

UTILISATION DU GRAVIER COMME ABSORBEUR-STOCKEUR DES SECHOIRS SOLAIRES

Par Théophile GARANGO *
Godefroy THIOMBIANO
Alhadi WEREM
Frédéric BOURGOIS **

RESUME

Dans l'optique d'une réduction du coût de fabrication des séchoirs solaires, nous avons étudié la possibilité de remplacer les absorbeurs des capteurs classiques constitués de tôle et de verre par une couche de gravier latéritique. Pour ce faire, nous avons vérifié expérimentalement le coefficient d'absorption du gravier et évalué ses capacités de stockage. Le niveau d'absorptivité est élevé : $a_g = 0,91$ et ses propriétés thermiques sont bonnes : environ 11 % de l'énergie solaire incidente est stockée durant la journée et restituée la nuit. Ceci permet de réduire la durée de séchage.

MOTS CLES : séchage solaire - stockage thermique - absorbeur - gravier.

USE OF GRAVEL AS STRAGE ABSORBER FOR SOLAR DRYERS

ABSTRACT

We have studied the possibility of using rock storage as a substitute of absorber of collectors conventionally made of iron dryers. So we have experimentally verified the absorption coefficient of the gravel and determined its storage capacity. We obtained a good absorptivity level ($a_g = 0,91$) and good thermal storage properties : about 11 percent of incident solar energy is stocked during the day to be released by night. That permits to reduce the time of drying.

KEY-WORDS : solar drying - thermal storage - absorption coefficient - gravel.

* Institut Burkinabè de l'Energie
03 B.P. 7047 OUAGADOUGOU 03 BURKINA FASO

** Université Catholique de Louvain-La-Neuve BELGIQUE

INTRODUCTION

L'utilisation de l'énergie solaire pour des opérations de séchage n'est économiquement envisageable qu'avec des matériaux simples et peu coûteux. Les quantités à sécher étant souvent importantes, il faut soit utiliser un collecteur de grande surface soit réaliser plusieurs petits systèmes pour pouvoir couvrir les besoins des agriculteurs ; ce qui dans tous les cas nécessite une grande surface d'absorbeur dont le coût ne peut qu'augmenter considérablement le prix de revient des séchoirs.

Des travaux précédents effectués sur les séchoirs solaires, certains auteurs (DUFFIE ET BECKMAN 1980, COMMONWEALTH SCIENCE COUNCIL, et MUJUMDAR 1988) préconisent pour la réalisation des collecteurs solaires l'utilisation d'absorbeurs classiques généralement constitués d'une tôle noircie dont la face arrière est isolée, le tout recouvert de verre. Si ces systèmes présentent des rendements énergétiques excellents, leur coût les rend inaccessibles aux populations rurales. Il est alors nécessaire de trouver des matériaux de substitution adaptés, disponibles et accessibles. L'étude sur le gravier entre dans ce cadre.

Des études précédentes menées par SALVADOR, en 1959 nous situent sur l'évolution de la température et du flux de chaleur dans le sol à différentes profondeurs. D'autres travaux (BOISDET, 1978 ; BARRY, 1986 ; SAGARA et NAKAHARA, 1991), nous permettent de situer divers aspects concernant les propriétés de stockage de la latérite et du gravier. Nous voulons, dans la présente étude mettre en évidence les propriétés d'absorptivité du rayonnement solaire et de stockage thermique du gravier ainsi que l'épaisseur optimale à observer lors de l'utilisation de ce matériau comme absorbeur des séchoirs solaires.

MATERIEL ET METHODES

Le gravier de forme quelconque (diamètre moyen = 1 cm) de couleur marron foncé a été disposé sur une surface de 4 m² et une épaisseur de 20 cm. Un absorbeur classique (tôle noircie dont la surface arrière est isolée pour éviter les pertes de chaleur) est placé à côté de la couche de gravier dans le but d'effectuer des comparaisons.

Deux types de mesures ont été effectués : les mesures concernant les propriétés d'absorption et de stockage du gravier.

Mesures de l'absorptivité ag du gravier

Pour déterminer le facteur d'absorption ag du gravier, nous avons placé un radiomètre inversé à 10 cm au-dessus de la couche de gravier, de bande spectrale située dans l'infra-rouge.

Parallèlement à cela, nous mesurons les températures de surface de la dite couche, de celle d'un absorbeur classique (tôle noire) et du sol naturel environnant. Ces mesures sont effectuées en continu. Ces opérations obéissent au phénomène de transferts thermiques (ECKERT et DRAKE, 1974 ; SACADURA, 1982, GIOT, 1987).

En utilisant la loi de Stefan-Boltzmann pour cette couche de gravier, nous avons :

$$E = \epsilon \sigma T^4 \quad (1)$$

avec E = énergie émise [W/M^2]
 $\sigma = 5,67.10^{-8}$ [$\text{W}/\text{M}^2 \text{K}^4$]
 T = température [K]
 ε = émissivité

Le gravier n'étant pas un matériau sélectif et la couche étant supposée homogène, l'application de la loi de Kirchhoff donne :

$$a_g = \varepsilon_g \quad (2)$$

Mesures de la capacité de stockage thermique

Dans la couche de gravier, cinq points de température sont mesurés sur la même verticale à la surface, à 5 cm, 10 cm, 15 cm et 20 cm. Ceci afin de suivre l'évolution du profil de température. Ces mesures permettent de déterminer l'énergie stockée au cours de la journée. L'accroissement de température d'un corps soumis à un flux calorifique est régi par la loi :

$$dQ = m c dT \quad (3)$$

On peut, pour chaque couche de 5 cm d'épaisseur, définir une température moyenne T_i ($i = 1..4$) et calculer l'accroissement d'énergie $\Delta Q_i = m_i c \Delta T_i$ de la couche à : (4)

où : m_i = masse de gravier = $p S e$ [kg]
 e = épaisseur de la couche de gravier [m]
 p = masse volumique du gravier [kg/M^3]
 S = surface du gravier [m^2]
 c = chaleur massique du gravier [$\text{kJ}/\text{kg } ^\circ\text{C}$]
 ΔT_i = accroissement de la température moyenne de la couche i .

L'énergie thermique totale stockée durant la période d'ensoleillement vaut dès lors :

$$Q = \sum_{i=1}^4 \Delta Q_i \quad (5)$$

La méthode proposée correspond en fait à une intégration du profil de température par trapèzes.

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Détermination du coefficient d'absorptivité a_g du gravier

Le tableau I représente les différents paramètres mesurés au cours de l'expérience. La figure 1 représente les différentes valeurs de l'émissivité ε_g du gravier en fonction de sa température superficielle. Celle-ci montre que la valeur de l'émissivité mesurée (0,91) l'est avec une bonne précision : l'écart type est de l'ordre du pour cent. Par la loi de Kirchhoff, on obtient la valeur de l'absorptivité du gravier :

$$a_g = \varepsilon_g = 0,91$$

Si l'on se réfère à la valeur de l'absorptivité du corps noir (égale à 1), on peut classer la couche de gravier parmi les matériaux à grande capacité d'absorption.

TABLEAU I : Evolution des différents paramètres mesurés au cours de l'expérience

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H	Ta	Tsg	T5g	T10g	T15g	T20g	Tss	Tabs	W
9	23.53	38	36	28	28	28	32	44	466.94
10	27.52	44	43	30	28	28	40	55.8	586.78
11	30.11	49	47	33	28	28	42	66	764.46
12	31.87	54	49	35	29	28	45	72	799.59
13	32.58	54	50	37	30	28.1	45	70.5	677.69
14	32.53	47	44	37	30.5	28.1	44	61	433.88
15	32.6	47	45	37	30	28.2	41	60	419.42
16	32.91	41	38	37	30	28.2	35	39	340.91
17	31.9	35	33	36	30	28.3	30	31	157.02
18	28.19	30	29	33	30	28	24	24.6	12.4
19	23.51	27	27	32	29	28	22	22.5	0
20	22.1	25	25	31	29	28	20	20.1	0
21	21.72	24	24	30	29	28	19	19.34	0
22	20.81	22	23	29	29	28	18	19.14	0
23	20.01	21	22	28.5	29	28	17	18.28	0
24	18.62	20	22	28	29	28	16	17.53	0
1	19.2	21	21	28	28	27.9	16	18.52	0
2	21.29	21	21	27	28	28	15	18.8	0
3	19.78	19	20	27	28	27.9	15	16.43	0
4	16.81	18	20	26	27	27.9	14	15.89	0
5	15.82	17	19	26	27	27	13.5	14.9	0
6	15.09	17	19	26	27	27	13	15.1	0
7	15.52	21	20	26	26	27	17	22.5	39.26
8	20.11	30	26	26	26	27	20	37.52	20.91
9	24.74	37	33	28	28	27	20	46.27	404.96
10	28.19	45	41	31	28	27	30	63.6	597.11
11	30.81	50	46	33	28.2	28	35	68.5	735.54
12	32.68	53	51	35	28.5	28	40	74.3	809.92
13	33.76	57	54	41	29	28	42	71.8	789.26
14	34.47	55	52	42	30	28.3	43	66.27	675.62
15	34.79	50	48	42	30	28.3	39	64.54	522.73
16	34.64	42	40	39	30	28.4	37	47.27	353.31
17	33.23	36	35	38	30	28.3	34	36	136.36
18	29.3	30	30	35	30	28.1	27	25.5	12.4
19	25.83	27	28	33.5	30	28	23	21.7	0
20	23.96	26	27	33	30	28	21	21.33	0
21	22.3	24	26	32	29	28	20	19.64	0
22	26.24	22.5	24	31	29	28	18	19.6	0
23	20.58	21.5	23	30	29	28	17	18.4	0
24	19.83	21	23	29.5	28.4	28	16	18.26	0

TABLEAU I : (Suite)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H	Ta	Tsg	T5g	T10g	T15g	T20g	Tss	Tab _s	W
1	19.32	20	22	28.5	28	28	16	16.51	0
2	18.64	19.5	21	28	28	28	15	15.6	0
3	18.24	15.5	20.5	28	28	28	14	15.14	0
4	17.69	19	20	27	28	28.1	13	15.55	0
5	17.56	18	20	27	28	28.1	13	15	0
6	17.31	19.5	20.5	27	28	27.9	15	18.29	0
7	17.44	23	23	28	28	28	17	31.74	26.86
8	21.09	34	31	28	28	28	23	45	157.02
9	26.88	37	34	28	28	28	30	46.3	351.24
10	30.54	45	43	30	28	28	37	62.5	549.59
11	33.48	52	49	32	28.3	28	40	68.68	688.02
12	34.82	55	53	35	28.7	28.2	41	76	758.26
13	35.73	57	54	37	30	28.3	43	72.83	756.2
14	36.28	53	50	39	30	28.3	43	67	679.75
15	36.43	49	45	40	30.3	28.1	39	64	530.99
16	36.28	44	42	40	30.2	28	35	46	338.84
17	35.15	38	36	38	30.4	28	30	35	132.23
18	32.05	33	32	36	30	28	26	23	10.33
19	28.75	29	29	33	30	28	23	20	0
20	26.63	27	27	32	30.1	28	21	19.5	0
21	25.8	25	26	31	30	28	20	19	0
22	26.33	23.5	24	30	30.1	28	18	18.1	0
23	24.13	23	24	29	29	28	16	17.9	0
24	22.2	22	23.5	23	29	28	15.5	17.5	0
1	21.04	21	23.5	28	28.6	28	15	15.1	0
2	20.51	20.5	22	28	28.2	28	14	15.2	0
3	19.85	20	22	27	28	28	13	15	0
4	19.73	20	21.5	27	28	28	12	15	0
5	19.85	19.5	21	27	28	28	12	14.7	0
6	18.75	20	22	27	28	28	12	16	0
7	18.07	29	25	27	28	28	13	33	30.99
8	22.85	32	29	28	28	28.1	15	43	200.41

H = Heures

Ta = Température ambiante (°C)

Tsg = Température à la surface du gravier (°C)

T5g = Température à 5 cm de profondeur (°C)

T10g = Température à 10 cm de profondeur (°C)

T15g = Température à 15 cm de profondeur (°C)

T20g = Température à 20 cm de profondeur (°C)

Tss = Température à la surface du sol (°C)

Tab_s = Température à la surface de l'absorbeur classique (°C)W = Rayonnement global reçu à la surface du gravier (Wh/m²).

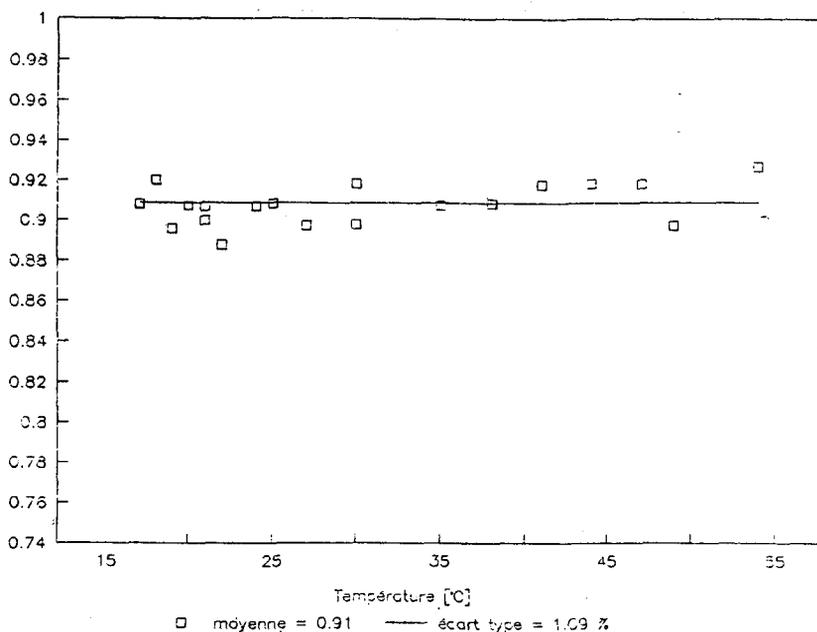


FIGURE 1 : Calcul de l'émissivité du gravier à partir des mesures du radiomètre
Analyse des différentes courbes de températures

On sait que plus l'absorbeur est parfait, plus il transforme le rayonnement solaire en chaleur, c'est ce que l'on constate sur la figure 2 où sont représentées les courbes de température à la surface de la couche de gravier, d'un absorbeur classique et du sol. A l'examen des différentes courbes, on constate qu'au cours de la journée, l'absorbeur classique donne les températures les plus élevées. Suivent dans l'ordre, la couche de gravier et le sol. Cela signifie qu'au cours de la journée, l'absorbeur classique donne de meilleures aptitudes quant à la transformation du rayonnement solaire en chaleur, ce qui était prévisible. Les résultats obtenus pour le gravier montrent que ce matériau a de meilleures propriétés de transformation que la surface du sol.

Les températures maximales se situent entre 12 heures et 14 heures. Mais les variations de températures au niveau de l'absorbeur classique sont beaucoup plus grandes par rapport à celles obtenues au niveau de la couche de gravier et au sol. En effet, lorsque l'intensité du rayonnement solaire diminue (cf. tableau I), l'écart entre deux niveaux de températures est très grand. A 17 heures, on constate que les températures au niveau de la couche de gravier deviennent supérieures à celles de l'absorbeur classique et ce durant toute la nuit. Ce qui prouve que les propriétés de stockage thermique de la couche de gravier sont bien meilleures que celles de l'absorbeur classique.

Détermination de la capacité de stockage du gravier

La figure III décrit l'essentiel des résultats obtenus au cours de ce type d'expérience. Elle montre l'évolution des différentes températures à la surface, à 5 cm, à 10 cm, à 15 cm et à 20 cm pendant 72 heures. Il apparaît naturellement, une périodicité de 24 heures. Le jour, une partie de l'énergie solaire incidente s'infiltré en profondeur dans le gravier. La nuit, l'énergie emmagasinée au cours de la journée remonte de la profondeur vers la surface. Les courbes de températures diurnes et nocturnes ne sont cependant pas symétriques : les parties correspondant à l'échauffement diurne sont d'allure sinusoïdale, tandis que celles correspondant au refroidissement nocturne sont quelconques et plus aplaties.

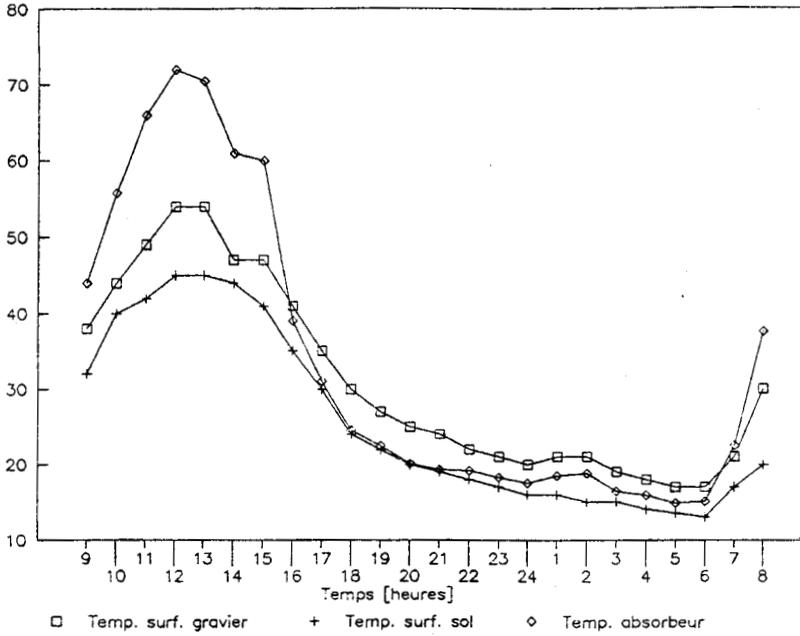


FIGURE 2 : Evolution des températures au cours de la Journée

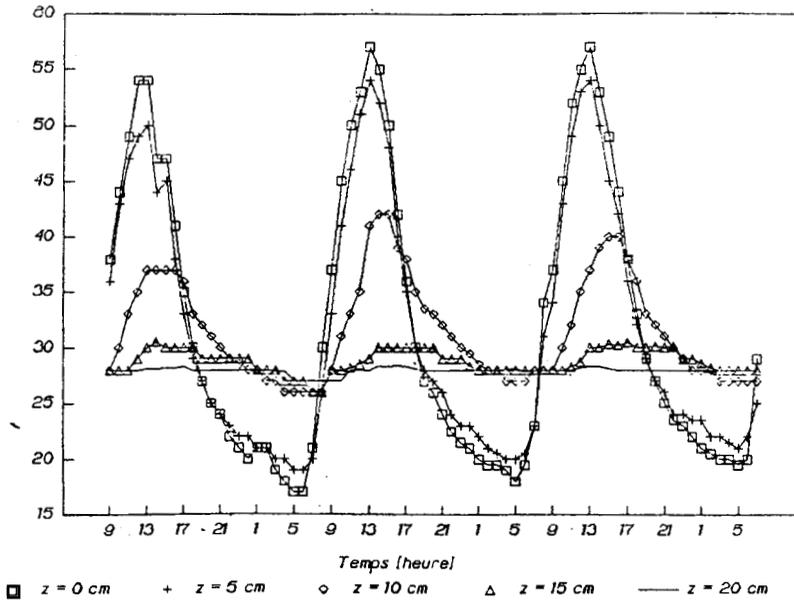


FIGURE 3 : Evolution de la température dans le gravier

L'amplitude de la variation s'amortit rapidement lorsqu'on va de la surface vers la profondeur. Il a été observé au cours de l'expérience qu'à une profondeur de 20 cm, la température du gravier ne varie quasiment plus ; cette épaisseur de gravier semble donc optimale, d'un point de vue stockage thermique.

L'évolution des profils de température dans le gravier pour le premier jour à différents moments de la journée est représentée sur la figure IV. Ce sont ces profils qui vont nous permettre de calculer la quantité de chaleur emmagasinée par le gravier. En appliquant la méthode proposée plus haut (4), nous obtenons une évolution de l'énergie thermique dans le gravier donnée à la figure V. Celle-ci représentant en fait l'accroissement d'énergie, l'origine est fixée de manière arbitraire.

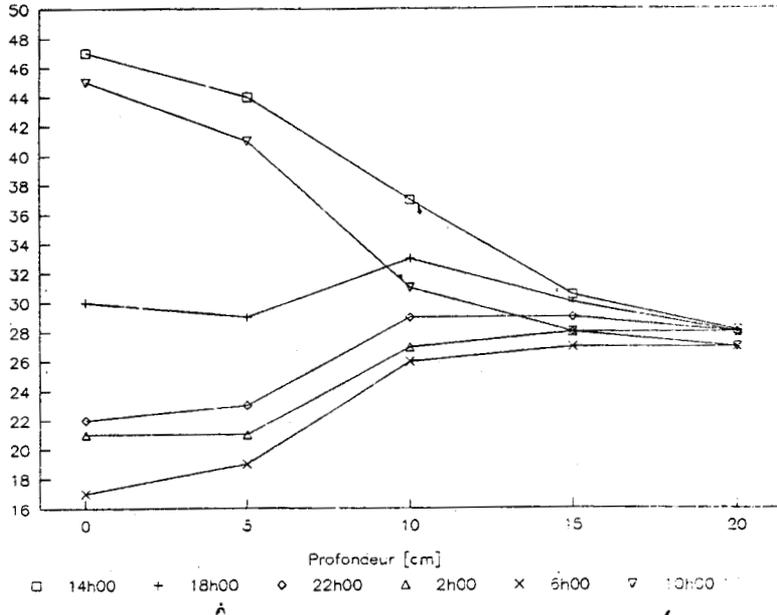


FIGURE 4 : Profils de température dans le gravier

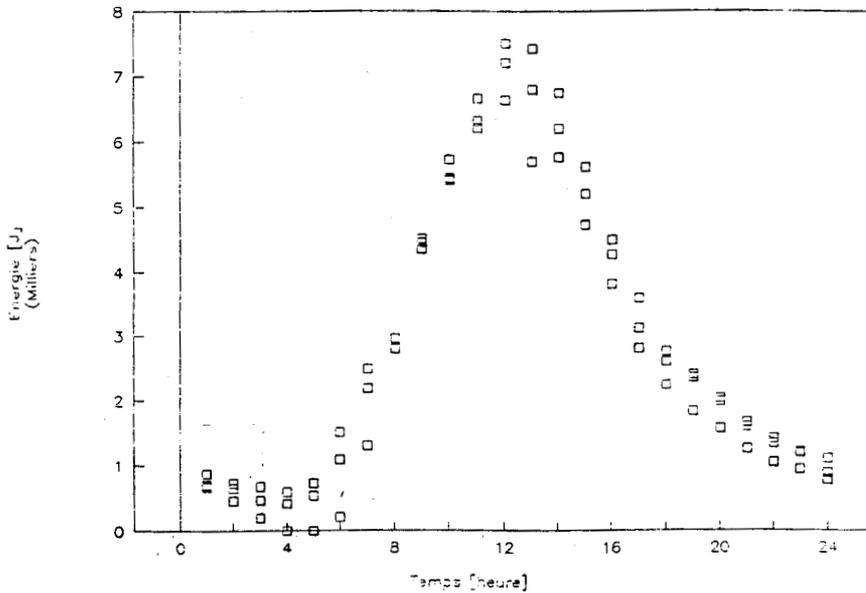


FIGURE 5 : Energie thermique stockée dans le gravier

De ces résultats, nous pouvons calculer l'énergie thermique restituée par le gravier au cours de la nuit. C'est ce flux thermique qui permettra, sinon de poursuivre le séchage, au moins d'éviter que les produits ne reprennent de l'humidité. Pour les trois jours d'expérimentation au cours desquels les conditions climatiques se sont avérées similaires, nous avons obtenu les résultats décrits dans le tableau II.

TABLEAU II : Energie thermique restituée pendant les trois jours d'expérimentation

	Energie restituée [KJ]	Ensoleillement [KJ]	% énergie restituée - ensoleillement
1er jour	2225	19712	11,2
2ème jour	2117	18350	11,5
3ème jour	2147	17925	12

CONCLUSION

Les différentes expérimentations effectuées sur la couche de gravier ont montré que celui-ci pouvait être classé parmi les matériaux à grande capacité d'absorption. En effet, la valeur du coefficient d'absorption de 0,91 se rapproche de celles des absorbeurs classiques (0,95).

L'étude de l'évolution de la température de la surface vers la profondeur a montré les possibilités qu'offre le gravier en matière de stockage d'énergie avec un taux de restitution d'environ 11 %. Cette propriété est utile pour la poursuite du séchage solaire au cours de la nuit et présente un avantage certain par rapport aux absorbeurs classiques.

Les caractéristiques thermiques du gravier ainsi que son faible coût et sa grande disponibilité devraient favoriser une large utilisation de ce matériau dans la conception des séchoirs solaires.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BARRY, M.B. 1986. Etude expérimentale de l'accumulation de l'énergie solaire dans les conditions de la moyenne Guinée : Colloque international sur la science des matériaux pour l'énergie (26 août - 11 septembre 1986) Centre international de physique théorique. Trieste - Italie 193 (19) : 24-31.

BOISDET, A. 1978. Contribution à l'étude du stockage thermique en milieu poreux granulaire. Thèse. Poitiers France. 172 p.

BORRY, Ch. 1968. *Energétique : les échanges de chaleur par convection : Tome 1*; Collection Etudes Supérieures. Bordas Mouton, Paris, 223 p.

COMMONWEALTH - Solar dryers ; Their role in post-harvest processing ; SCIENCE COUNCIL Commonwealth secretariat publications ; Marlborough house - London SWAY5HX - England, 337 p.

DUFFIE, J.A. BECKMAN, W.A. ; 1980. *Solar engineering of thermal processes*. Willey Interscience publication. New York, USA, 386 p.

ECKERT, E.R.G DRAKE JR. R.M. ; 1974 *Analysis of heat and mass transfer* Mc Graw hill series in mechanical engineering. Mc Graw Hill book company. New York, USA, 806 p.

GIOT, M. 1987. *Phénomènes de transfert*. CIACO éditeur. Louvain la-Neuve, Belgique. 432 p.

MUJUMDAR, A. S. 1988. *Handbook of industrial drying*. M. Dekker editor. New York, USA, 939 p.

SACUDURA, J.F. 1982. *Initiation aux transferts thermiques*. Centre d'actualisation scientifique et thermique. Technique de documentation. INSA de Lyon, France, 446 p.

SAGARA, K NAKAHARA, N ; 1991. *Thermal performance an pressure drop of rock beds with large storage materials*. Solar Energy 47 (3) : 157 - 165. Pergamon Press. New York, USA.

SALVADOR, O. 1959. *La température et le flux de chaleur dans le sol*. Annales de la Faculté des sciences de Dakar, 16 p.