

REPUBLIQUE DU SENEGAL

Un Peuple – Un But – Une Foi

Université Cheikh Anta DIOP de Dakar

École Supérieure Polytechnique



Laboratoire Eau-Énergie-Environnement-Procédés Industriels (LE3PI)

Convention relative aux subventions locales

N° de la convention : 83357007

Contribution à la création d'un écosystème favorable au développement d'activités productives s'appuyant sur la formation, la recherche et le soutien technique des différents acteurs

N° Projet :15.2217.6-001.00

Rapport Final sujet 3

Octobre 2021

SUJET DE RECHERCHE 3 :

Amélioration des performances des équipements productifs par la recherche du protocole d'usage optimal : Application au séchoir solaire

Travail réalisé par Soumaïla TIGAMPO sous la supervision de :

Mamadou Lamine NDIAYE, Mouhamadou Falilou NDIAYE et Vincent SAMBOU

GIZ-P.E.D.

giz Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

PED

Programmes-Energies-Durables

Table des matières

Liste des tableaux	3
Liste des figures	3
INTRODUCTION.....	4
1. MATERIELS ET METHODES	4
1.1. Analyse d'efficacité	5
1.2. Formulation mathématique des courbes de séchage	5
1.3. L'image du brûleur et les références par 1/4 de tour par rapport à l'axe du brûleur	6
1.4. Détermination du débit massique de gaz de butane consommé	6
2. RESULTATS EXPERIMENTAUX OBTENUS	7
2.1. Résultats de l'efficacité thermique du capteur solaire	7
2.2. Résultats de la caractérisation thermique du séchoir	8
2.2.1. Tests du mode d'opération pour l'utilisation du gaz	8
2.2.2. Résultats des Tests à vide du séchoir solaire	9
2.2.3. Résultats des Tests en charges du séchoir solaire hybride	11
2.2.3. Evaluation du coût de séchage en mode gaz	13
2.3. Les protocoles d'usage optimal en fonction de produits d'identifié.	13
2.3.1. Le séchoir solaire hybride (solaire/gaz) :	13
2.3.2. Références	14
2.3.3. Maintenance.....	14
2.3.4. Niveau technique	14
2.3.5. Caractéristiques techniques	14
3. RECOMMANDATIONS EN VUE D'AMÉLIORER LES PERFORMANCES DU SÉCHOIR.	15
CONCLUSION GENERALE	17

Liste des tableaux

Tableau 1 : Conditions climatiques extérieures de la journée du 11 Août 2021 de 8h00mn à 19h00mn.....	7
Tableau 2 : Les paramètres physiques pour le calcul de l'efficacité du capteur solaire	8
Tableau 3 : Mode d'utilisation du gaz dans la chambre de combustion	8
Tableau 4 : Résultats du séchoir solaire à vide	10
Tableau 5 : Résultats du séchoir solaire en charge	11
Tableau 6 : Les avantages est les inconvénients des séchoir solaire hybride (solaire/gaz)	15
Tableau 7 : Les recommandations préconisées	16

Liste des figures

Figure.1 . Photographie du séchoir solaire suivant ces modes de séchage	5
Figure.2. Brûleur à gaz et les références d'utilisation	6
Figure.3. Détermination du débit massique et l'affichage du thermostat.....	7
Figure.4. Fissures des vitres	9
Figure.5. Roulage et granulation effectué manuellement par des femmes.....	13
Figure.6. Le produit final d'arrow après séchage	13

INTRODUCTION

Les séchoirs solaires constituent un des équipements productifs les plus utilisés pour accompagner la conservation des produits agricoles. Ils permettent d'alléger le travail domestiques des femmes, de gagner du temps, de développer des activités génératrices de revenus et de contribuer au développement du milieu rural. Au Sénégal il existe plusieurs typologies de séchoir et de fabricants. Les équipements sont de caractéristiques différentes et de mode d'utilisations variées suivant le produit à sécher. L'absence de données techniques constructeurs est constaté sur plusieurs équipements de fabrication locale et en particulier le temps de séchage en fonction des produits et la qualité des produits séchés. Les différents problèmes identifiés autour du séchoir sont : le manque d'expertise pour la fabrication et la maintenance, l'absence de fiche technique, l'absence de standardisation, l'absence de protocole d'utilisation rend difficile son exploitation.

C'est dans ce contexte que s'inscrit ce travail, dont l'objectif principal est la contribution de l'ESP à l'amélioration des performances des équipements productifs.

Ce travail sera structuré autour de ces objectifs spécifiques que sont :

- a. Faire la caractérisation thermique du séchoir.
- b. Etudier les protocoles d'usage optimal en fonction de différents produits d'identifié.
- c. Proposer des recommandations en vue d'améliorer les performances du séchoir.

1. MATERIELS ET METHODES

L'étude expérimentale a été réalisée sur un séchoir solaire hybride installé à l'Ecole Supérieure Polytechnique de Dakar, au Sénégal. Le site est une région subtropicale située à l'extrême Ouest de l'Afrique de latitude $14^{\circ} 41'37$ N et de longitude $-17^{\circ}26'38$ O. Les températures moyennes mensuelles varient entre 25°C et 31°C . En effet, Dakar, capitale du Sénégal bénéficie d'une période d'irradiation solaire globale horizontale moyenne variant de 5.6 kWh/m^2 à 6 kWh/m^2 avec une durée d'ensoleillement moyenne quotidienne de 10 heures.

Dans ce travail, un séchoir solaire de type hybride (solaire/gaz) en mode de convection forcée a été utilisé. Il est composé de trois éléments principaux : un capteur solaire ou l'air ambiant est préchauffé, une chambre de combustion pour hybridation (gaz) et la chambre de séchage. La vue photographique du séchoir solaire est présentée à la figure 1. Ce système de séchage à une capacité de charge avec une surface totale de séchage de $7,84\text{ m}^2$.



Figure.1 . Photographie du séchoir solaire suivant ces modes de séchage

1.1. Analyse d'efficacité

L'analyse de l'efficacité d'un capteur solaire est le rapport entre la chaleur utile et le rayonnement solaire incident sur le plan du capteur. Elle s'exprime sous la forme comme suit :

$$\eta = \frac{\dot{m}C_p(T_s - T_e)}{I_c A_c} \quad (1)$$

Avec \dot{m} est le débit massique d'air à l'instant t , C_p est la chaleur spécifique de l'air (1004 J/kgK), T_s et T_e sont la température de sortie et d'entrée de l'air du capteur (°C), I_c le rayonnement solaire global incident sur le plan du capteur (w/m²) et A_c est la surface du capteur solaire (m²).

1.2. Formulation mathématique des courbes de séchage

Pour un produit donné, on peut déterminer la teneur en eau (X_t) et la teneur en eau réduite ou le taux d'humidité (X_R) à chaque instant à partir des formules suivantes :

$$X_t = \frac{m_t - m_s}{m_s} \quad (2)$$

$$X_R = \frac{X_t - X_{eq}}{X_0 - X_{eq}} \quad (3)$$

Où m_t et m_s représentent respectivement la masse à chaque instant et la masse du produit sèche. X_t est la teneur en eau à chaque instant t , X_0 et X_{eq} représentent respectivement la teneur en eau initiale et la teneur en eau d'équilibre du produit en base sèche. Cependant X_{eq} est relativement petit comparé à X_t et à X_0 , l'expression de X_R peut être réduite :

$$X_R = \frac{X_t}{X_0} \quad (4)$$

Le taux ou vitesse de séchage pendant l'expérience est traduit par :

$$j = \frac{dX}{dt} = \frac{X_t - X_{t+\Delta t}}{\Delta t} \quad (5)$$

Où $X_{t+\Delta t}$ est la teneur en eau à l'instant $t + \Delta t$.

1.3. L'image du brûleur et les références par 1/4 de tour par rapport à l'axe du brûleur

Pour jouer sur l'ouverture du gaz, nous avons référencié l'allumage par des quarts de tours sur l'axe du brûleur comme on peut le voir sur la figure 2. Ce qui nous a permis de jouer sur le débit d'ouverture car le système n'est pas doté d'un débitmètre. Les résultats de ce mode opératoire sont sur le tableau 3.



Figure.2. Brûleur à gaz et les références d'utilisation

1.4. Détermination du débit massique de gaz de butane consommé

Pour connaître la masse de butane consommée, on pèse avant et après l'utilisation du gaz. Ainsi le débit massique consommé après l'utilisation peut être calculé par la masse consommée sur la durée d'utilisation :

$$\dot{Q}_m = \frac{m}{t} \quad (6)$$



Figure.3. Détermination du débit massique et l’affichage du thermostat

2. RESULTATS EXPERIMENTAUX OBTENUS

2.1. Résultats de l’efficacité thermique du capteur solaire

Ces résultats sur le capteur solaire sont des mesures effectuées dans la journée du 11 août 2021. Les variations des conditions climatiques extérieures sont données sur le tableau 1 avec des valeurs minimales, maximales et moyennes journalière.

Tableau 1 : Conditions climatiques extérieures de la journée de 8h00mn à 19h00mn

Données	Minimales	Maximales	Moyennes
E_g-h	144,8 W/m ²	961 W/m ²	628 W/m ²
Temp_ambiante-ext	27,53 °C	31,78 °C	30,05 °C
R_H-ext	63,86 %	80,8 %	71,2 %

Notations :

E_g-h : Ensoleillement global sur le plan horizontal,

Temp_ambiante-ext : Température de l’air ambiante extérieure,

R_H-ext : Humidité relative de l’air extérieur.

L’efficacité du capteur solaire varie de 43,58% à 9h00mn pour augmenter à son maximum de 63,74% à 13h00mn et ensuite diminuer à 26,76% à 17h00mn. Elle commence à diminuer après avoir atteint son maximum malgré l’augmentation de l’ensoleillement. Cette diminution du

rendement est liée à la limite de température du capteur solaire et aux pertes de chaleur. On voit bien que cette efficacité est non seulement fonction de l'irradiation sur le plan du capteur mais aussi au débit d'air entrant dans le capteur fonctionnant avec le système PV (voir le tableau 2). Le rendement moyen journalier est de 45,4% pour la journée typique du 11 août.

Tableau 2 : Les paramètres physiques pour le calcul de l'efficacité du capteur solaire

Temps (h)	Débit massique	Irradiation sur le plan du capteur de 15°	Rendement du Capteur (%)
09h00mn	0,02420775	365,1866	43,585438
10h00mn	0,0259329	609,76	46,492708
11h00mn	0,02821455	822,1104	50,460358
12h00mn	0,02888235	970,5052	51,755538
13h00mn	0,0307188	1037,1	63,747735
14h00mn	0,0237069	1014,5	45,998092
15h00mn	0,0237069	905,1564	44,837602
16h00mn	0,0203679	721,5784	34,946801
17h00mn	0,0190323	487,8986	26,764756

2.2. Résultats de la caractérisation thermique du séchoir

2.2.1. Tests du mode d'opération pour l'utilisation du gaz

Le tableau 3 suivant nous renseigne sur les différents modes d'utilisation du gaz et les problèmes rencontrés avec des propositions de solutions.

Tableau 3 : Mode d'utilisation du gaz dans la chambre de combustion

Allumage du gaz est divisé en 4 parties pour effectuer un tour complet (figure 2)	Essai avec 1/4 de tour	Essai avec 2/4 de tours	Essai avec 3/4 de tours	Essai avec 1 de tours complet
Condition d'utilisation	Adopter pour les essais (des périodes de faible vent)	Si le débit du gaz devient faible (le gaz commence à finir)	En des périodes de fort vent extérieur	En des périodes de fort vent extérieur

Température moyenne sur le diffuseur	≈ 60 et 70 °C	≈ 60 et 70 °C	≈ 74,407 °C	≈ 82,527 °C
Température moyenne à l'intérieur	≈ 60 °C	≈ 60 °C	≈ 70 °C	≈ 77,33 °C
Problèmes	-Le brûleur s'éteint à des vents extérieurs forts -Température très élevée pour un tour complet d'allumage du gaz -Fissure des vitres au niveau de la chambre de combustion (figure 4) risque d'accident			
Solutions	-Bien construire la chambre de combustion -Vérifier constamment la température de l'intérieur afficher par le thermostat exemple ne pas dépasser 70°C (figure 3)			
Améliorations	La chambre de combustion à améliorer avec réduction des vitres pour éviter les accidents et aussi l'utilisation des matériaux comme brique de terre cuite pour éviter les pertes vers l'extérieur.			

Les images des fissures observées sur les vitres sont représentées sur la figure 4. Pour un premier test, nous avons effectué un tour complet à l'allumage du brûleur. Après 4h de fonctionnement, il apparait des fissures sur les vitres de la chambre de combustion. Cela peut s'expliquer soit par la détente des surplus de chaleur dans la chambre de combustion, soit l'espacement réduit entre le brûleur et les vitres.



Figure.4. Fissures des vitres

2.2.2. Résultats des Tests à vide du séchoir solaire

- ❖ Deux modes d'utilisation du séchoir ont été étudiés sur cette partie (voir figure 1) :
 - a. Séchoir solaire direct
 - b. Séchoir solaire indirect

Sur le tableau 4, nous présentons les résultats de la caractérisation thermique du séchoir suivant son mode d'utilisation direct ou indirect. Ces résultats ont été classifiés en fonction des modes d'utilisations d'énergie solaire.

Tableau 4 : Résultats du séchoir solaire à vide

<i>Operations</i>	<i>Mode solaire</i>	<i>Mode gaz (nocturne)</i>	<i>Mode hybride (solaire/gaz)</i>
Paramètres d'entrée (du mois de Mars au mois d'Août 2021)	E _{g-h_moy} = 595,84 - 433 W/m ² Temp_amb-ext_moy = 24,50 °C - 29 °C R _{H-ext_moy} = 63,42 - 79,65 %	E _{g-h_moy} = 0 W/m ² (nuit) Temp_amb-ext_moy = 29 °C - 25 °C R _{H-ext_moy} = 80 - 97,5 %	E _{g-h_moy} = 595,84 - 433 W/m ² Temp_amb-ext_moy = 24,50 °C - 29 °C R _{H-ext_moy} = 63,42 - 79,65 %
Résultats : (Température moyenne à l'intérieure du séchoir)	En mode direct : température moyenne est entre 40 -50 °C. En mode indirect : Ici seul le capteur solaire est la seule source d'apport de chaleur. Température moyenne entre 38,43 - 43 °C	Température moyenne est entre 30 - 47 °C qui est moins élevée dû au refroidissement des parois par l'air extérieur pendant la nuit	En mode direct : température moyenne est entre 60 -70 °C. En mode indirect : Ici le capteur solaire et l'appoint du gaz sont les sources de chaleur. Température moyenne est = 60 °C
Consommation du gaz (en débit massique)	-----	En mode direct : $\dot{Q}_m = 0,21$ kg/h en 12h	En mode direct : $\dot{Q}_m = 0,208$ kg/h en 8h En mode indirect : $\dot{Q}_m = 0,17$ kg/h en 8h30

Observations	<ul style="list-style-type: none"> - Un gain d'apport supplément de température $\geq 5^{\circ}\text{C}$ sont trouvés mode d'utilisation direct du séchoir. - Pas d'apport de température en mode d'utilisation indirect 	<ul style="list-style-type: none"> -Manque de débit d'air de renouvellement -Condensation des gouttelettes d'eau sur les parois -Non adéquat pour le séchage nocturne 	<ul style="list-style-type: none"> - Un gain d'apport solaire permettant de maintenir la température est = $24,66^{\circ}\text{C}$.
---------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

2.2.3. Résultats des Tests en charges du séchoir solaire hybride

Les tests de séchage du produit de granulé de la farine de mil (*pennisetum glaucum*) appelé "arraw" ont été effectués sur le séchoir solaire. Trois tests avec différentes masses de arraw, suivant différente période (jours et nuit) (voir figure 1) et différente mode d'utilisation (mode solaire, mode gaz et mode hybride) ont été effectués. Tous les tests en charge ont été effectués sur le séchoir solaire en mode direct.

Tableau 5 : Résultats du séchoir solaire en charge

Opérations	Test en charge 1	Test en charge 2	Test en charge 3
Mode d'utilisation du séchoir	Mode solaire	Début : mode gaz et la fin : mode mixte (gaz + solaire)	Mode solaire
Masse du produit au départ du séchage	7 kg	7 kg	14 kg
Masse du produit à la fin du séchage	4,431 kg	4,18886 kg	7,93831 kg
Temps de séchage	9 heures	14 heures	12 heures
Teneur en eau finale souhaitée	5,2% (g d'eau/g de matière sèche)	5% (g d'eau/g de matière sèche)	16% (g d'eau/g de matière sèche)
Irradiation solaire horizontale globale	97,3 W/m ² au début de la journée ensuite croit à 957 W/m ² et enfin	245,7 W/m ² au début de la journée ensuite croit à 888 W/m ² et enfin diminue	54,79 W/m ² au début de la journée ensuite croit à 954 W/m ² et enfin diminue

	diminue jusqu'à 35,59 W/m ² le soir	jusqu'à 47,93 W/m ² le soir	jusqu'à 32,23 W/m ² le soir
Température ambiante de l'air	23 °C au début de la journée, croit à un maximum de 28,11 °C et enfin diminue le soir à 23,69 °C	26,51 °C au début de la journée, croit à un maximum de 30,56 °C et enfin diminue le soir à 26,45 °C	27,73 °C au début de la journée, croit à un maximum de 30,89 °C et enfin diminue le soir à 25,36 °C
Humidité de l'air extérieur	87 % au début de la journée pour ensuite diminuer jusqu'à 61,17 % et augmenter à 82,1 % le soir	86,4 % au début de la journée pour ensuite diminuer jusqu'à 67,82 % et augmenter à 85,5 % le soir	90,4 % au début de la journée pour ensuite diminuer jusqu'à 78,9 % et augmenter à 82 % le soir
Température moyenne à l'intérieur du séchoir	La température moyenne maximale à l'intérieure du séchoir est 39,058 °C	La température moyenne maximale en mode gaz seulement est de 37,7 °C et au lever du soleil un maximale de 60 °C est trouvé à l'intérieur	La température moyenne maximale à l'intérieure du séchoir est 45,5 °C
Consommation en gaz (débit massique)	Pas de consommation	$\dot{Q}_m = 0,179$ kg/h pour 14h20mn de fonctionnement	Pas de consommation
Observations ou problèmes rencontrés	<ul style="list-style-type: none"> - L'efficacité du capteur est réduite par des dépôts de poussières sur la vitre. Un nettoyage fréquent est recommandé dans les zones poussiéreuses - Le séchage en mode gaz pendant la nuit est moins avantageux car le débit d'air convectif étant faible et on remarque la condensation des gouttelettes eau au niveau des parois d'où l'augmentation de l'humidité à l'intérieur. - Fissures des vitres au niveau de la chambre de combustion qui peuvent entraîner des accidents. 		
Solutions préconisées	<ul style="list-style-type: none"> -Pour éviter les accidents au niveaux de la chambre de combustion, les vitres seront remplacées par des briques, ensuite isoler les zones et par contre réduire les pertes. -Le séchage nocturne peut assurer la continuité d'un séchage solaire pour que les produits ne réabsorbent pas de l'humidité pendant la nuit. 		

L'enroulement et granulation de la farine de mil est une opération souvent manuelle effectuée par des femmes. L'image du mode opératoire pour l'enroulement du produit à l'état initial et à l'état finale est représentée sur la figure 5 et 6. Le choix des granulés de mil est fonction du contexte géographique car il constitue une des alimentations de base des Sénégalais.



Figure.5. Roulage et granulation effectué manuellement par des femmes



Figure.6. Le produit final d'arraw après séchage

2.2.3. Evaluation du coût de séchage en mode gaz

Evaluation du prix de la consommation du gaz en fonction de la quantité de produit séché (tableau 6).

Tableau 6 : Evaluation du coût de séchage en mode gaz

Consommation du gaz	Prix
6,69 kg est le contenant d'une bouteille de gaz pleine de butane	2800 Fcfa
Une consommation de 2,59 kg pour un temps de fonctionnement 14h20mn pour sécher 4,18886 kg de produit sec	1085 Fcfa
450 g de arraw sec coût	650 Fcfa
4188,86 g de arraw produit	6050 Fcfa

2.3. Les protocoles d'usage optimal en fonction de produits d'identifié.

2.3.1. Le séchoir solaire hybride (solaire/gaz) :

- Contribution à la création d'un écosystème favorable au développement d'activités productives s'appuyant sur la formation, la recherche et le soutien technique des différents acteurs.
- Coût : élevé
- Etude d'expertise : par un spécialiste

2.3.2. Références

Lieu : Ecole Supérieure Polytechnique/Dakar/Sénégal

Produits séchés : granulé de mil (arraw)

Capacité : test de 7 kg, 7 kg et 14 de produits frais de granulé de la poudre de mil

2.3.3. Maintenance : mineur sur les systèmes PV pour l'alimentation des ventilos et nettoyage fréquent des vitres

2.3.4. Niveau technique : une petite formation

2.3.5. Caractéristiques techniques

- **Principe** : un séchoir solaire hybride en mode mixte de convection forcée. Un capteur solaire, alimenté par deux ventilos qui permet de souffler l'air chaud à travers le séchoir. Une chambre de combustion pour un brûleur à gaz si la température est insuffisante (hybridation) et la chambre de séchage où les produits sont étalés.
- **Matériaux de construction** : le séchoir est constitué d'une structure en aluminium et des vitres, le capteur solaire est fait en d'acier, des isolants thermique, vitres et la chambre de combustion est construit de briques en béton, ensemble brûleur gaz, diffuseur, système photovoltaïque, batterie et ventilos pour la convection forcée de l'air.
- **Description technique** : la circulation de l'air se fait par convection forcée du capteur solaire à l'intérieur du séchoir. Le brûleur à gaz permet d'obtenir la température nécessaire pour sécher correctement les produits quelles que soient les conditions climatiques.

Un séchage hybride (gaz) sur claies sous forme d'armoire et bien ventilées est parfois intéressant à coupler à un séchage solaire de finition.

- En effet le début du séchage est marqué par une élimination rapide d'une grande quantité d'eau pour éviter les altérations du produit. Un séchage hybride (gaz) utilisant les vents dominants est plus efficace qu'un séchage solaire car le gaz monte rapidement en température ce qui permet d'éliminer rapidement les eaux liées dans les pores du produit.
- Par contre la fin du séchage nécessite également une température élevée pour éliminer l'eau restante. C'est à ce niveau que le séchoir mixte (solaire/gaz) s'avère très performant sur des produits avec une activité de l'eau acceptable (a_w est inférieure ou égale à 0,5).
- L'étape intermédiaire entre le début et la fin du séchage, le séchage en mode solaire est plus adapté avec une bonne ventilation pour réduire en terme de coût des producteurs sur la consommation du gaz. En d'autre terme, le solaire permet de réaliser des économies d'énergie non négligeables.

La mise en place de petits ventilateurs à photopile permet en outre d'optimiser le séchoir solaire car la convection est l'un des paramètres la plus importante.

Tableau 7 : Les avantages est les inconvénients des séchoir solaire hybride (solaire/gaz)

Avantages	Inconvénients
-Ne pas être dépendant par rapport aux conditions climatiques	-Coût de production et d'investissement élevé.
-Meilleur contrôle du processus de séchage	-Nécessité d'approvisionnement local en gaz, pièces de rechange.
-Forte augmentation de la productivité par rapport au séchoir solaire car le système peut fonctionner la nuit pour assurer une continuité de séchage ou en saison des pluies si besoin	-Personnel qualifié pour la maintenance des systèmes photovoltaïques, batteries et ventilos
<p>Utilisation</p> <p>Ce genre de système d'adresse à des producteurs proches des centres urbains. Pour les zones rurales, l'approvisionnement (rechange de gaz) reste très difficile. Il permet de résoudre les difficultés de séchage rencontrées dans les zones climatiques humides.</p> <p>En raison de leur prix élevé, ces systèmes s'adressent à des producteurs ou des groupements d'intérêts économiques (GIE) qui transforment régulièrement de grosses quantités.</p>	

En termes de rentabilité, ces systèmes coûteux trouvent une application dans les moyennes (GIE) et les grosses unités de transformation à vocation commerciale qui sont soumises à des impératifs de qualité et de régularité de production.

3. RECOMMANDATIONS EN VUE D'AMÉLIORER LES PERFORMANCES DU SÉCHOIR.

Lorsqu'il s'agit de commercialiser sa production, le choix du séchoir est fonction de la quantité de produit à vendre sur marché. A l'échelle d'une petite entreprise ou d'une coopérative, le séchage simple au soleil n'est plus envisageable : il est trop aléatoire, trop lent et ne permet pas de garantir une qualité suffisante des produits.

Tableau 8 : Les recommandations préconisées

Problèmes	Causes	Recommandations
<i>Capteur solaire</i>	Rendement faible	-Repeindre l'absorbeur -Ajouter des ailettes -Augmenter le gap entre la vitre et l'absorbeur -Remplacer les ventilos (pales manquants) ou si possibles par d'autres plus performant -Doter le capteur d'un débitmètre pour pouvoir varier le débit d'air
<i>Chambre de combustion</i>	-Fissures des vitres -Brûleurs s'éteint à des vents forts	-Utilisation des plus de briques au détriment des vitres -Possibilité de soulevé en hauteur la chambre de combustion et réduction de sa porte
<i>Systèmes d'alimentations des ventilos (PV, batterie, régulateur)</i>	- Mauvaise emplacement de la plateforme d'alimentation des ventilos	-Revoir la batterie de stockage -Détacher la plateforme du séchoir -Créer son propre espace avec un raccordement sécuritaire pour alimenter le capteur solaire -Elever en hauteur le support du système PV

REMARQUES :

- Si le marché reste local et peu important, les petits séchoirs tente en plastique sont plus adaptés. Ce type de séchoir est moins cher à l'achat (film plastique non traité) que les séchoirs vitrés mais il est plus fragile car sa grande surface plastique se déchire rapidement avec les vents dominants, l'usure du soleil. Sa capacité de charge et le coût sont fonction des moins disponibles (200000 à 500000 Fcfa).
- Si la demande du marché devient importante, les serres solaires et les séchoirs solaires hybrides (solaire/gaz) permettent de transformer de grandes quantités avec un bon rendement

de travail. Les coûts des matériels varient très fortement, de 8000000 Fcfa pour une serre solaire à 1000000 de Fcfa pour un séchoir solaire hybride (solaire/gaz).

CONCLUSION GENERALE

Dans le cadre de travail, nous avons étudié la performance thermique d'un séchoir solaire. Plusieurs scénarios ont été testés du mois de Mars au mois Août. Les résultats du scénario à vide du séchoir donnent des valeurs de températures plus élevées en mode direct quand mode indirect. Ces températures moyennes d'air asséchant sont supérieures à 50 °C en mode direct. Un rendement moyenne du capteur solaire tourne autour de 45,4%. Le résultat du mode hybride avec le brûleur à gaz de butane est plus satisfaisant. Des valeurs de température de l'air de 70°C ont été trouvée à l'intérieur du séchoir. Pour les résultats du scénario en charge, des tests ont été effectués sur le granulé de mil "array" pour étudier la vitesse de séchage du produit dans le séchoir solaire. Trois essais ont été effectués avec différente charge (7 kg, 7 kg et 14 kg) et en différent mode d'utilisation (mode solaire, mode gaz et mode mixte) pour réduire la teneur en eau du "array" en un temps réduit. Deux essais en mode solaire avec 7 kg et 14 kg de produit ont mis que 9h et 12h respectivement. Le mode gaz a fait également 14 h pour sécher 7 kg de array. Ainsi on arrive à conclure que le mode mixte (solaire/gaz) est plus adapter et plus efficace pour le séchage de array et il est possible de sécher une masse de 14 kg en 10 h en mode hybride (solaire/gaz) tout en suivant le protocole d'utilisation optimal proposé précédemment.