

La LETTRE

Numéro 21

Juillet 2011

Climatisation Solaire au Liban : Etude de cas

Dr. Joe Frem

1- Introduction

Nous avons choisi d'appliquer la climatisation solaire à un cas réel pour pouvoir évaluer le prix de cette installation pour des bâtiments résidentiels de petite et moyenne taille.

C'est ce prix et son temps de retour qui va évaluer la faisabilité de notre projet.

En plus, l'implémentation de cette application pourrait inciter beaucoup de bureaux d'étude pour adopter ce genre de solutions.

Le bâtiment, proposé par le bureau d'étude de M. Kamal SIOUFI, est une villa à Beyrouth, constituée de 2 étages, un sous sol et une toiture.

La toiture (120 m²) a une exposition de 45° vers le Sud, idéale pour l'implémentation des capteurs solaires thermiques.

En plus, au niveau du rez-de-chaussée, il existe un espace de 96.6 m² suffisant pour l'implémentation des suiveurs solaires.

2-Dimensionnement et Sélection d'équipements

2.1- Dimensionnement et sélection de la machine solaire de froid à absorption

On a commencé par fixer les hypothèses nécessaires pour le calcul des bilans thermiques d'été et d'hiver. Les hypothèses sont les suivantes :

-Température extérieure : Été : 35°C (Température humide : 26°C)

Hiver : 5°C

-Température intérieure : Été : 24°C

Hiver : 20°C

-Coefficients de transmission de chaleur : U_{mur extérieur} = 2.3

U_{mur intérieur} = 2.6

U_{fenêtre} = 6 , Shade Coefficient = 0.6

U_{porte} = 3.44

-Hauteur effective = 2.7 m

-Ventilation rate = 35 L/s

-Nombre de personnes = 5

-Éclairage = 5 W/ m² car on a utilisé des lampes à faible consommation

-Coefficient du ballast = 1.2

-Équipement électrique = 200W

-Infiltration = 0 car notre local va être en surpression

Cette lettre a été réalisée grâce au support de l'ADEME (www.ademe.fr)

Directeur de publication: Hassane Jaber, Rédacteur en chef: Tony Matar

Email: alme@inco.com.lb

web: www.almee.org.

La LETTRE

Numéro 21

Juillet 2011

-Coefficient de sécurité = 10%

Avec ces données, on a eu un bilan thermique d'été de l'ordre de 45 kW et un bilan thermique d'hiver de 13 kW. En évaluant ces résultats, on a décidé d'isoler pour diminuer les déperditions et les flux entrants. On a utilisé les données suivantes :

-Coefficients de transmission de chaleur : $U_{\text{mur extérieur}} = 0.5$

$U_{\text{mur intérieur}} = 2.6$

$U_{\text{fenêtre}} = 1.5$, Shade Coefficient = 0.6

$U_{\text{porte}} = 3.44$

Après isolation, on a obtenu les résultats suivants :

Spaces	Cooling			Heating	
	Total Load (kW)	Sensible Load (kW)	Flow (L/s)	Load (kW)	Flow (L/s)
Bedroom 1_1st floor	3.1	2.8	0.13	0.9	0.02
Bedroom 2_1st floor	1.5	1.2	0.07	0.5	0.01
Guard_GF	3.1	2.8	0.13	0.6	0.01
Laundry+Storage_Bas	2.8	2.5	0.12	0.6	0.01
Living room_1st floor	3	2.2	0.13	0.9	0.02
Living room_bas	3.1	2.5	0.13	0.9	0.02
Maid_Bas	0.9	0.6	0.04	0.2	0
Maid_Bas'	1.2	0.9	0.05	0.3	0.01
Master Bedroom_1st floor	3	2.4	0.13	1	0.02
Master Bedroom_GF	3.5	2.9	0.15	1	0.02
Pump_Bas	1.1	1.1	0.05	-	-
Salon+Dining+Entrance_GF	9.5	6.5	0.041	3.4	0.07

Cette lettre a été réalisée grâce au support de l'ADEME (www.ademe.fr)

Directeur de publication: Hassane Jaber, Rédacteur en chef: Tony Matar

Email: alme@inco.com.lb

web: www.almee.org.

La LETTRE

Numéro 21

Juillet 2011

TOTAL	35.8	28.4	1.171	10.3	0.21
--------------	------	------	-------	------	------

Tableau 1

On remarque que les puissances pour refroidir et chauffer ont diminué de 20%. Et on a supposé que la chambre de garde va être simplement ventilée et réchauffée par résistance électrique.

Donc on doit trouver une machine à absorption qui est capable de fournir 32.7kW de froid et au moins 9.7kW de chaleur.

Après beaucoup de difficultés, on a trouvé la machine adéquate à notre système.



WFC-SC 10 & -SH 10

Specifications:

Water Fired Chiller absorption type with H₂O/LiBr

System functionality provides cooling

Heating with an automatic change over control mode (SH model only)

Utilizing Hot Water



Model	Production
WFC-SC10	Chilled Water
WFC-SH10	Chilled & Heating Water

ITEM		MODEL		WFC-SH10	WFC-SC10	
Cooling Capacity					35.2	
Heating Capacity				48.7	-	
Chilled Water and Hot Water	Chilled Water Temperature	Inlet	°C		12.5	
		Outlet	°C		7.0	
	Hot Water Temperature	Inlet	°C	47.4		-
		Outlet	°C	55.0		-
	Evaporator Pressure Loss(Max) *3			kPa		56.1
	Max Operating Pressure			kPa		588
	Rated Water Flow			L/sec		1.52
				m ³ /hr		5.47
	Water Retention Volume			L		17
	Heat Rejection			kW		85.4
Cooling Water	Cooling Water Temperature	Inlet	°C		31.0	
		Outlet	°C		35.0	
	Abs.&Cond.Pressure Loss(Max) *3			kPa		85.3
	Max Operating Pressure			kPa		588
	Rated Water Flow			L/sec		5.1
				m ³ /hr		18.4
	Water Retention Volume			L		66
	Heat Input			kW		50.2
	Heat Medium	Heat Medium Temperature	Inlet	°C		88
			Outlet	°C		83
Inlet Limit			°C		70 - 95	
Generator Pressure Loss(Max) *3			kPa		90.4	
Max Operating Pressure			kPa		588	
Rated Water Flow			L/sec		2.4	
			m ³ /hr		8.64	
Water Retention Volume			L		21	
Electrical	Power Source				400V 50Hz 3ph.	
	Consumption *1			W	210	
Control					On-Off	
Dimension	Width		mm		760 (855)	
	Depth		mm		970	
	Height *2		mm		1,900 (1,983)	
Piping	Chilled Water		A		40	
	Cooling Water		A		50	
	Heat Medium		A		40	
Weight	Dry Weight			kg	500	
	Operating Weight			kg	600	

Machine solaire de froid à absorption choisie

Cette lettre a été réalisée grâce au support de l'ADEME (www.ademe.fr)

Directeur de publication: Hassane Jaber, Rédacteur en chef: Tony Matar

Email: alme@inco.com.lb

web: www.almee.org.

La LETTRE

Numéro 21

Juillet 2011

2.2- Dimensionnement et sélection de la tour de refroidissement

D'après la fiche technique de la Machine solaire de froid à absorption choisie, on remarque que la chaleur à dissiper est de 85.4kW donc environ de 24.3 TER avec un débit de 5.1L/s et des températures d'entrée et de sortie respectivement 31°C et 35°C et la température humide de 26°C. Donc il faut trouver une tour de refroidissement qui répond à ses spécifications. On a trouvé la suivante :



Product Name: FRP 20 TON WHALEY TOWER

Stock No. # WP850-20

Description:	Inlet	Temp:	95F	(35°C)
	Outlet	Temp:	85F	(29.4°C)
	Wet	bulb:	78F	(25.5°C)
	Nominal	Tons:	25	tons
	Nominal	Flow:	60	gpm (3.78L/s)
	Fan	Motor:	3/4	hp
	Rpm:			1200
	Inlet/outlet/makeup:	2" x 2"	x	1/2"
	Dimensions:	32"W x 32"L	x	84"H

Includes: PVC wet deck and drift eliminator, ABS plastic non-clogging spray nozzles.

On remarque que le débit est de 3.8 L/s. Pour cela, on a besoin d'une pompe qui délivre un débit de :
 $5.1 - 3.8 = 1.3$ L/s

La LETTRE

Numéro 21

Juillet 2011

2.3- Dimensionnement et sélection des capteurs solaires sous vide

D'après la fiche technique de la Machine solaire de froid à absorption choisie, on remarque que la chaleur à fournir est de 50.2 kW. Si on considère au Liban qu'on obtient 1kW/ m² et les collecteurs récupèrent 0.8kW/m² (Principe De Dietrich), alors on a besoin de :

$50.2/0.8 = 62.75$ m² de surface effective

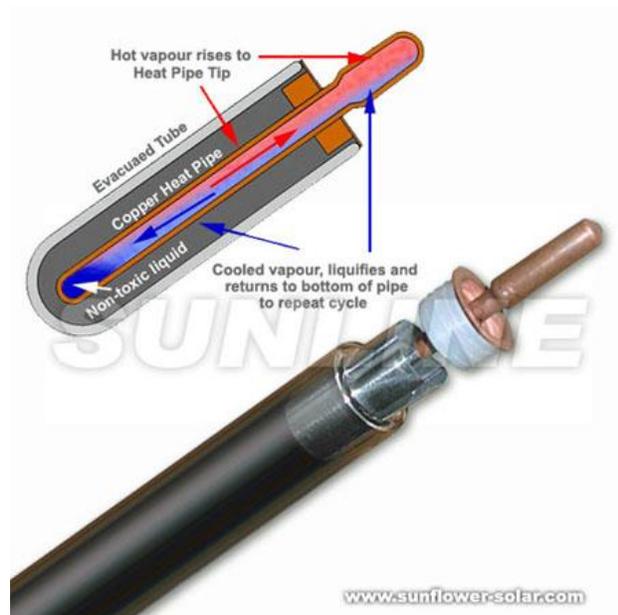
Et chaque tube a comme surface effective 0.1375 m² alors on a besoin de :
 $62.75/0.1375 = 456$ tubes

Et chaque 30 tubes sont considérés comme un panneau, alors on a besoin de :
 $456/30 = 16$ panneaux

Et chaque collecteurs a une surface réelle de 7.5 m², alors on a besoin de :
 $16*7.5 = 120$ m² de la toiture

Les tubes sélectionnés sont les suivants :

SFVB series - All-glass Evacuated Solar Collector Tube with Heat Pipe



Item No.	Specification		Effective area m ²	collector
	Diameter of solar tube	Length of solar tube		
SFVB4715	Ø47mm	1.5M	0.1000	
SFVB5818	Ø58mm	1.8M	0.1375	

La LETTRE

Numéro 21

Juillet 2011

2.4- Dimensionnement et sélection de l'échangeur thermique

On souhaite calculer l'échangeur qui permettra de fournir ou enlever à un fluide procédé un certain flux de chaleur (débit, températures d'entrée et de sortie connus du fluide procédé). On calcule alors par un bilan thermique le débit de fluide de service qui permettra d'effectuer ce transfert à partir des températures d'entrée et de sortie de ce fluide et il devient alors possible de déterminer la surface d'échange nécessaire en estimant à priori un coefficient de transfert thermique global K. On vérifie alors aussi par des calculs si la valeur de K supposée est correcte.

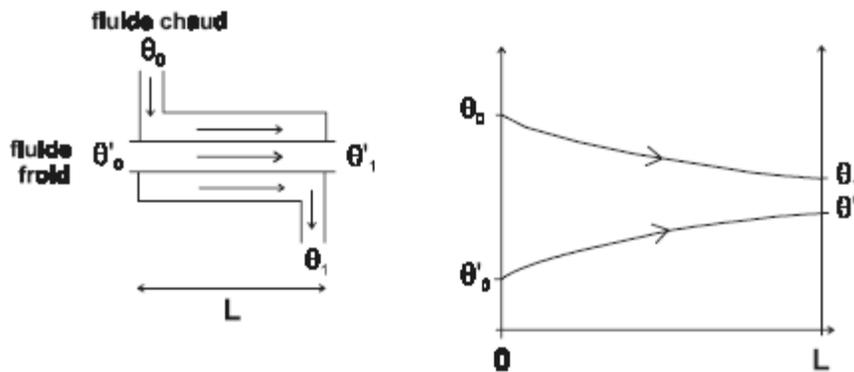
Les fluides froid et chaud sont respectivement définis par les grandeurs suivantes:

Débits massiques (Q' et Q),

Chaleurs massiques moyennes (c_p' et c_p)

Températures d'entrée (θ_0' et θ_0) et de sortie (θ_1' et θ_1).

On choisit un échangeur non-méthodique. Le fonctionnement à courants parallèles est possible seulement si $\theta_1 > \theta_1'$; dans le cas contraire l'échange n'est pas possible avec ces températures de sortie.



ÉCHANGEUR À CO-COURANT

On peut écrire le bilan thermique en prenant comme système les deux fluides et en considérant qu'il n'y a pas de pertes thermiques.

On note Φ et Φ' les flux de chaleur perdu par le fluide chaud et gagné par le fluide froid:

$$\Phi + \Phi' = 0 \text{ donc } Q \cdot c_p \cdot (\theta_1 - \theta_0) = Q' \cdot c_p' \cdot (\theta_1' - \theta_0')$$

Il faut alors remarquer que les températures des deux fluides varient le long de l'échangeur. Il n'est donc plus possible de considérer la différence de températures entre les deux fluides comme une constante. Pour cela, on définit donc $\Delta\theta_m$, la moyenne logarithmique des différences de températures des fluides aux deux extrémités :

$$\Delta\theta_m = \frac{\Delta T - \Delta t}{\ln \frac{\Delta T}{\Delta t}}$$

$$\text{où } \Delta T = \theta_0 - \theta_0' \text{ et } \Delta t = \theta_1 - \theta_1'$$

La LETTRE

Numéro 21

Juillet 2011

Dans notre cas, on a :

$$\theta_0 = 90^\circ\text{C}$$

$$\theta_1 = 85^\circ\text{C}$$

$$\theta_0' = 20^\circ\text{C}$$

$$\theta_1' = 60^\circ\text{C}$$

$$K = 0.5 \text{ kW/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$\rightarrow \Delta\theta_m = 43.7^\circ\text{C}$$

On peut maintenant écrire le flux de chaleur échangé entre les deux fluides:

$$|\dot{q}| = |\phi| = K \cdot S \cdot \Delta\theta_m$$

On suppose que le débit d'eau chaude entrante à l'échangeur est de 0.5L/s

$$\rightarrow 0.5 * 4.18 * 5^\circ\text{C} = 0.5 * S * 43.7$$

$$\rightarrow S = 0.5 \text{ m}^2$$

$$\rightarrow \Phi = 11\text{kW} + 10\% \text{ perte} = 12 \text{ kW}$$

La sélection d'un échangeur thermique est trop délicate. Généralement, dans nos applications, on envoie le cahier de charge au constructeur et c'est lui qui effectue le calcul et la sélection, car un échangeur doit être choisi suivant les températures d'entrée et de sortie des deux fluides, leurs débits, la surface d'échange, le coefficient K, les pressions dominantes, le flux de chaleur transféré, le mode de fonctionnement et la forme de l'échangeur. Donc en principe, on se basera sur le flux de chaleur et on a trouvé un échangeur de la marque ONDA. Sa fiche technique est la suivante :

La LETTRE

Numéro 21

Juillet 2011

Advanced
Heat Transfer
Solutions



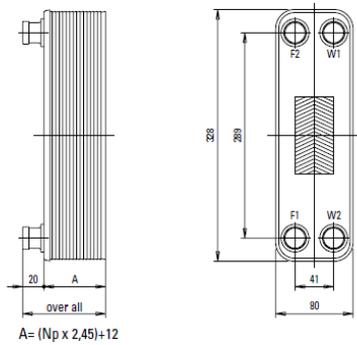
ONDA

New Onda generation

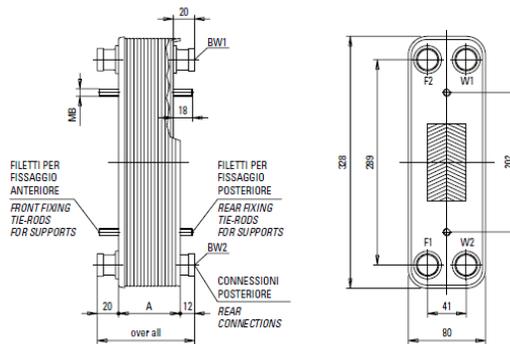
S09

SCAMBIATORI A PIASTRE PLATE HEAT EXCHANGERS

VERSIONE NORMALE STANDARD / STANDARD NORMAL VERSION



ACCESSORI POSSIBILI/OPTIONAL ON REQUEST
DA SPECIFICARE IN FASE D'ORDINE/TO BE SPECIFIED ON ORDER



La LETTRE

Numéro 21

Juillet 2011

DATI TECNICI - TECHNICAL DATA				
VERSIONE / VERSION		S09 (R410A)		
POTENZA "in condizioni standard di lavoro"	CAPACITY (nominal conditions)	12 kW		
Circuito - Circuit				
PRESSIONE MASSIMA DI LAVORO	MAXIMUM ALLOVABLE WORKING PRESSURE	50°C	F1-F2: 46 bar	W1-W2: 47 bar
		120°C	F1-F2: 36 bar	W1-W2: 37 bar
		300°C	F1-F2: 26 bar	W1-W2: 27 bar
TEMPERATURA MINIMA DI LAVORO	MIN. DESIGN TEMPERATURE	- 100 °C (-148 °F)		
TEMPERATURA MASSIMA DI LAVORO	MAX DESIGN TEMPERATURE	+ 300 °C (+572 °F)		
NUMERO DI PIASTRE "NP"	NUMBER OF PLATES	min.: 8 max: 50		
NUMERO DI CAMERE	NUMBER PER CHAMBER	Circ./Circuit side F1-F2: (NP/2-1)	Circ./Circuit side W1-W2: (NP/2)	
VOLUME PER CAMERA	VOLUME PER CHAMBER	0.0474 litri/liters		
PORTATA MASSIMA	TOTAL FLOW RATE m ³ /h		
PESO COMPLESSIVO "P"	TOTAL WEIGHT	P=Np x 0.09 + 1 kg		
CONNESSIONE STANDARD CIRCUITO	STANDARD CONNECTION FOR CIRCUIT	F1:	ODS 18	F2: ODS 22
		W1:	G 1/2" Conico/Conical	W2: G 1/2" Conico/ Conical
CONNESSIONI A RICHIESTA "Da specificare in fase d'ordine"	CONNECTION REQUIRED "To be specified on order"	ODS 9.5	G 1/2" Cilindrico/Cylindrical	Rotalock 3/4"
		ODS 14	G 1/2" Femmina /Female	Rotalock 1"
			G 3/4" Cilindrico/ Cylindrical	
MATERIALI - MATERIALS				
MATERIALE PIASTRA DI SCAMBIO:	PLATE HEAT EXCHANGER MATERIAL:	1.4401 - EN10028/7 "AISI 316L"		
MATERIALE CONNESSIONI:	CONNECTIONS MATERIAL:	1.4401 - EN10028/7 "AISI 316L"		
MATERIALE BRASANTE:	BRAZING MATERIAL:	RAME PURO / COPPER - Cu -		

2.5- Dimensionnement et sélection des pompes

Pour le dimensionnement des pompes, on a besoin de 2 données :

La perte de charge

Le débit

Le calcul de la perte de charge diffère suivant le type de circuit ; Si on est dans un circuit fermé, la pompe est circulatrice alors on calcule le plus long parcours et on le multiplie par un coefficient de perte de charge (0.04mm/m) et par un autre paramètre approximatif (1.3) qui représente les coudes et les auxiliaires. Pour le débit, soit il est imposé par l'application, soit c'est la somme des débits dans mon système.

Pompe circulatrice de l'eau glacée :

Perte de charge dans la machine à absorption : 56 kPa = 5.6 m

Perte de charge dans le dernier ventilo-convecteur : 1m

Perte de charge dans le circuit : (47m * 0.04 mm/m) * 1.3 = 2.44 m

Perte de charge totale = 9.1 m

Débit = 1.17 L/s (Tableau 1)

Rendement = 0.6

Puissance de la pompe = 230 W

Pompe circulatrice en amont de l'échangeur:

Perte de charge = 2 m

Débit = 0.5 L/s

Rendement = 0.6

Puissance = 100 W

Cette lettre a été réalisée grâce au support de l'ADEME (www.ademe.fr)

Directeur de publication: Hassane Jaber, Rédacteur en chef: Tony Matar

Email: alme@inco.com.lb

web: www.almee.org.

La LETTRE

Numéro 21

Juillet 2011

Pompe circulatrice en aval des capteurs sous vide:

Perte de charge dans la machine à absorption = 9 m
 Perte de charge dans l'échangeur = 2 m
 Perte de charge dans la chaudière = 1 m
 Perte de charge dans les capteurs sous vide = 2 m
 Perte de charge dans le circuit = $(35 * 0.04) * 1.3 = 1.82 = 2$ m
 Perte de charge totale = 16 m
 Débit = $2.4 + 0.5 = 2.9$ L/s
 Rendement = 0.6
 Puissance = 670 W

Pompe circulatrice en aval de la tour de refroidissement:

Perte de charge dans la machine à absorption = 85 kPa = 8.5 m
 Perte de charge dans la tour de refroidissement = 2 m
 Perte de charge dans le circuit = $(10 * 0.04) * 1.3 = 0.5$ m
 Perte de charge totale = 11 m
 Débit = 1.3 L/s
 Rendement = 0.6
 Puissance = 270 W

Claytech Blueline 100

ClayTech Pressure Tank Systems are comprised of a superior quality pressure tank and pressure switch. Inside the pressure tank is a water bladder that fills up when the pump is first started. When you open your house tap the water is forced out of the bladder under the contained pressure. When the pressure in the tank lowers to a predetermined level automatically starts and delivers water to your house. The benefit of this system is that it allows a toilet cistern to fill or a glass of water to be poured without requiring the pump to start.

Full 2 year warranty.

10 Litre Draw.

Pressure Switch Included.

Power Absorbed: 700 watt

Max Head: 42 m

Max Flow Rate: 50 Litres per minute

Tank Capacity: 20 Litres

Inlet Size: 25.4 (1 inch)

Outlet Size: 25.4 (1 inch)

Weight: 10.7 kg

Can supply up to 4 outlets



pump,
bladder
house tap
within the
the pump
this type of
poured

La LETTRE

Numéro 21

Juillet 2011

Claytech Inox 230

The ClayTech Inox 230 uses the highest quality components to deliver water to your house. The pump system will sense when you have opened your house tap and will automatically start the pump. When you close the tap the pump will stop. The benefit of this type of system is that they deliver continual constant pressure. No pressure fluctuations mean's constant and regular water flow, good for showers. The electronic controller also has loss of prime protection to protect the pump if your rain water tank runs dry.

Full 2 year warranty.

Max Pressure = 350KPa (50 psi).

Includes hydrotronic switch to avoid motor burnout.

Power Absorbed: 800 watt

Max Head: 36 m

Stages: 3

Max Flow Rate: 100 Litres per minute

Tank Capacity: 60/100 Litres

Inlet Size: 25.4 mm (1 inch)

Outlet Size: 25.4 mm (1 inch)

Weight (kg): 8.5 kg

2.6- Dimensionnement et sélection des tubes

Pour pouvoir dimensionner les tubes de notre système, il faut appliquer :

Débit Q (m³/h) = Vitesse (m/h) * Section (m²) = $V * \pi \Phi^2 / 4$ d'où Φ

Ayant des liquides dans les tubes, leur vitesse d'écoulement est de 2 m/s (7200 m/h)

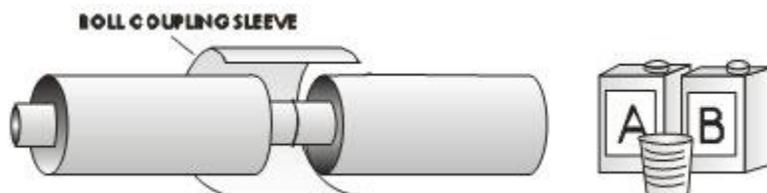
Ou bien, on choisit le diagramme des tubes de réfrigération de l'ASHREA. En fixant la perte de charge à 0.04, on dimensionne les tubes suivant les débits.

Du côté Eau Chaude vers la machine à absorption,

On a un débit de 2.9L/s (10.44m³/h), d'où $\Phi \sim 43$ mm. On la prend 63 mm comme standard, càd 2.5 inch. De même, après l'échangeur de l'eau chaude sanitaire, le débit est est 2.4L/s, on trouve $\Phi=2$ inch.

On les choisit insulés. On a besoin des tubes de 2 et 2.5 inch. Soient les tubes INSUL-PIPE SYSTEMS:

Steel x PVC Jacket				
Pipe Size	Insulation Thickness	Jacket Size	Jacket Thickness	R Value
2 ½"	1.62	6.14	.060	11.57
2	1.00	4.50	.060	7.14



Cette lettre a été réalisée grâce au support de l'ADEME (www.ademe.fr)

Directeur de publication: Hassane Jaber, Rédacteur en chef: Tony Matar

Email: alme@inco.com.lb

web: www.almee.org.

La LETTRE

Numéro 21

Juillet 2011

Pour les tubes d'eau glacée, on prend le débit calculé par le logiciel HAP pour chaque chambre et on sort la section du diagramme de l'ASHREA.

Spaces	Flow (L/s)	Flow (gpm)	Pipes (") @ 4% pressure drop
Bedroom 1_1st floor	0.13	2.1	0.75
Bedroom 2_1st floor	0.07	1.1	0.5
Guard_GF	0.13	2.1	0.75
Laundry+Storage_Bas	0.12	1.9	0.75
Living room_1st floor	0.13	2.1	0.75
Living room_bas	0.13	2.1	0.75
Maid_Bas	0.04	0.6	0.5
Maid_Bas'	0.05	0.8	0.5
Master Bedroom_1st floor	0.13	2.1	0.75
Master Bedroom_GF	0.15	2.4	0.75
Pump_Bas	0.05	0.8	1
Salon+Dining+Entrance_GF	0.041	0.6	0.5

Pour la sélection, on a choisi les tubes suivants :

Pipes	FLORIDA Pipe & Steel INC.	ANSI Steel	Schedule -	1/2, 3/4", 1", 1 1/4", 1 1/2", 2", 3"
--------------	--	---------------	------------	---------------------------------------

La LETTRE

Numéro 21

Juillet 2011

2.7- Dimensionnement et sélection des ventilo-convecteurs (Fan Coil Units FCU)

Afin de procéder à une sélection des FCUs, l'ensemble du système de climatisation doit être examiné, car le dimensionnement d'une FCU n'est pas seulement la charge correspondant à la chambre.

D'autres critères qui doivent être examinés au cours de la sélection, la charge minimale de la chambre, les exigences d'air frais, avec ou sans poste-combustion, 2 ou 4 systèmes de tuyauterie, la taille de la zone, la flexibilité et le niveau de bruit maximum dans la chambre, etc.

La capacité de refroidissement qui est fourni à la chambre est la somme de l'énergie de refroidissement dans l'air primaire et la capacité de refroidissement de la FCU. La façon dont l'air primaire est fourni à la chambre détermine une grande partie de la capacité de refroidissement nécessaire de la FCU. La capacité de la FCU est définie par les conditions d'air entrant et sortant ($P = qv \times Cp \times \Delta T$). L'état de l'air sortant est fixe (pour compenser la charge de la chambre), mais l'air entrant dépend de la façon dont l'air primaire est fourni.

Donc, dimensionner une FCU, c'est trouver la capacité sensible de refroidissement. Puis on choisit l'unité et on vérifie si elle supporte la capacité totale.

Sélection commerciale :

Dans notre projet, on a beaucoup de FCUs à installer pour les chambres. En suivant la méthode de dimensionnement, on choisit :

FCUs					
CIAT					
Temperature ambient 24.5 C / Inlet water temperature 6.5 C					
Cooling Capacity (kW)					
Type 1 (09 DC)		Type 2 (12 DC)		Type 3 (18 DC)	
Total	Sensible	Total	Sensible	Total	Sensible
2.59	2.05	3.24	2.6	4.57	3.68

La LETTRE

Numéro 21

Juillet 2011

Spaces	Cooling		FCU Selection(@ 5.5 C Inlet water temperature)
	Total Load (kW)	Sensible Load (kW)	
Bedroom 1_1st floor	3.1	2.8	Type 3
Bedroom 2_1st floor	1.5	1.2	Type 1
Laundry+Storage_Bas	2.8	2.5	Type 2
Living room_1st floor	3	2.2	Type 2
Living room_bas	3.1	2.5	Type 2
Maid_Bas	0.9	0.6	Type 1
Maid_Bas'	1.2	0.9	Type 1
Master Bedroom_1st floor	3	2.4	Type 2
Master Bedroom_GF	3.5	2.9	Type 3
Pump_Bas	1.1	1.1	Type 1

DISTRICTCIAT	Air flow CFM@0.2	Water flow GPM	Water pressure drop/ft. of water	24.5°C - 76°F db / 17°C - 63°F wb <i>4.5 = 3.14.050 / hr.</i>					
				Cooling capacity (Btu/hr)					
				Inlet water temperature (°C) / (°F)					
				5.5/42		6/42.8		6.5/43.7 <i>3.68</i>	
				TC	SC	TC	SC	TC	SC
09 DC	306	1.24	3.402	9 432	7 237	9 173	7 166	8 852	7 015
12 DC	388	1.52	4.928	11 572	8 973	11 501	9 102	11 074	8 894
18 DC	456	2.19	4.617	16 693	12 944	16 567	13 128	15 623	12 564
24 DC	658	3.12	5.062	23 788	18 341	23 652	18 608	22 641	18 118
30 DC	975	4.2	7.652	32 089	24 939	32 039	25 391	30 893	24 819
36 DC	1250	4.58	3.667	34 909	28 247	34 537	28 576	32 939	27 555
42 DC	1647	5.12	4.476	38 994	31 541	38 611	31 911	36 783	30 752
48 DC	1723	6.09	6.912	46 446	36 462	45 936	36 816	44 259	35 902
60 DC	2077	7.32	7.793	55 882	43 596	55 725	44 363	53 711	43 315

On a besoin de 4 unités du Type 1, 4 du Type 2 et 2 du Type 3.

Cette lettre a été réalisée grâce au support de l'ADEME (www.ademe.fr)
 Directeur de publication: Hassane Jaber, Rédacteur en chef: Tony Matar
 Email: alme@inco.com.lb web: www.almee.org.

La LETTRE

Numéro 21

Juillet 2011

2.8- Dimensionnement et sélection de la centrale de traitement d'air

Pour dimensionner la centrale de traitement d'air, il faut déterminer le débit d'air de soufflage dans le local, la température de soufflage et les fonctions de base souhaitées...

Sélection commerciale :

Dans notre projet, on a une seule unité à installer pour les chambres : Salon, Dining, Entrance, du rez-de-chaussée où il faut circuler un débit d'air de 461 L/s. On a choisi cette unité avec ses accessoires (filtres, résistance électrique, ventilateur...):



AHU						
Carrier 39CBF (4 rows)						
Unit size	Air volume at 2.5 m/s (L/s)	Coil face area (m ²)	Cooling capacity (kW)	Circuit	W-Temp. Rise (C)	W-Press. Drop (kPa)
0609	614	0.24	11.4	HF	5.5	4.5

La LETTRE

Numéro 21

Juillet 2011

Accessoires de la centrale de traitement d'air

Unit Section	Section Length (M: Module Quantity)	Remark
Mixing Chamber 	0609-0813 (5M) 0914-1317 (6M) 1518-1622 (8M) 1822-2025 (9M) 2226-2334 (11M)	
Bag Filter 	6M	6M access section is recommended at upstream
Combined Filters 	6M	6M access section is recommended at upstream
Cooling Coil 	6M	Drift eliminator may be included
Hot Water coil 	3M	
Steam Coil 	3M	
Electric Heating Coil 	3M	
Steam Humidifier 	6M	
Evaporative Humidifier 	3M	May be installed in cooling coil section
Spray Humidifier 	6M	Section includes drift Eliminator
Fan 	Refer to fan table	Four discharge configurations available
Combined Mixing Chamber 	(0609-0813) 10M (0914-1317) 12M (1518-1622) 16M (1822-2025) 18M (2226-2334) 22M	
Attenuator 	6M, 12M	6M Access section is recommended at upstream
Discharge 	0609-0813 (5M) 0914-1317 (6M) 1518-1622 (8M) 1822-2025 (9M) 2226-2334 (11M)	Available discharge location at top, front or side
Plenum/Access 	3M, 6M, 9M	

2.9- Dimensionnement et sélection de la chaudière

Le système de chauffage d'appoint est nécessaire pour pouvoir disposer d'eau chaude même pendant les périodes de faible ensoleillement. Il est possible de s'en passer, mais cela conduit à une installation plus importante, principalement d'un réservoir beaucoup plus gros, puisque il doit être capable de fournir de l'eau chaude durant des

La LETTRE

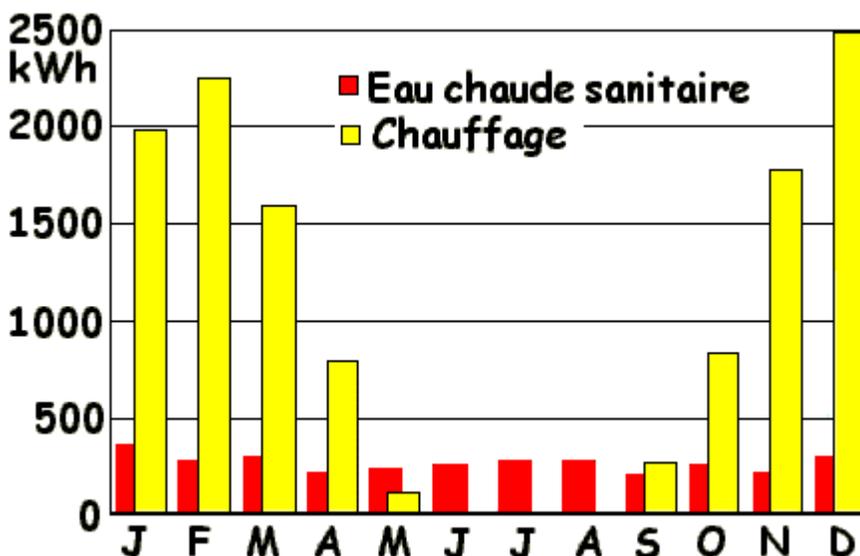
Numéro 21

Juillet 2011

périodes grises. Un système de chauffage d'appoint, de type chaudière, est une solution intéressante d'un point de vue économique.

Le Combi-Système et le chauffe-eau solaire comparés :

Les méthodes de captage de l'énergie solaire pour un combi-système ou pour un chauffe-eau solaire sont similaires. Cependant, les besoins des deux applications sont très différents.



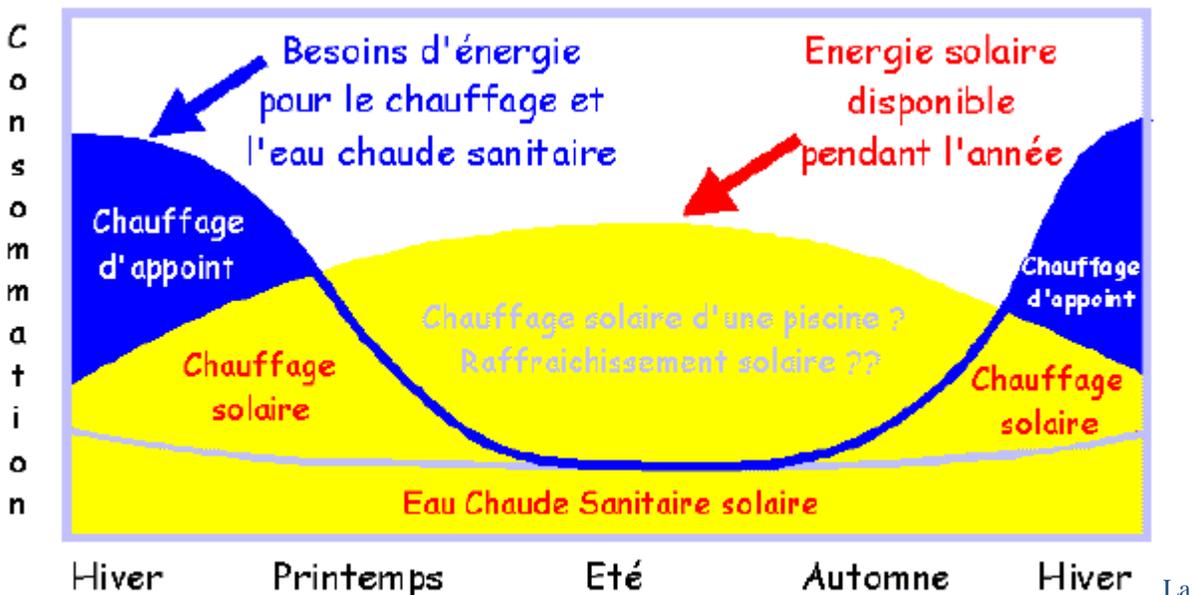
Variations des besoins pendant l'année

Il est clair que les besoins en chauffage ne sont pas en phase avec l'ensoleillement pendant l'hiver, et que l'énergie solaire disponible en été dépasse largement les besoins d'eau chaude sanitaire. Ainsi, le chauffage solaire et l'appoint doivent être conçus ensemble afin d'assurer le rendement global du système.

La LETTRE

Numéro 21

Juillet 2011



La corrélation entre l'énergie solaire disponible et les besoins de chaleur dans un logement pendant l'année

Un chauffe-eau solaire ne peut pas fournir de l'eau chaude tous les jours. Si l'ensoleillement est insuffisant ou si les besoins sont supérieurs aux prévisions : il faut utiliser une autre source d'énergie comme appoint de chauffage. Cependant :

- la priorité doit être donnée à l'énergie solaire toujours,
- le fonctionnement du chauffage d'appoint ne doit pas réduire le rendement du chauffe-eau solaire,
- le ballon de stockage aura besoin d'une isolation thermique poussée afin de conserver l'énergie solaire au mieux et réduire le recours au chauffage d'appoint,
- un voyant doit montrer que le chauffe-eau solaire marche correctement; sinon, l'eau chaude pourrait être fournie exclusivement par l'appoint sans que l'utilisateur se rende compte.

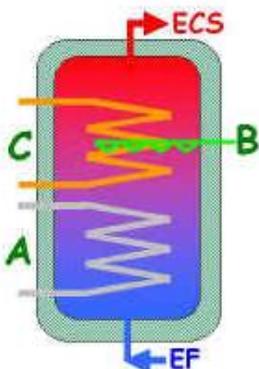
L'appoint "chaudière à fioul" :

Il faut un ballon avec un échangeur "circuit capteurs (thermostat)" (A) en partie basse et un échangeur "circuit chaudière" (C) plus une résistance électrique en partie haute (B).

La LETTRE

Numéro 21

Juillet 2011



Avantages :

1. L'appoint fait partie d'un ensemble rationnel de chauffage et de fourniture d'eau chaude sanitaire.
2. Avec une chaudière bois, le chauffage de l'eau ne dépend que des énergies locales pendant l'hiver.
3. L'appoint supplémentaire électrique permet l'arrêt de la chaudière en été et généralement, la consommation électrique sera très faible.

Inconvénients :

1. Investissement plus important dû au ballon avec deux échangeurs ainsi que la complexité relative des contrôles et de la programmation de la chaudière.

Dimensionnement :

On choisit notre système 'appoint' suivant la puissance calorifique recommandée pour l'entrée de la machine à absorption et des besoins d'eau chaude sanitaire.

Sélection commerciale :

On a choisi la chaudière CAROLA CVCACAR5 de puissance calorifique 52 KW et assurant une température maximale de 110°C, avec son ballon de stockage et le thermostat de contrôle.

Régler le thermostat de contrôle à la température voulue (90 °C). Mettre l'interrupteur général sur la position "ON" et le sélecteur Été/Hiver en position Hiver. Le brûleur et le circulateur chauffage se mettront en fonctionnement jusqu'à l'obtention de la température de consigne demandée avec le thermostat de contrôle. Lorsque la température de l'installation baissera, le brûleur s'enclenchera pour un cycle de chauffe.

2.10- Dimensionnement et sélection des accumulateurs (Vase d'expansion)

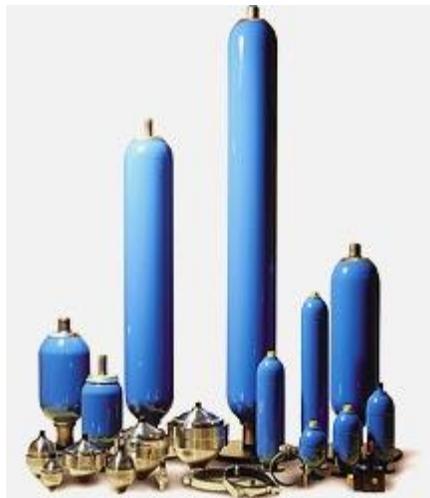
L'accumulateur thermique permet de couvrir le décalage temporel entre l'offre et la demande de chaleur. La taille minimale de l'accumulateur fait partie du concept de surchauffe. En règle générale, on peut dire que les résultats offerts par une installation solaire sont d'autant meilleurs que l'offre d'énergie et la demande de chaleur coïncident, et que le niveau de température requis est bas.



La LETTRE

Numéro 21

Juillet 2011



La méthode de dimensionnement d'un accumulateur se base sur le changement d'état du gaz à l'intérieur de l'accumulateur. Les mêmes changements s'opèrent pour l'huile.

Lors du dimensionnement d'accumulateurs hydrauliques, il faut tenir compte des deux éléments suivants:

- le principe veut que le gaz de remplissage de l'accumulateur (azote) se comporte comme un gaz idéal, ce qui, en pratique, n'est pas le cas à haute pression et à basse température.
- sur la base de processus d'échange de chaleur inconnus, des changements d'état isothermiques ou adiabatiques sont présumés.

Calcul approximatif d'accumulateur :

Paramètres et abréviations :

P_0 = pression de prégonflage (bar) normalement à 20° C

P_1 = pression de service minimale (bar) surpression de service minimale admissible

P_2 = pression de service maximale (bar) surpression de service maximale admissible

ΔV = volume restitué (L) ($V_1 - V_2$) volume de liquide pris en charge ou restitué

V_0 = volume effectif de l'accumulateur (L) correspond à l'indication "Capacité" dans les fiches techniques

T_1 = température de service minimale (° C) température ambiante ou du liquide minimale

T_2 = température de service maximale (° C) température ambiante ou du liquide maximale

V_1 = capacité à la pression P_1 (L) volume de gaz accumulé à la pression P_1

V_2 = capacité à la pression P_2 (L) volume de gaz accumulé à la pression P_2

n = exposant polytropique coefficient qui tient compte de l'échange thermique

Formule de calcul de la capacité V_0 :

La LETTRE

Numéro 21

Juillet 2011

$$V_0 = \frac{\Delta V \cdot \frac{P_1}{P_0}}{1 - \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{\frac{1}{n}}}$$

Influence de la température:

Les formules présentées ci-dessus ne sont utilisables qu'à des températures approximativement stables. Lorsqu'un système est soumis à de fortes variations de températures, une correction doit être apportée, également lors d'un calcul approximatif. On se servira alors de la loi de Gay-Lussac:

$$V'_0 = V_0 \cdot \frac{T_2}{T_1}$$

Pression de gonflage:

En règle générale, les pressions P_1 et P_2 sont définies par le système. La pression de gonflage doit être choisie en fonction du cas spécifique et de la forme de l'accumulateur.

La pression de gonflage est toujours définie pour la température maximale de service. Le remplissage de gaz et son contrôle s'opèrent dans la plupart des cas à la pression de gonflage pour une température de 20°C.

Lors d'accumulation d'énergie / réserve de sécurité :

$P_0 = 0.9 \cdot P_1$ à la température maximale de service T_2

Limites : $P_0 \text{ min.} > 0.2 \cdot P_2$

$P_0 \text{ max.} = P_1$

$P_0 (20^\circ\text{C}) = P_0 (T_2) \cdot (273+20)/T_2$

Dans notre système, $n=1.5$ et $\Delta V=2L$

Du côté circuit eau chaude vers la machine à absorption,

$P_2 = 5.88$ bar (relative)

$P_1 = 5.88 - 0.904 = 4.976$ bar (relative)

$T_1 = 90^\circ\text{C}$

$T_2 = 95^\circ\text{C}$

$P_0 = 0.9 \cdot 4.976 = 4.4784$ bar = 4.48 bar (relative) à 95°C

$P_0 (20^\circ\text{C}) = 4.4784 \cdot (273+20) / (95+273) = 4.3$ bar = 3.3 bar (relative)

D'où

$V_0 = [2 \cdot 4.976 / 4.4784] / [1 - (4.976 / 5.88)^{(1/1.5)}] = 25L$

$V'_0 = 25 \cdot (273+95) / (273+90) = 25.3L \sim 25L$

Du côté circuit eau glacée,

$P_2 = 5.88$ bar (relative)

$P_1 = 5.88 - 0.561 = 5.319$ bar (relative)

$T_1 = 7^\circ\text{C}$

$T_2 = 12.5^\circ\text{C}$

$P_0 = 0.9 \cdot 5.319 = 4.7871$ bar = 4.6871 bar (relative) à 12.5°C

Cette lettre a été réalisée grâce au support de l'ADEME (www.ademe.fr)

Directeur de publication: Hassane Jaber, Rédacteur en chef: Tony Matar

Email: alme@inco.com.lb

web: www.almee.org.

La LETTRE

Numéro 21

Juillet 2011

$$P_0 (20^\circ\text{C}) = 5.6871 \cdot (273+20) / (12.5+273) = 5.84 \text{ bar} = 4.84 \text{ bar (relative)}$$

D'où

$$V_0 = [2 \cdot 6.319 / 5.6871] / [1 - (6.319 / 6.88)^{(1/1.5)}] = 40\text{L}$$

$$V'_0 = 40 \cdot (273+12.5) / (273+7) = 40.8\text{L} \sim 40\text{L}$$

Sélection commerciale:

<p> Kit vase d'expansion 40L</p> <p>Expédition  Garantie </p> <p>Sous 10 à 15 jours ouvrés Pièce 1 an</p> <p>Paiement </p> <p>Par carte, par Paypal, par chèque, par virement</p> <p>Description Limite de fourniture - vase d'expansion - équerre murale - flexible</p> <p>Poids 71 kg</p> <p>Prix unitaire 129.00 €</p> <p>Référence 100.420.03</p>	<p> Kit vase d'expansion 25L</p> <p>Expédition  Garantie </p> <p>Sous 10 à 15 jours ouvrés Pièce 1 an</p> <p>Paiement </p> <p>Par carte, par Paypal, par chèque, par virement</p> <p>Poids 41 kg</p> <p>Prix unitaire 105.00 €</p> <p>Référence 100.420.02</p>
 	 

Pour le vase d'expansion ouvert lié au réservoir d'eau, le remplacement des pertes de fuite de l'eau a lieu automatiquement en raison de la hauteur du réservoir et donc par conséquent d'une pression statique plus élevée de remplissage d'eau.

Il est recommandé que le réservoir contienne en plus 1% du volume entier d'eau avec un minimum de 2 ou 3 litres quel que soit le cas du type de système hydraulique.

Donc pour notre cas, on installera un vase de 10L sur le circuit d'eau de la tour de refroidissement pour assurer la couverture des pertes.



2.11- Dimensionnement et sélection des panneaux photovoltaïques

On doit commencer par dresser un bilan de charges :

Cette lettre a été réalisée grâce au support de l'ADEME (www.ademe.fr)

Directeur de publication: Hassane Jaber, Rédacteur en chef: Tony Matar

Email: alme@inco.com.lb

web: www.almee.org.

La LETTRE

Numéro 21

Juillet 2011

Équipement	Quantité	Puissance unitaire(W)	Puissance totale (W)
FCU Type1	4	57	228
FCU Type 2	4	63	252
FCU Type 3	3	112	336
Pompe circulatrice	1	230	230
Pompe circulatrice	1	670	670
Pompe circulatrice	1	100	100
Pompe circulatrice	1	270	270
Machine à absorption	1	210	210
Tour de refroidissement	1	560	560

Comme total, on a une charge de 2856 W. On va l'arrondir à 3000W.

Énergie minimale au Liban : 4.8 kWh/ m².jour

Coefficient de correction : 0.56

Énergie minimale que peut délivrer les panneaux par jour: 3000 W * 0.56 * 4.8 = 8064 soit 8100 Wh /j (utilisée avec les batteries)

Énergie demandée par jour :

3000 W * 8 (heures de travail/jour) = 24000 Wh /j

Pour satisfaire ce besoin, on a besoin d'une puissance de:

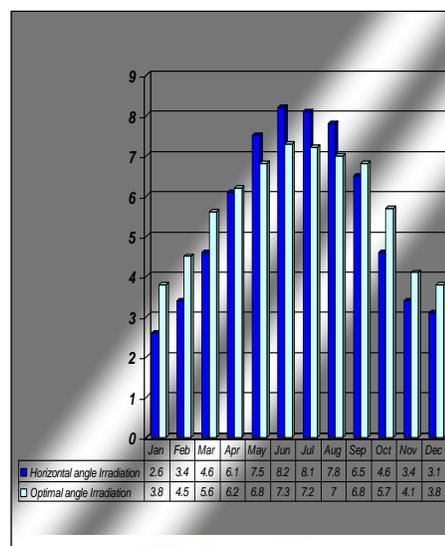
$P = 24000 / (0.56 * 4.8) = 8923 = 8.9 \text{ kWp} * 0.7$ (Utilisation du tracker) = 6.25 kWp

En utilisant des modules de 175 Wp :

n = 36 modules de 1.3 m²

Surface totale utilisée pour les panneaux = 36 * 1.3 = 46m²

These Solar World PV modules are designed for use in high-voltage grid-tie applications as well as in large industrial and off-grid applications for 24- or 48-volt battery charging. These modules use 72 five-inch semi-square single-crystalline cells in series behind tempered glass. They feature clear-anodized aluminum frames and a sealed junction box with bypass diodes and Multi-Contact locking connector output cables. 25-year warranty. UL Listed.



La LETTRE

Numéro 21

Juillet 2011

Item No.	Dimension (mm)	Peak Power (W)	Peak Voltage (V)	Price Euros	Weight (kgs/pc)	Packing (pcs/ctn)	Packing (mm)	Size
SN-40	633*536*34	40	17	165.00	4.5	5	700*603*327	
SN-50	830*536*34	50	17	205.50	5.8	5	897*603*327	
SN-75	1140*542*34	80	17	324.00	8.6	5	1262*609*327	
SN-90	1195*542*34	90	17	360.50	8.6	5	1262*609*327	
SN-125	1209*808*50	125	17/34	496.50	13	2	1215*814*102	
SN-150	1455*808*50	150	16.5/33	596.00	15.2	2	1461*814*102	
SN-175	1580*808*50	175	36	696.00	16.5	2	1586*812*102	
SN-185	1580*808*50	185	36	736.00	16.5	2	1586*812*102	

2.12- Dimensionnement et sélection de la batterie

Lorsque notre puissance excède 1kW, on utilise des batteries de 48 VDC. Et en considérant que cette batterie devrait être autonome pendant 3 jours non ensoleillés, et avec un degré de décharge de 80%, la capacité de notre batterie sera :

$$8100 * 3 / (0.6 * 48) = 843.75 \text{ soit } 850 \text{ Ah}$$

On divise cette capacité en 22 batteries de capacités 40 Ah.

Pour le choix des batteries, on choisit VPOWER.



<input type="checkbox"/> Voltage:	48 Volts
<input type="checkbox"/> Lifecycle:	>1000 times
<input type="checkbox"/> Capacity:	40 Amp Hours
<input type="checkbox"/> Dimension:	345x280x140mm
<input type="checkbox"/> Weight:	27.4 kg
<input type="checkbox"/> Charging Voltage:	<61 Volts
<input type="checkbox"/> Charging Current:	3 Amps
<input type="checkbox"/> Rated Discharging Amperage:	<40 Amps
<input type="checkbox"/> Max Discharging Amperage:	2C

La LETTRE

Numéro 21

Juillet 2011

2.13- Dimensionnement et sélection du régulateur solaire

On a une puissance de 6.25 kW. On va installer 2 régulateurs de 3.125 KW chacun. On choisit le régulateur Sunny Island 3324

Sunny Island 3324

The Sunny Island battery inverter 3324 is particularly suited for use small-scale and medium-sized stand-alone grids or back-up systems. energy sources as solar power, wind energy and hydropower systems connected on both the AC side and the DC side. The devices ensure a reliable, high-quality power supply and operate extremely quietly. their excellent overload characteristics and their design for high ambient temperatures, the Sunny Island 3324 is suitable for use under extreme conditions.

Features:

- Suitable for 2 to 5.4kW systems
- AC and DC coupling of energy sources and loads
- Extreme overload capacity
- Intelligent battery management for maximum battery service
- Easy installation
- Quick installation



in
Such
can be

Due to

life

2.13- Dimensionnement et sélection de l'onduleur

L'onduleur qu'on doit choisir doit pouvoir supporter les 6.25kW et doit fournir une tension de 230V-50Hz et une puissance très proche de 6.25KW.

On choisit le Sunny Mini Central SMC 7000TL

Sunny Mini Central high power string inverter - transformerless technology for light weight

High output power (7000W @ 230Vac)

PV Grid Tie inverter with max input voltage (700Vdc)

max input power 7200W

IP65

LCD display

Electronic Solar Switch - DC Circuit Breaker

MC3 connection to PV array

AS4777 Certified

(WxDxH, mm): 468 x 242 x 613

Weight: 32kg



Cette lettre a été réalisée grâce au support
Directeur de publication: Hassane Jaber, Ré
Email: alme@inco.com.lb

La LETTRE

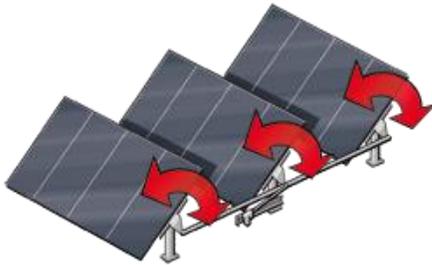
Numéro 21

Juillet 2011

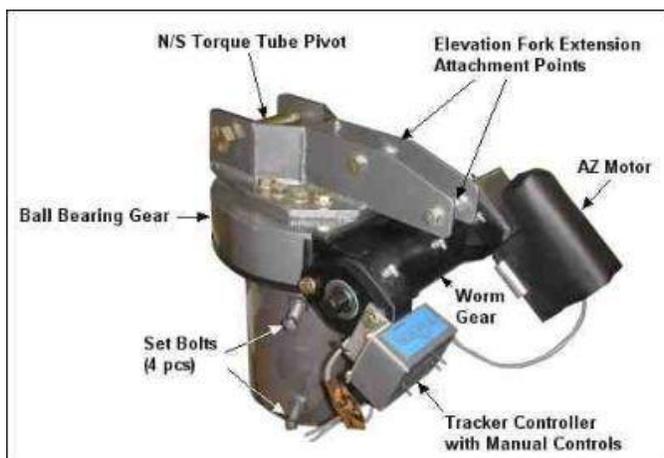
2.14- Construction et dimensionnement du suiveur solaire

Construction :

C'est un système qui permet aux panneaux solaires de tourner autour d'un axe simple.



Le principe du traqueur solaire est simple : on installe les panneaux sur un support motorisé piloté par un montage électronique (qu'on a déjà expliqué dans le chapitre Suiveur Solaire dans le prototype) afin que les capteurs soient toujours positionnés de façon optimum par rapport au soleil.



Nous avons réalisé un système mécanique avec un moteur principal (Est Ouest).

port de l'ADEME (www.ademe.fr)
r, Rédacteur en chef: Tony Matar
web: www.almee.org.

La LETTRE

Numéro 21

Juillet 2011

Sur ce système mécanique, nous avons placé le circuit contenant les deux résistances LDR. Les circuits de contrôle et de commande sont mis dans une boîte et placé à la base de la monture qui supporte le système mécanique.



Ces modèles permettent aux traqueurs de suivre le soleil par la rotation autour d'un axe fixe. Au gain solaire optimum, l'angle de cet axe fixe doit être ajusté manuellement sur une base périodique tout au long de la saison.

Les suiveurs se présentent tous sous une même géométrie, quelque soit leur taille :

- 1 pied central largement dimensionné ancré dans un massif en béton.
- 1 structure portant les panneaux, mobile sur un axe vertical et réglable angulairement.

Cette structure est pivotée électriquement et automatiquement. Elle permet le suivi du soleil au cours de la journée sans aucune nuisance sonore !

L'ensemble est galvanisé à chaud afin de présenter une résistance très élevée à la corrosion. L'ensemble de la fourniture est conforme aux normes en vigueur concernant le dimensionnement structural, la prise au vent, poids de la neige, les raccordements électriques...

Donc pour construire le tout, on a besoin de :

- Cadre et éléments de fixation entièrement en acier électrozingué
- Clips en acier inoxydable pour la fixation des panneaux
- Commande : électronique, y compris l'accumulateur en boîtier plastique
- Moteur linéaire pour le suivi de la trajectoire du soleil

La LETTRE

Numéro 21

Juillet 2011

Sur les photographies on peut voir divers détails du suiveur :



Assemblage de la structure



Le nouveau suiveur, comparé avec ceux de plus petite capacité

La LETTRE

Numéro 21

Juillet 2011



Détail du contrôleur



Composants du contrôleur

La LETTRE

Numéro 21

Juillet 2011



Cette lettre a été réalisée grâce au support de l'ADEME (www.ademe.fr)
Directeur de publication: Hassane Jaber, Rédacteur en chef: Tony Matar
Email: alme@inco.com.lb web: www.almee.org.

La LETTRE

Numéro 21

Juillet 2011

Dimensionnement :

Pour choisir le moteur, on doit répondre au cahier de charge. Il doit supporter la masse et la taille du panneau solaire.

Sélection commerciale :

Dans notre cas, on a besoin de 36 modules, chacun de 175W, de surface 1.3 m² et de masse 16.5Kg.

On divise les modules en 2 panneaux chacun de 18 modules de masse 297Kg.

On prend 2 moteurs MOTECK 24 V DC REGULAR, supportant 3000N (300Kg), avec leurs capteurs de lumière et interrupteurs limiteurs.

NB : On remplacera le Reed Switch Sensor par un Light Dependant Resistor.



Model	MN(mini)	TD(regular)	HV(heavy-duty)
Input	36 V DC (24 V DC available)		
Load Capacity	1500N	3000N	4500N
Stroke Length	200,250,300 mm	300,450,600 mm	450,600,900 mm
Drive	ACME		
Full Load Speed	2.6mm/sec	4.2 mm/sec	4.2 mm/sec
Duty Cycle	20 %		
Operation Temperature	-26° ~ 65° C (-15° ~ 150° F)		
Limit Switch	Adjustable		
Sensor	Reed Switch Sensor		
Static Load	2800N	4500N	9000N

Cette lettre a été réalisée grâce au support de l'ADEME (www.ademe.fr)

Directeur de publication: Hassane Jaber, Rédacteur en chef: Tony Matar

Email: alme@inco.com.lb

web: www.almee.org.

La LETTRE

Numéro 21

Juillet 2011

Influence du prix initial de l'installation

- **Diminution du prix initial du système PV : 50%**
- **Diminution du prix initial du système à absorption : 20%**
- **Prix initial de l'installation solaire : 72000\$**
- **Temps de retour de l'installation solaire : 36 ans**

Influence du prix du pétrole

- **Prix du Mazout = 5 x Prix actuel (2800\$/tonne)**
- **Coût annuel de fonctionnement du système habituel : 14300\$**
- **Coût annuel de fonctionnement du système solaire : 4470\$**
- **Temps de retour de l'installation solaire : 10.6 ans**

La LETTRE

Numéro 21

Juillet 2011

Influence de l'échauffement terrestre

- Augmentation de la température moyenne planétaire sur 25 ans :
0.6°C
➔ 1 heure supplémentaire de fonctionnement par jour
- Coût annuel de fonctionnement du système habituel : 3000\$
- Coût annuel de fonctionnement du système solaire : 1000\$
- Temps de retour de l'installation solaire : 52 ans

Influence de tous les paramètres

- Prix initial de l'installation solaire : 72000\$
- Coût annuel de fonctionnement du système habituel : 15754\$
- Coût annuel de fonctionnement du système solaire : 4881\$
- Temps de retour :

6.6 ans

La LETTRE

Numéro 21

Juillet 2011

La LETTRE

Numéro 21

Juillet 2011

La LETTRE

Numéro 21

Juillet 2011