

« ECHANGEUR-DESSICCANT » POUR LES INSTALLATIONS DE RAFRAICHISSEMENT SOLAIRE DE 10 kW

F. Boudéhenn¹, H. Demasles¹, M. Clausse² & D. De Pellegrin³

1 – CEA INES RDI, BP 332, 50 avenue du Lac Léman, 73377 Le Bourget du Lac, helene.demasles@cea.fr
2 – IFFI, Case 331 – CNAM, 292 rue Saint Martin, 75141 Paris Cedex, clausse@cnam.fr
3 – SPIREC, 120 rue Léon Jouhaux, 78500 Sartrouville, depellegrin@spirec.fr

Motivations & Objectifs

Contexte

Protocole de Kyoto et augmentation de la consommation en énergies primaires
Alternative à l'utilisation des HCFC

Utilisation courante de la climatisation

Inconvénients des roues dessiccantes : faible COP, mal adaptée aux faibles puissances, coût élevé, fuites thermiques et réaction exothermique dégradant les performances ...

Objectifs

Utilisation de l'énergie solaire
Utilisation de l'eau comme fluide caloporteur

Système de rafraîchissement solaire par dessiccation

Utilisation d'un échangeur multifonctionnel

Optimisation des transferts thermiques et des performances d'adsorption

Conclusions & Perspectives

Conclusions

Gain apporté par le refroidissement d'environ 2,5
Importance de la température de régénération qui conditionne les capacités d'adsorption
Débits d'eau (froide et chaude) non limitant
Pertes de pression trop importantes engendrées par le lit fixe

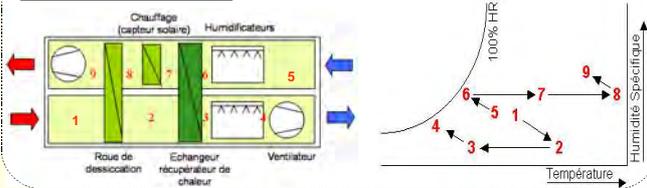
Perspectives

Essais complémentaires et performances du système complet avec l'échangeur dessiccant SPIREC
Performances et caractérisation du nouveau prototype à faible ΔP
Modélisation de l'échangeur et comparaison avec les systèmes DEC classiques
Analyse des viabilités énergétique et économique et de la gestion énergétique du système

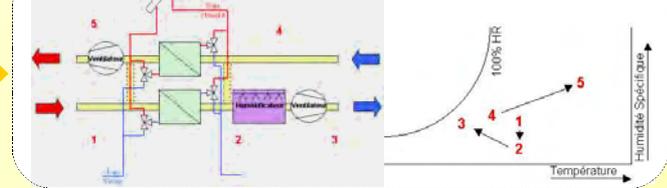
Principe

Remplacement de la roue dessiccante et des deux échangeurs thermiques par deux échangeurs dessiccants fonctionnant en alternance en phase d'adsorption et de régénération

Système DEC classique



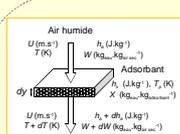
Système avec les échangeurs dessiccants



Utilisation d'eau froide pour évacuer la chaleur de sorption lors de la phase d'adsorption et d'eau chaude issue des capteurs solaires pour la régénération de l'adsorbant

Études & Procédures Expérimentales

Étude du phénomène d'adsorption



Conservation de masse

$$\rho_a (1 - \epsilon) \frac{\partial X}{\partial t} = K_a A_s (W - W_s)$$

$$\rho_a \epsilon \frac{\partial W}{\partial t} + U_p \rho_w \frac{\partial W}{\partial t} = -K_a A_s (W - W_s)$$

Conservation d'énergie

$$\rho_a (1 - \epsilon) \frac{\partial h_a}{\partial t} = K_a A_s (T - T_p) + K_a A_s (W - W_s) \frac{\partial h_s}{\partial W}$$

$$\rho_a \epsilon \frac{\partial h_a}{\partial t} + \rho_w U_p \frac{\partial h_w}{\partial t} = -K_a A_s (T - T_p) - K_a A_s (W - W_s) \frac{\partial h_s}{\partial W}$$

Hypothèses

- Modèle adiabatique et isobare ;
- Gradients transverses (T et W) nuls ;
- U constante et unidirectionnelle ;
- Propriétés physiques de l'adsorbant uniformes ;
- Diffusion longitudinale de l'humidité négligeable ;
- Conduction longitudinale de la chaleur négligeable.

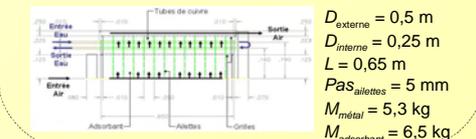
Paramètre	Gel de Silice		Gel de Silice	
	ESB 200	ESB 300	ESB 200	ESB 300
ρ _a (kg/m ³)	1,2	1,2	1,2	1,2
ρ _w (kg/m ³)	1000	1000	1000	1000
U _p (m/s)	0,1	0,1	0,1	0,1
K _a (s ⁻¹)	0,1	0,1	0,1	0,1
h _a (kJ/kg)	2500	2500	2500	2500
h _w (kJ/kg)	4180	4180	4180	4180
h _s (kJ/kg)	2500	2500	2500	2500
h _g (kJ/kg)	2500	2500	2500	2500

Dimensionnement des Prototypes

Échangeur SPIREC en cuivre Air/Eau spirale à plaques et ailettes ondulées soudées



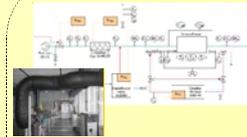
Prototype à faible ΔP en cours de réalisation
Par diminution de la vitesse de l'air et de la profondeur du lit



- D_{externe} = 0,5 m
- D_{interne} = 0,25 m
- L = 0,65 m
- Pas_{aillettes} = 5 mm
- M_{métal} = 5,3 kg
- M_{adsorbant} = 6,5 kg

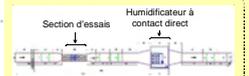
Caractérisations expérimentales

Du Prototype (CEA)



Performances de l'échangeur : Type d'adsorbant, intérêt du refroidissement de l'échangeur pendant la phase d'adsorption, pertes de pression...
Influence des paramètres : Température de régénération, débit d'air et d'eau, humidité d'entrée, temps de cycle...

Du Système (IFFI)

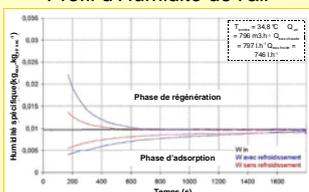


Performances du système : Étude du système complet (avec humidification par contact direct), étude du refroidissement, bilans énergétiques de l'installation ...
Performances de l'échangeur : Essais complémentaires

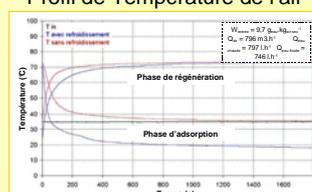
Résultats Marquants

Essais réalisés avec l'échangeur dessiccant SPIREC intégrant 2,501 kg de gel de silice ENGELHARD de type N

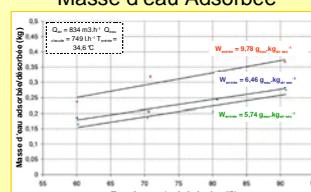
Profil d'Humidité de l'air



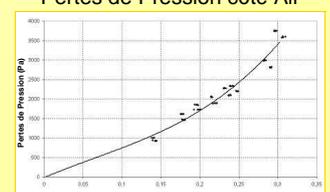
Profil de Température de l'air



Masse d'eau Adsorbée



Pertes de Pression côté Air



Les phases de régénération sont trois fois plus courtes que les phases d'adsorption.
Avec refroidissement, les phases sont plus longues d'environ 35 % car l'humidité stockée/évacuée est plus importante.

Régénération : les temps de mise en régime sont deux fois plus longs avec refroidissement (ΔT ads/rég plus important)
Adsorption : les temps de mise en régime apparaissent similaires.

La masse d'eau adsorbée/désorbée augmente linéairement avec la température de l'eau de régénération.
La masse d'eau adsorbée augmente avec l'humidité spécifique de l'air en entrée.

Pertes de pression proches de celles d'un lit poreux : prédominance des caractéristiques du lit face à celles de la géométrie.
Pour 900 m³.h⁻¹.d'air, ΔP = 3500 Pa. (58 fois > au ΔP SPIREC vide)