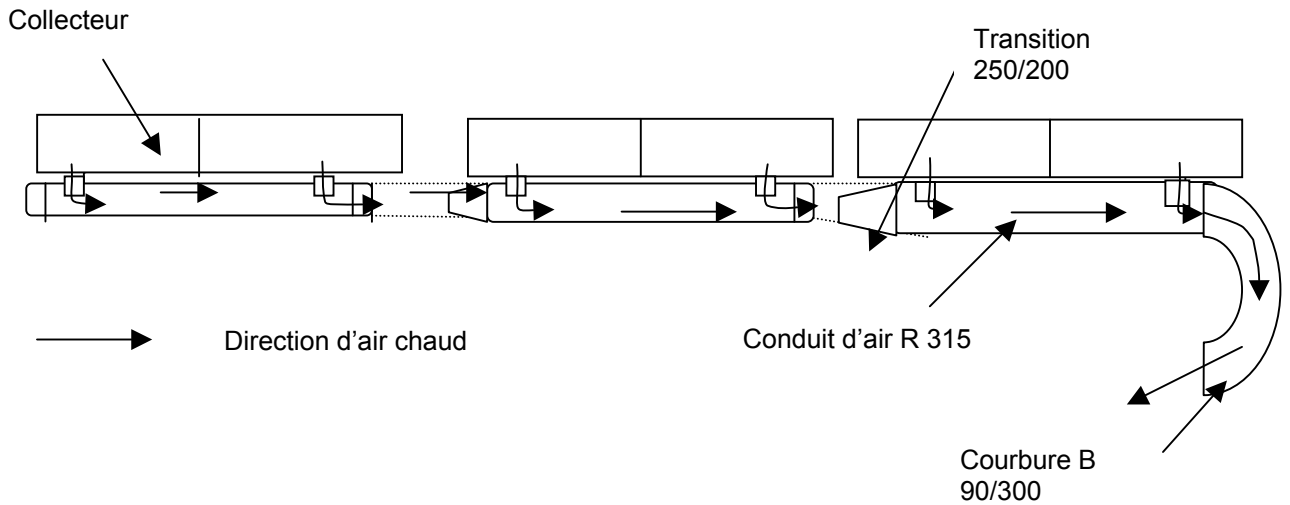
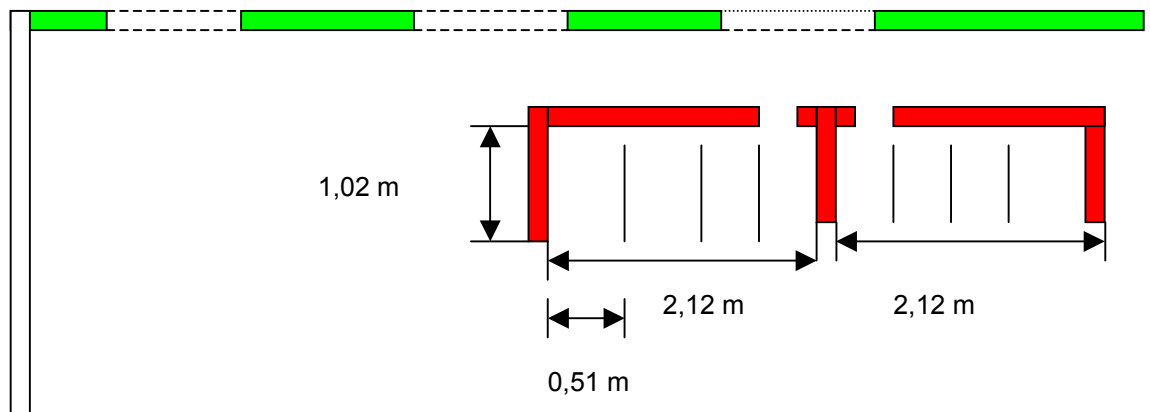


Diagramme 4: Chambre de séchage

- Chambre de séchage en brique
- 80 claies (100 x 50 x 4 cm - longueur x largeur x hauteur)



Système photovoltaïque

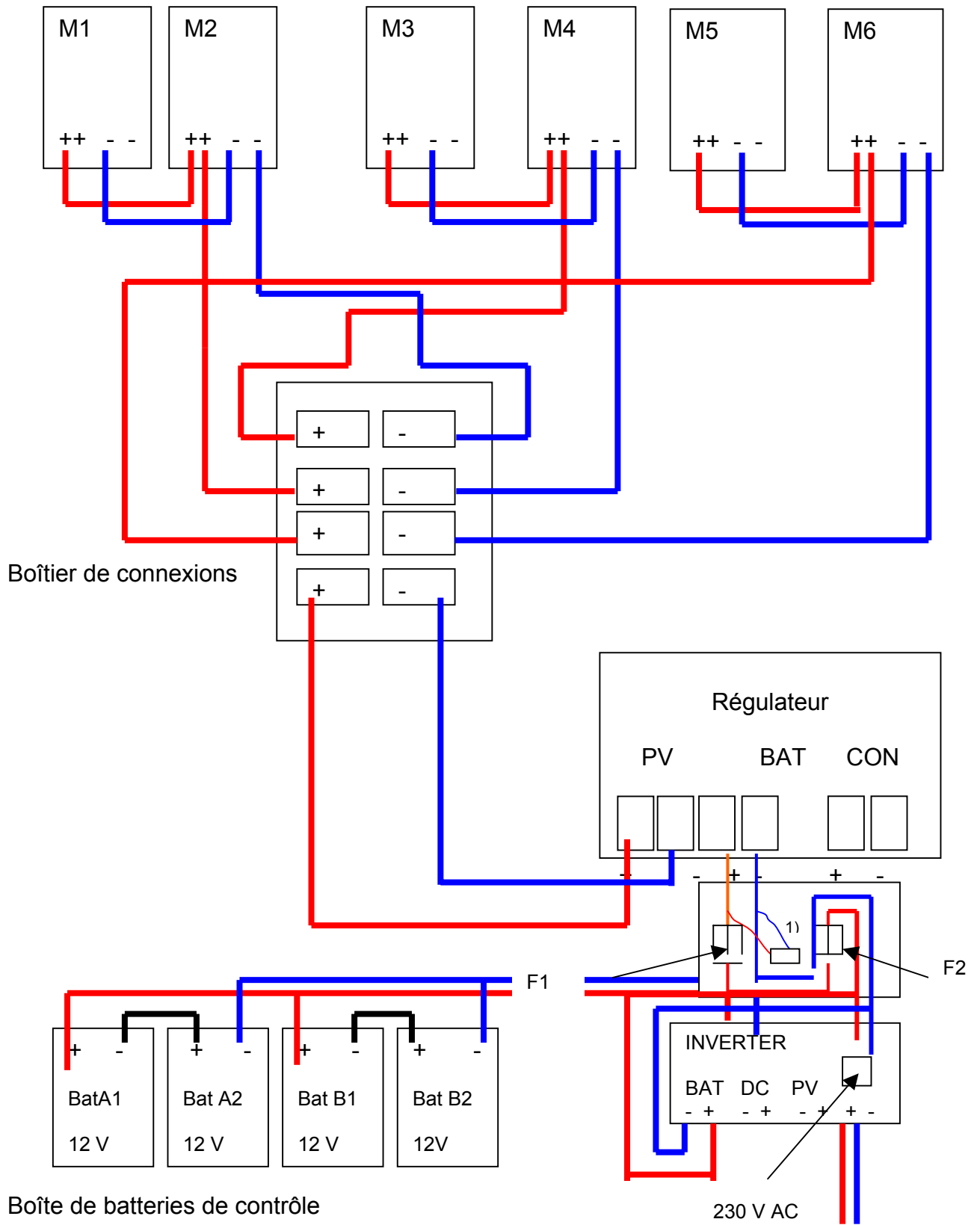
Fonction: convertir les rayons solaires en électricité

- 6 PV modules (24 V, 100 W chacune) ;
- 4 batteries solaires (12 V, 230 Ah chacune) ;
- 2 régulateurs (30 Amp., 24V) ;
- Convertisseur pour convertir la production DC à AC (900 W, 12V DC à 220V AC) ;

Module: plaques connectées en parallèle deux à deux

Batteries solaires : connectées en séries et parallèle

SCHEMA D'INSTALLATION ÉLECTRIQUE



F1 & F2 = Fusibles pour les batteries et consommateur (30 Ampère)

Chauffage supplémentaire

Composition

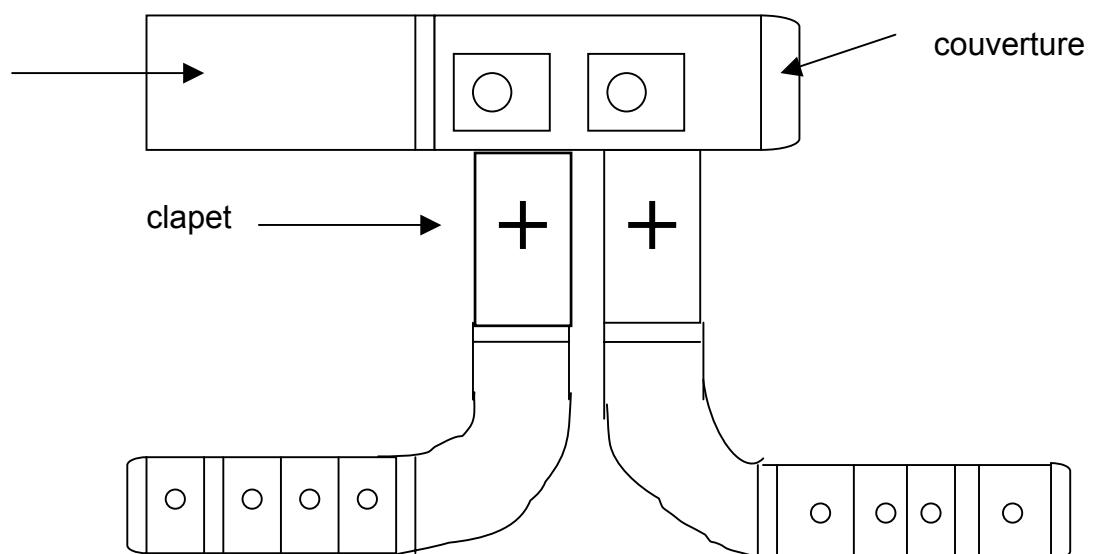
- Chambre de combustion étanche : les gaz de combustion sont évacués à l'extérieur par une cheminée prévue à cet effet ;
- Contrôle de flamme par photo résistance et appareillage ;
- Thermostat de sécurité pour surchauffe ;
- Solide structure métallique vernie avec poudres époxy ;
- Chaudière de combustion en acier inox ;
- Thermostat de refroidissement ;
- Interruption de sélection pour fonctionnement manuel ou automatique avec thermostat d'ambiance ;
- Adapté pour lieux fermés.

Caractéristiques techniques du générateur

- | | |
|-------------------------|------------------------|
| • Tension monophasée | 230 V/50 Hz |
| • Puissance du moteur | 245 W |
| • Combustible | gasoil |
| • Débit | 2,90 kg/h (=3,4l/h) |
| • Capacité du réservoir | 60 kg |
| • Puissance | 34 kW |
| • Air aspiré | 2300 m ³ /h |

Distribution d'air chaud dans les chambres du séchage

L'air chaud vient du capteur et chauffage



CONSTRUCTION DU SÉCHOIR HYBRIDE

Evaluation technique préliminaire

Objectif

Janvier 2003 : (i) évaluer un local disponible pour l'unité pilote de séchage des prunes et des figues; (ii) identifier des ateliers (menuiserie et électricité) à Bouadel ou Taounate et sélectionner des artisans locaux qui participeront à la fabrication et à l'installation du séchoir hybride.

Cette évaluation a été entreprise en étroite coopération avec la DPA de Taounate qui a alloué le local à l'association des femmes de Bouadel.

Evaluation du local disponible pour abriter l'unité pilote de séchoir hybride

Dimensions du bâtiment

Longueur : 14 m
Largeur : 8,20 m
Hauteur des murs du sud et du nord : 3,30 m
Hauteur au milieu du bâtiment : 5 m
L'orientation : nord/sud

Points positifs

- L'orientation nord/sud est idéale pour l'utilisation de l'énergie solaire;
- Une très grande salle, susceptible d'être sectionnée en salle de préparation, salle de séchage et salle d'emballage et de stockage ;
- Le mur et la toiture sont en bon état ;
- L'emplacement est favorable : pas d'égouts ouverts et pas d'eaux stagnantes, pas de route trop fréquentée à proximité, une cour propre couverte d'herbe, suffisamment d'espace pour se débarrasser des déchets, assez éloignée du bâtiment ;
- Ventilation et illumination (lumière du jour).

Points négatifs

- Le plancher à béton est cassé à plusieurs endroits, par conséquent il n'est pas approprié à la fabrication des produits alimentaires puisque difficile à nettoyer ;
- Le crépi et la peinture des murs intérieurs se détachent ;
- Le toit n'est plus étanche à plusieurs endroits ;
- Il n'y a pas d'eau potable propre, donc il y a la nécessité d'un traitement de l'eau.

Aménagements requis

- Recouvrir le plancher avec l'aire d'un matériel lavable (la pièce de préparation pourrait être carrelée) ;
- Mettre un enduit et peinture sur les murs intérieurs ;
- Crépir et peindre la façade ;
- Peindre les murs intérieurs: jusqu'à une hauteur de 1,10 m avec une peinture résistant au lavage, les sections les plus hautes avec de la couleur à l'huile ;
- Peindre les charpentes en fer ;
- Renouveler les lignes électriques, installation des prises (à une hauteur de 1,50 m) et des lampes ;
- Amélioration de la porte ;
- Équiper les fenêtres avec un cadre en fer plus moustiquaire ;
- Entourer le terrain d'une clôture ;
- Séparation de la salle en pièce de préparation (lavage, coupage, etc.), pièce de séchage et pièce de conditionnement ;
- Construction de la toilette et de la salle de bain avec deux lavabos ;
- Installation de 2 bassins de purification d'eau de lavage des produits;
- Construction des deux chambres de séchage.

Observation

Il est conseillé d'effectuer les travaux de transformation et d'équipement après l'installation du séchoir hybride pour éviter d'abîmer les murs et le plancher.

Identification des artisans pour effectuer le travail

Deux artisans ont été identifiés à Bouadel : Mrs LAMRI Mohamed et El Jouhani Hassan (maçons) et Mrs TAYEBI Rahid et Koubaiti Mohamed (techniciens/électriciens). Un atelier de menuisier équipé des machines a été identifié à Taounate. Le propriétaire, M. GHALLOUCH Ahmed, et son équipe sont à même de fabriquer les cadres en bois pour les claies et suivre la formation dans la fabrication et l'installation de séchoir hybride.

Spécification du séchoir hybride recommandé

En raison du climat de la région, le séchoir hybride proposé comprend un système de séchage solaire indirect combiné avec une source de chauffage de l'air supplémentaire fonctionnant la nuit et en temps faiblement ensoleillé.

La partie solaire comprend :

- Un capteur de l'air solaire (Surface du capteur: 18 m²);
- Des conduits d'air et éléments de raccord etc. ;
- Une chambre de séchage en brique pouvant accommoder 80 claies ;
- Système photovoltaïque pour génération de l'électricité : 6 PV modules (24 V, 100 W), 4 batteries solaires (12 V, 230 Ah chacune), 2 régulateurs (30 Ampère, 24V) et un transformateur pour convertir la production DC à AC (900 W, 12V DC to 220V AC) .

Le chauffage supplémentaire tel que décrit en page 10 :

Matériaux délivrés de Vienne, Autriche

- *Matériaux pour la construction du capteur d'air :*
 - 12 cadres en bois pour les 12 caisses, les absorbeurs laqués noir ;
 - 12 verres solaires (plus 1 remplacement) ;
 - 4 rouleaux de laine de verre pour l'isolation des caisses;
 - des lamelles d'aluminium ;
 - des conduits d'air chaud et éléments de raccord ;
 - autres matériaux d'installation (visses, etc.) ;
 - les filets en aluminium pour les claies du séchage (80 de 1 m x 0,5 m) et les visses de fixation;

- *Système photovoltaïque :*
 - 6 PV- module (ASE-100-GT-FT, 100 W, 24 V) ;
 - 2 régulateurs (1 réserve) (30 Amp.) ;
 - 1 transformateur (900 W, 24 V) ;
 - 4 batteries solaires (12 V 230 Ah) ;
 - câbles et pinces de batterie et
 - autres matériaux pour l'installation électrique.

- *Chauffage supplémentaire :*
 - Accessoires :
 - Conduit d'air chaud (355 mm, longueur: 6 m);
 - Thermostat ; thermomètres ;
 - Tuyau d'évacuation des fumées (150 mm, longueur: 3m).

Matériaux à préparer ou acheter sur place :

- Matériaux pour la construction de la chambre du séchage (brique, ciment, planche, plaque etc.) ;
- 80 cadres en bois (1,0 m x 0,5 m x 0,04 m longueur x largeur x hauteur) ;
- Acide pour les batteries.

Installation du séchoir et formation des artisans

Introduction

Le séchoir a été installé entre le 18 mai et le 15 juin 2003. Les activités suivantes ont été effectuées : (i) installation du séchoir hybride au groupement des femmes à Bouadel (Taounate) ; (ii) démonstration du séchoir hybride avec des légumes (tomates, aubergines) et des fruits (bananes) ; (iii) formation des formateurs et d'un groupe pilote de femmes entrepreneurs du groupement bénéficiaire ; (iv) préparation d'un guide pratique pour l'utilisation et l'entretien du séchoir.

Une unité de séchage hybride a été installée au site du groupement à Bouadel. 7 artisans ont été formés dans la fabrication, installation et entretien du séchoir. Ensuite le fonctionnement du séchoir a été démontré avec des tomates, des

aubergines et des bananes. 12 formateurs et formatrices du groupement ont été formés dans l'opération et dans l'entretien de l'unité, ainsi que dans le transport et le stockage des fruits frais, dans la préparation et le séchage. Malheureusement, l'essai du séchoir avec les produits principaux (prunes et figues) n'était pas effectué, à cause du manque de ces produits au marché pendant cette période.

Description et fonctionnement du système

Le séchoir hybride est composé d'un capteur d'air chaud d'une surface de 18 m², d'un système photovoltaïque produisant le courant électrique pour faire marcher le ventilateur et le chauffage supplémentaire, un chauffage utilisant du gasoil pour le fonctionnement la nuit et par temps faiblement ensoleillé et deux chambres de séchage, construites en dur.

Pendant les journées bien ensoleillées les absorbeurs peints en noir captent les rayons solaires à travers des verres. L'air ambiant chauffé est aspiré par le ventilateur du chauffage et refoulé dans le compartiment du séchoir à travers des conduits. Dès que la température baisse en temps nuageux et la nuit, un thermostat déclenche automatiquement le chauffage supplémentaire pour amener l'air à la température requise.

Installation du séchoir avec formation

Equipe de construction

- Deux menuisiers
- Deux électriciens
- Deux maçons
- Un taulier

Construction du capteur d'air

Matériel nécessaire

- Cadre en bois pour la fabrication de 12 caisses
- 32 traverses pour le renforcement des caisses
- 6 fonds sans trou et 6 avec trous pour la sortie de l'air chaud
- Laine de verre pour l'isolation
- 3 réglettes par caisse
- 2 rouleaux en toile aluminium
- 2 longs taquets et 1 petit pour le support des premiers absorbeurs en grillage par caisse
- 24 tôles aluminium perméables laquées en noir (1 absorbeur), une couche d'absorbeurs en grillage par caisse
- Feuilles alu collantes au niveau des 6 trous de sorties d'air
- 12 vitres (1 en réserve) pour la couverture des caisses
- Des barres en alu pour la fixation des vitres sur les caisses

- Protection des entrées d'air ambiante avec la tôle alu
- Grillage moustiquaire pour la protection contre la poussière (des insectes) des trous d'entrée d'air
- Deux traverses.

Assemblage du matériel

- Montage des 12 caisses du capteur avec la colle et des vis ;
- Peinture des caisses avec un produit de protection ;
- Découpage de la laine de verre en 20 morceaux de 53 cm et 15 de 57 cm ;
- Découpage de la toile alu en morceaux de 78 cm et peinture d'une face de la toile en noir mâte ;
- Isolation des caisses du capteur avec la laine de verre ;
- Montage de la toile alu (2ème absorbeur) sur les réglettes ;
- Montage de l'absorbeur N°1 sur les taquets ;
- Vissage du grillage moustiquaire sur les trous d'entrés d'air ;
- Vissage de la tôle de protection en bas de la traverse dans les trous d'entrés d'air ;
- Vissage des deux caisses identiques pour former deux conduits de courant de l'air.





Montage du capteur

Préparation de la toiture pour recevoir le capteur solaire ;



Vissage des deux caisses ;

Placement du capteur solaire sur le toit ;



Placement des vitres sur les caisses ;

Introduction du silicone entre les vitres et les barres.



Installation du système photovoltaïque

Composition

- 6 panneaux photovoltaïques
- Cadre en alu
- 4 batteries
- 2 régulateurs (1 en réserve)
- 1 convertisseur
- Fil (rouge et bleu)

Travaux de préparation

- La bâche des modules contre les rayons solaires ou la lumière avec des feuilles en plastique opaque ;
- Préparation des câbles (couper à longueur, isolation des deux extrémités, etc.) ;
- Préparation de la toiture du local pour l'emplacement des panneaux sur le toit.



Montage et installation électrique

- Assemblage des panneaux deux à deux ;
- Montage des plaques photovoltaïques sur le cadre d'aluminium ;
- Electrification des 6 plaques photovoltaïques en parallèle ;
- Placement des trois cadres sur le toit ;
- Installation électrique (voire schéma d'installation électrique en page 9): branchement des câbles de PV au régulateur, du consommateur et des batteries avec le convertisseur et remplissage des batteries avec l'acide.

Installation du chauffage supplémentaire

- Branchements électriques du générateur ;
- Branchement du thermostat et des thermomètres ;
- Branchement de l'interrupteur général ;
- Raccordement de la cheminée ;
- Montage des conduits d'air chaud et de la cheminée.



Construction des chambres de séchage



La construction des chambres de séchage en brique a été faite par un artisan local selon le dessin fourni.

- Fabrication des cadres en bois pour les claies du séchage ;
- Préparation des plaques pour le cloisonnement du séchoir en compartiments ;
- Vissage des étagères en bois aux cloisons ;
- Préparation des trous d'entrée et de sortie d'air ;
- Séparation du séchoir avec les plaques préparées ;
- Raccordement du conduit de la distribution d'air chaud dans les chambres de séchage.

Construction des claies de séchage

Composition

- Cadres en bois (100 x 50 x 4 cm - longueur x largeur x hauteur) ;
- 80 tôles en aluminium perforé ;
- Lamelles en bois.

Montage

- Assemblage des cadres en bois avec la colle SADER et des vis ;
- Vissage de la tôle en aluminium perforé à la base du cadre du bois ;
- Vissage des lamelles en bois dans les deux longs côtés du cadre ;
- Rabotage des cadres.



Test de démonstration du fonctionnement du séchoir hybride

Le fonctionnement du séchoir hybride a été démontré en utilisant bananes, tomates et aubergines achetées sur le marché de Rabat et transportées en caisses au site du travail à Bouadel.

Après triage et lavage, les produits ont été pelés (aubergines et bananes) et coupés en tranches minces qui ont été disposées sur les claies à la densité de charge de 4-5 kg/m².

Pour la tomate, le séchage a été arrêté après 15 heures en utilisant le chauffage supplémentaire (les claies ont été chargées à 17 heures) pour réduire d'avantage la teneur en eau des produits à sécher. Le séchage a été complété le lendemain.

Pour les aubergines et les bananes la durée du séchage était de 12 heures.

Les produits séchés ont été emballés dans des sacs en plastique.



Formation des techniciens et formatrices



Trois techniciens et 10 femmes ont été formés sur:

- L'objet et la méthode du séchage
- La technologie améliorée du séchage
- La description et composition détaillée du séchoir hybride
- Le fonctionnement du séchoir hybride
- L'entretien des différentes composantes du séchoir hybride: le chauffage supplémentaire, les batteries et les cellules photovoltaïques, les collecteurs solaires, etc.



Formation théorique

- Les techniques de traitement
- Manipulation des produits alimentaires frais
- Transport et stockage des produits alimentaires frais
- Nettoyage et sélection de la matière première
- Mécanisme du séchage
- Emballage des légumes séchées
- Fonctionnement et mode d'opération du séchoir hybride.

Formation pratique (voire test du séchoir)

La formation pratique a été effectuée en utilisant les bananes, tomates et aubergines. L'accent a été mis sur le transport et la sélection, la préparation (nettoyage, pelage et découpage) de la matière première aussi bien que sur l'arrangement des produits sur les claies.

De même il a été souligné l'importance de l'organisation du travail pour l'utilisation optimale des radiations solaires et la réduction des coûts d'exploitation.

Un autre élément essentiel de la formation était le mode de l'opération du séchoir (la mise en marche du système, chargement du séchoir, etc.).

UTILISATION DU SÉCHOIR HYBRIDE

Fonctionnement du séchoir

Pendant les journées bien ensoleillées les absorbeurs peints en noir captent les rayons solaires à travers les vitres. L'air ambiant aspiré et chauffé à travers les absorbeurs est refoulé dans le compartiment du séchoir à travers des conduits étanches. En cas de baisse de température, le thermostat déclenche la marche du chauffage supplémentaire qui chauffe l'air et ramène la température de l'air au niveau requis.

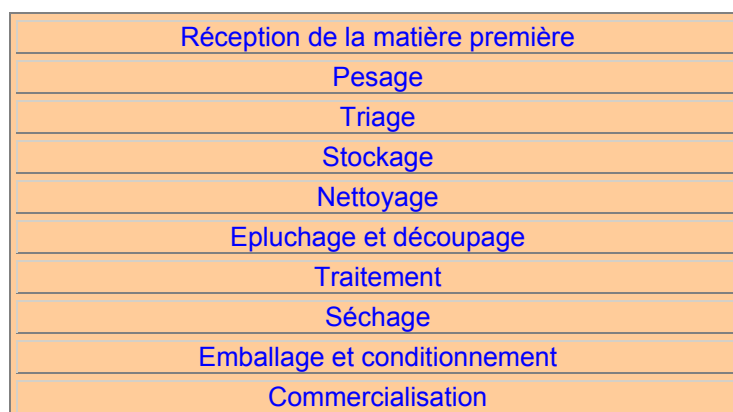
La nuit et en temps nuageux, l'air chaud est fourni par combustion indirecte de gasoil dans le générateur d'air chaud. La température de l'air est réglée à l'aide d'un thermostat.

Combinaison des différentes sources d'énergie :

- **Energie solaire** : Permet de chauffer l'air par le biais du capteur et de générer du courant électrique par le biais du système photovoltaïque et d'opérer le système de chauffage supplémentaire.
- **Gasoil** : Combustible pour le chauffage supplémentaire.
- **Électricité** : Pour opérer le chauffage supplémentaire en cas de défaillance du système photovoltaïque.

Traitement des produits

Diagramme général du traitement de fruits et légumes en produits séchés



Manipulation des produits alimentaires frais

On ne peut obtenir des produits séchés de bonne qualité qu'à partir des matières premières fraîches, récoltées à maturité et dans des conditions appropriées. On ne

peut pas utiliser les rebuts des récoltes ou du marché ou des produits stockés pendant une longue période.

Les Bonnes Pratiques de Fabrication doivent être appliquées au niveau de la récolte, pendant le transport et le stockage. Les produits doivent être cueillis ou récoltés avec précautions et transportés en caisse ou paniers propres, peu profonds et pas trop chargés pour éviter l'écrasement et toute contamination/souillure. Les produits frais destinés au séchage doivent être gardés à l'ombre ou au froid.

Nettoyage

L'objectif est de nettoyer et désinfecter les produits (salissures/souillures externes, insectes, résidus de pesticides, et autres produits de contamination). Le nettoyage et la désinfection permettent de prolonger l'état de fraîcheur et de ralentir la dégradation des produits.

Triage de la matière première

Cette opération, si bien menée, est très importante pour assurer une haute qualité des produits séchés. Une matière première bien triée (homogène) facilite les opérations ultérieures (pelage, coupage, séchage, conditionnement et commercialisation). Les facteurs considérés dans le triage sont la taille, la forme, les atteintes à l'intégrité, la couleur, la texture, les traces de parasitisme ou d'infestation par les insectes.

Epluchage

L'objet de cette étape est d'enlever la peau épaisse qui forme une barrière physique pour l'évaporation de l'eau. Dans quelques cas l'épluchage n'est pas nécessaire (exemples : prunes, figues et raisins pour les fruits, tomates et poivrons pour les légumes).

Enlèvement des pédoncules et des noyaux

L'objet de cette opération est d'enlever toute partie indésirable. Dans le cas des légumes avec racine, les sommets verts et les racines longues devraient être enlevées. Avec les légumes verts toute la tige boisée et le cœur devraient être enlevés. Dans le cas des fruits les pédoncules qui attachent le fruit à la tige devraient être coupés à ras.

Coupage/tranchage

A moins que le légume ou le fruit (figue, prune, raisin, etc.) ne puisse pas être séché entièrement, il est nécessaire de réduire sa dimension pour faciliter le séchage. Selon la forme exigée par le marché, les légumes peuvent être coupés en cubes, en tranches, en lanières, etc. Dans tous les cas les morceaux doivent être de dimension homogène.

Blanchiment

Le blanchiment consiste à tremper les produits dans de l'eau chaude (à une température de 70 à 90%) additionnée éventuellement d'un désinfectant autorisé. Cette opération permet :

- De désactiver les enzymes qui produisent odeurs et saveurs lors du stockage;
- De ramollir les tissus et de rendre les membranes cellulaires perméables aux transferts de l'humidité. Le séchage est donc plus rapide et complet et la texture du produit est améliorée quand le produit blanchi est séché et réhydraté ;
- D'assurer la destruction des micro-organismes à la surface des produits;
- De contribuer à une meilleure conservation de la couleur des légumes verts.

Disposition des produits sur les claies de séchage

L'arrangement adéquat des produits sur les claies joue un rôle important dans le processus du séchage. Les produits ou les morceaux des produits doivent être disposés côte à côte pour permettre le mouvement d'air chaud.

Mécanisme du séchage

Il y a deux phénomènes impliqués dans le processus du séchage: l'évaporation d'humidité de la surface et la migration d'humidité de l'intérieur du produit vers sa surface.

Évaporation d'humidité de la surface

Les facteurs qui affectent l'enlèvement d'humidité de la surface sont la température et l'humidité de l'air ainsi que le degré de mouvement d'air sur la surface.

Température et humidité de l'air du séchage

L'humidité est le degré de saturation de l'air en eau. L'air très sec (donc très peu humide) aura une plus grande capacité à enlever l'humidité de la surface du produit. Le degré d'humidité (RH) de l'air très sec tend vers 0%, celui de l'air très humide tend vers 100%.

Une augmentation de la température de l'air augmente parallèlement sa capacité à enlever l'humidité et donc sa capacité de séchage. Les très hautes températures entraînent une altération des produits séchés et doivent donc être évitées.

L'humidité théorique est fonction de la température (voire tableau ci-dessous)

Temp. °C	RH	L'humidité (g) enlevée par kg d'air sec
29	90	0.6
30	50	7.0
40	28	14.5
50	15	24.0

Degré du mouvement de l'air

Le courant d'air sur la surface de la particule est aussi d'une grande signification : il transfère la chaleur à la surface de la particule de séchage et enlève l'humidité de la surface. L'humidité enlevée du produit passe dans l'air environnant dont l'humidité augmente et réduit sa capacité à enlever l'humidité. L'équilibre entre la surface du produit et l'air environnant est atteint lorsque aucune évaporation supplémentaire n'est possible, à moins que l'air qui entoure le produit ne soit remplacé par l'air frais, comparativement sec.

La migration de l'humidité

La migration d'humidité de la structure interne à la surface du produit est assurée par deux mécanismes principaux. Ce sont la diffusion et le courant du capillaire. Les facteurs qui affectent le taux de migration de l'humidité sont la température de surface du produit à séchage, son taux d'humidité et sa taille. Plus la température de surface est élevée, plus le degré de transfert de l'humidité de l'intérieur vers la surface, est élevé. Plus le taux d'humidité du produit diminue, plus le taux de migration de l'humidité de l'intérieur vers l'extérieur du produit diminue. Le taux de migration augmente quand la taille du produit diminue.

Emballage et conditionnement des produits séchés

L'emballage et le conditionnement des produits permettent :

- De contenir le produit et de faciliter son transport, stockage et commercialisation et distribution ;
- De protéger le produit contre toute souillure ou contamination et de conserver ses attributs exigés jusqu'au consommateur en respectant la date limite de validité (DLV) ;
- D'apposer un étiquetage permettant de communiquer toute l'information au sujet du produit tel que sa nature, son origine, la méthode d'usage, la quantité, la destination, et le nom du producteur en tenant compte de la législation et la norme en vigueur.

MODE D'OPERATION DU SÉCHOIR HYBRIDE

Comment utiliser l'air du capteur solaire

COMMANDE DU VENTILATEUR DU GENERATEUR

Procédez de la manière suivante :

1. Vérifier les clapets derrière la chambre du séchage ;
2. Mettre l'interrupteur général sur la position 2 (PV) ;
3. Positionner le bouton 1 sur le chauffage supplémentaire (commutateur Eté – Hiver) sur la position « INVERNO ».

Comment utiliser l'air du chauffage supplémentaire

COMMANDE DU CHAUFFAGE

Température de l'air : 60 – 65 °C (réglée par le thermostat)

Les opérations à exécuter avant la mise en marche du chauffage :

1. Mettre l'interrupteur général en position 1 (électricité) ;
2. Régler le thermostat ;
3. Vérifier le réservoir ; remplir s'il est vide ;
4. Mettre l'interrupteur général sur la position 2 (courant électrique) ;
5. Positionner le bouton 1 sur le chauffage supplémentaire (commutateur Eté – Hiver) sur la position « ESTATE ».

Arrêt de l'appareil

1. Positionner le thermostat d'ambiance sur la valeur minimale (contact ouvert) et attendre que le ventilateur s'arrête ;
2. Positionner le bouton 1 du chauffage supplémentaire (commutateur Eté – Hiver) sur la position 0 (OFF) ;
3. Mettre l'interrupteur général sur la position 0 (arrêt).

T ABLEAU RÉCAPITULATIF DES CARACTÉRISTIQUES DU SÉCHOIR HYBRIDE

Article	Unité / Description	Quantité / unité
1. Capteur d'air		
Cadres en bois	L x L x H = 203x77.3x23.5cm	12
L'aluminium perméable (1. Absorbeur)	LD0 10x5x1.5xD.1.5/ALU	10 tôles
Verre solaire	0.75 m x 2.0 m, 4mm ESG	13 pièces
Lamelle d'aluminium	ALMGIO5 F22 FL 40/5	10 barreaux
Laque solaire	M40 Li	15 kg
Feuille d'aluminium imperméable	ALU 0.10 mm, 1000 mm	4 rouleaux
Laine du verre	120x19x8 cm	4 rouleaux
Conduits d'air en spirale	Ø 200, 250 et 315 mm	1, 5 et 3 m
Tuyau en Alufle	Ø 205 et 254 mm	à 10 m
Attache pour les conduits	125-160, 180-203, 250-525 mm	2 et 3 m
<i>Autres matériaux d'installation :</i>		
Silicone	Silicone pour verre, blanc	5 cartouches
Vis à écrou		10 paquets
Joint en caoutchouc	PE-	2 rouleaux
Joint en U-profil		25 m
2. Chambre de séchage / Claies		
Aluminium tôle perforé	2 x 1 m, 1.0 mm/5 QU	24 tôles
3. Système Photovoltaïque		
PV-module	SM 110 (104 W, 24 V)	6 modules
Régulateur	30 Amp.	2
Invertisseur	900 W	1
Batterie solaire	12 V, 230 Ah	4
Câbles et pinces de batterie	rouge et noir	à 20 m
<i>Matériaux pour l'installation électrique :</i>		
Batterie Pol connexion		40 m
Boîtier de connexion		4 paires
		3
4. Chauffage supplémentaire		
Pegasus 35	32 kW	1
<i>Accessoires :</i>		
Canal d'air chaud	Ø 355 mm	12 m
Tuyau d'évacuation des fumées	Ø 150 mm	3 m
Thermostat d'ambiance	0-100° C	1
Thermomètres	0-100° C	2