

# ABSORBEUR POREUX COMPOSITE

## III.1. PROBLÉMATIQUE

### III.1.1. Position du problème

En examinant les résultats obtenus dans le chapitre II dans le cas d'un absorbeur poreux simple, il est constaté que l'absorbeur isolant est caractérisé par la température maximale de la matrice solide tandis que celui conducteur, par sa température moyenne. Cette température maximale de l'absorbeur isolant est supérieure à la température moyenne de l'absorbeur conducteur dans les mêmes conditions d'échange convectif volumique et de débit d'air, c'est à dire, même paramètres  $\Theta$  et  $\Gamma$ .

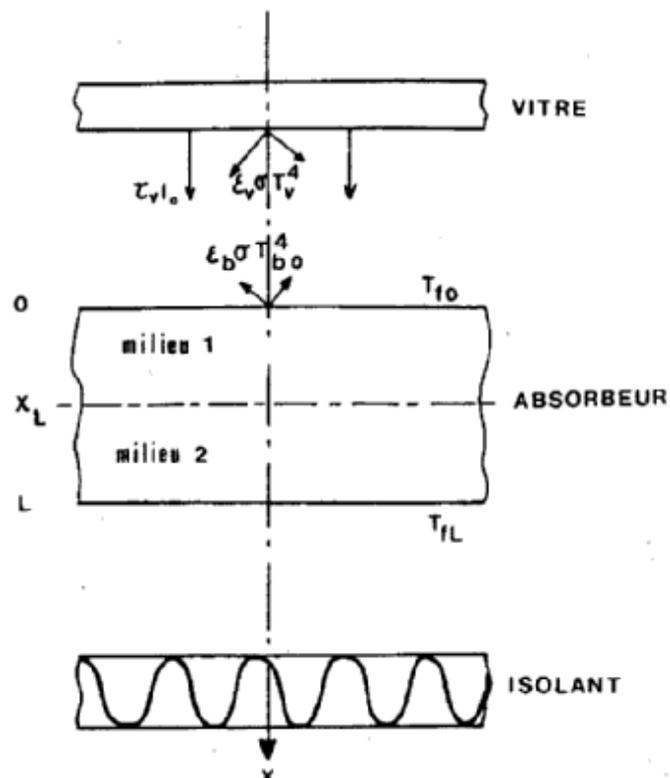
Or, la plupart des absorbeurs poreux possèdent une forte porosité [Hammou 88]. Par conséquent,  $(1-P)$  est faible, ce qui entraîne des faibles valeurs de  $\Omega$  en général.

Une amélioration des performances peut être obtenue en recherchant un absorbeur poreux conducteur et en utilisant un absorbeur ayant une matrice solide composée de deux matériaux différents dont l'un est isolant et l'autre, conducteur : c'est le cas d'un absorbeur composite.

### III.1.2. Description du système

On a presque le même système physique que celui étudié dans le cas de l'absorbeur poreux simple, sauf que cette-fois ci, la matrice solide est constituée de deux matériaux ayant deux valeurs différentes de  $\Omega$  et accolés l'un à l'autre.

Un milieu poreux isolant de faible valeur de  $\Omega$  du côté de la face d'entrée de l'air pour obtenir une température maximale est assemblé avec un autre milieu poreux conducteur de forte valeur de  $\Omega$  du côté de la face de la zone sortie pour maintenir le niveau de température obtenu.



**Figure 10** : Représentation du système physique étudié

### III.1.3. Hypothèses

Toutes les hypothèses de calcul imposées dans le chapitre I sont prises en compte.

En plus, dans la zone de séparation de deux milieux ( $x=x_L$ ), on suppose que le flux de conduction dans la phase solide est continu [Hammou 88].

## III.2. ÉQUATIONS DE TRANSFERTS THERMIQUES

On a un nouveau système physique presque semblable au premier système, sauf au niveau de l'absorbeur. Par conséquent, la modélisation du système avec un absorbeur composite se déduit des équations déjà établies dans le cas du système à absorbeur poreux simple.

Pour l'absorbeur composite, on considère deux milieux affectés d'indices respectifs 1 et 2 avec une zone de séparation repérée par l'abscisse  $x_L$ .

### III.2.1. Milieu 1

- Phase gazeuse

$$P\rho_f C_{pf} V_1 \frac{dT_f}{dx_1} = H_{v1} (T_b - T_f) \quad (III.1)$$

- Matrice solide

$$(1 - P)\lambda_b \frac{d^2 T_b}{dx_1^2} = H_{v1} (T_b - T_f) - \beta_v I_1 e^{-\beta_1 x} - 2\beta \epsilon_1 \sigma_1 \left( \frac{4}{5} T_b^4 - T_f^4 \right) \quad (III.2)$$

### III.2.2. Milieu 2

- Phase gazeuse

$$P\rho_f C_{pf} V_2 \frac{dT_f}{dx_2} = H_{v2} (T_b - T_f) \quad (III.3)$$

- Matrice solide

$$(1 - P)\lambda_b \frac{d^2 T_b}{dx_2^2} = H_{v2} (T_b - T_f) - \beta_v I_2 e^{-\beta_2 x} - 2\beta \epsilon_2 \sigma_2 \left( \frac{4}{5} T_b^4 - T_f^4 \right) \quad (III.4)$$

### III.2.3. Zone de séparation

Pour  $x=x_1=x_2=x_L$

$$\lambda_{b1}^+ (1 - P_1) \frac{dT_b}{dx_L} = \lambda_{b2}^+ (1 - P_2) \frac{dT_b}{dx_L} \quad (\text{III.5})$$

### III.2.4. Conditions aux limites

➤ Pour  $x=0$

$$T_f = T_{fo} \quad (\text{III.6})$$

$$\alpha_{b1} \tau_v I_o = \varepsilon_{b1} \sigma (T_{bo}^4 - T_v^4) - \lambda_{b1}^+ \frac{dT_b}{dx_1} \quad (\text{III.7})$$

➤ Pour  $x=L$

$$\frac{dT_b}{dx_2} = 0 \quad (\text{III.8})$$

### III.2.5. Rendement

Le rendement thermique de l'absorbeur poreux s'écrit :

$$\eta = \frac{P \rho_f C_{pf} V_2 T_{fL} - P \rho_f C_{pf} V_1 T_{fo}}{\tau_v I_o} \quad (\text{III.9})$$

## III.3. ÉQUATIONS ADIMENSIONNALISÉES

Pour l'adimensionnalisation de ces équations de transferts thermiques, on effectue les mêmes changements de variables comme dans le cas d'un absorbeur simple, en posant :

$$x^* = \beta x_1 = \beta x_2 \quad (\text{III.10})$$

$$T_b^* = \frac{T_b}{T_{fo}} \quad (\text{III.11})$$

$$T_f^* = \frac{T_f}{T_{fo}} \quad (\text{III.12})$$

En introduisant les paramètres adimensionnels définis dans le chapitre II, les équations du paragraphe III.2. deviennent :

### III.3.1. Milieu 1

➤ Phase gazeuse

$$\frac{dT_b^*}{dx^*} = \frac{\Theta_1}{\Gamma_1} (T_b^* - T_f^*) \quad (\text{III.13})$$

➤ Matrice solide

$$\frac{d^2 T_b^*}{dx^{*2}} = \frac{\Theta_1}{\Omega_1} (T_b^* - T_f^*) - \frac{\Psi}{\Omega_1} e^{-x^*} + 2 \frac{\varepsilon_1}{\Omega_1} (T_b^{*4} - \Phi) E_{21}(x^*) \quad (\text{III.14})$$

### III.3.2. Milieu 2

➤ Phase gazeuse

$$\frac{dT_b^*}{dx^*} = \frac{\Theta_2}{\Gamma_2} (T_b^* - T_f^*) \quad (\text{III.15})$$

➤ Matrice solide

$$\frac{d^2 T_b^*}{dx^{*2}} = \frac{\Theta_2}{\Omega_2} (T_b^* - T_f^*) - \frac{\Psi}{\Omega_2} e^{-x^*} + 2 \frac{\varepsilon_2}{\Omega_2} (T_b^{*4} - \Phi) E_{22}(x^*) \quad (\text{III.16})$$

### III.3.3. Zone de séparation

En  $x^* = x_L^*$

$$(1 - P_1) \lambda_{b1}^+ \frac{d(T_b^* T_{fo})}{dx_L^*} = (1 - P_2) \lambda_{b2}^+ \frac{d(T_b^* T_{fo})}{dx_L^*} \quad (\text{III.17})$$

Ou encore :

$$\beta_1 (1 - P_1) \lambda_{b1}^+ T_{fo} \frac{dT_b^*}{dx_L^*} = \beta_2 (1 - P_2) \lambda_{b2}^+ T_{fo} \frac{dT_b^*}{dx_L^*} \quad (\text{III.18})$$

En divisant chaque membre de l'équation(3.18) par  $\sigma T_{fo}^4$  , on trouve :

$$\frac{\beta_1 (1 - P_1) \lambda_{b1}^+}{\sigma T_{fo}^3} \frac{dT_b^*}{dx_L^*} = \frac{\beta_2 (1 - P_2) \lambda_{b2}^+}{\sigma T_{fo}^3} \frac{dT_b^*}{dx_L^*} \quad (III.19)$$

Où :

$$\Omega_i = \frac{\beta_i (1 - P_i) \lambda_{bi}^+}{\sigma T_{fo}^3}$$

$i = 1, 2$

D'où :

$$\Omega_1 \frac{dT_b^*}{dx_L^*} = \Omega_2 \frac{dT_b^*}{dx_L^*} \quad (III.20)$$

Ainsi,

$$\frac{dT_b^*}{dx_L^*} = \frac{\Omega_1}{\Omega_2} \frac{dT_b^*}{dx_L^*} \quad (III.21)$$

### III.3.4. Conditions aux limites

➤  $x^*=0$

$$T_{fo}^* = 1 \quad (III.22)$$

$$\frac{dT_b^*}{dx^*} = \frac{\beta_{b1}}{\Omega_1} (T_{bo}^* - \Phi) - \frac{\Psi_{\alpha_{b1}}}{\Omega_1} \frac{d\Phi}{dx^*} (1 - P_1) \quad (III.23)$$

➤  $x^*=x_L^*$

$$\frac{dT_b^*}{dx^*} = 0 \quad (III.24)$$

### III.3.5. Rendement

Le rendement de l'absorbeur poreux est donné par :

$$\eta = \frac{P_p C_{pf} V_2 T_{fl} - P_p C_{pf} V_1 T_{fo}}{\tau_v I_o} \quad (III.25)$$

En introduisant les changements de variables, on obtient :

$$\eta = \frac{\sigma T_{fo}^4}{\tau_v I_o} \frac{P \rho_f C_{pf} V_2}{\sigma T_{fo}^3} T_{fl}^* - \frac{P \rho_f C_{pf} V_1}{\sigma T_{fo}^3} \ddot{\theta} \quad (III.26)$$

En remplaçant les expressions adimensionnelles par leurs notations respectives, on a :

$$\eta = \frac{\Gamma_1 T_{fl}^* - \Gamma_2}{\Psi} \quad (III.27)$$

### **III.4. RÉOLUTION**

La résolution du système d'équations différentielles établi pour l'absorbeur composite d'un capteur à air se fait avec les mêmes méthodes que celles utilisées pour l'absorbeur poreux simple.

Dans l'absorbeur composite, il faut tenir compte de la continuité du flux de conduction effective dans la phase solide à la zone de séparation des deux matériaux

La différence de cette étude avec celle d'un absorbeur simple concerne l'évolution du rendement de l'absorbeur composite en fonction des valeurs des paramètres adimensionnels et de la position de la zone de séparation à partir des problèmes et des hypothèses posées dans le paragraphe III.1..

Dans cette étude, les cinq paramètres qui régissent les équations de transferts de l'absorbeur poreux composite sont classés en deux groupes :

- Le premier groupe rassemble les trois paramètres qui peuvent être fixés à priori. Il s'agit de  $\Phi$  et  $\Psi$  qui sont déjà connus dans le cas de l'absorbeur simple et de  $\Omega$ .
- Dans le deuxième groupe, il y a les deux paramètres  $\Theta$  et  $\Gamma$  que l'on fait varier pour obtenir différentes conditions de fonctionnement et différentes caractéristiques de l'absorbeur.

#### **III.4.1. Premier groupe de paramètres**

##### **➤ Paramètre de conduction $\Omega$**

L'absorbeur poreux composite étudié est constitué par l'association de deux matrices solides dont l'une isolante est de faible valeur de  $\Omega$  et l'autre, conductrice, de grande valeur de  $\Omega$ .

Les paramètres de conduction  $\Omega_1$  et  $\Omega_2$  sont imposés à savoir  $\Omega_1=2,5$  pour la matrice isolante et  $\Omega_2=1000$  pour la matrice conductrice.

➤ **Paramètre de rayonnement  $\Phi$**

Les conditions de fonctionnement de l'absorbeur composite restent inchangées comparées à celles de l'absorbeur simple pour le système vitre-air. Les valeurs du paramètre  $\Phi$  représentant le rapport des températures de la vitre  $T_v$  et de l'air dans la zone d'entrée  $T_{fo}$  sont la même, soit  $\Phi = \Phi_1 = \Phi_2 = 1$ .

➤ **Paramètre de la température de la vitre  $\Psi$**

Les coefficients d'absorption et d'émission dans l'infrarouge des deux matériaux, qu'il soit isolant ou conducteur, sont proches de l'unité.

Les propriétés radiatives de ces deux matériaux sont supposées égales. Cela permet de poser  $\Psi = \Psi_1 = \Psi_2$  et sa valeur est prise égale à 2,1 comme dans le cas de l'absorbeur simple.

### **III.4.2. Deuxième groupe de paramètres**

➤ **Paramètre de débit d'air  $\Gamma$**

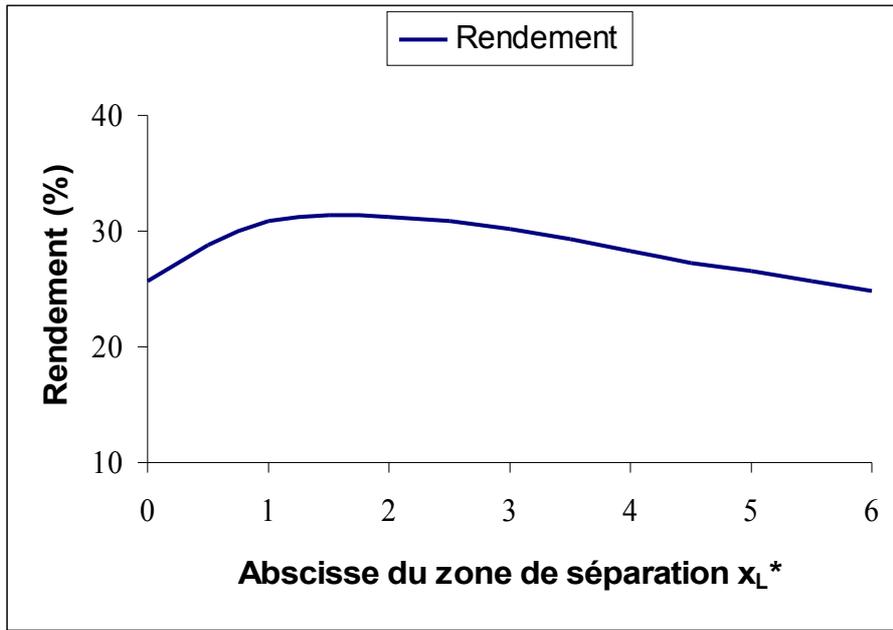
Par suite de conservation du débit, le paramètre représentant le débit d'air  $\Gamma$  est identique pour les deux matériaux, ainsi  $\Gamma = \Gamma_1 = \Gamma_2$ .

➤ **Paramètre d'échange convectif volumique  $\Theta$**

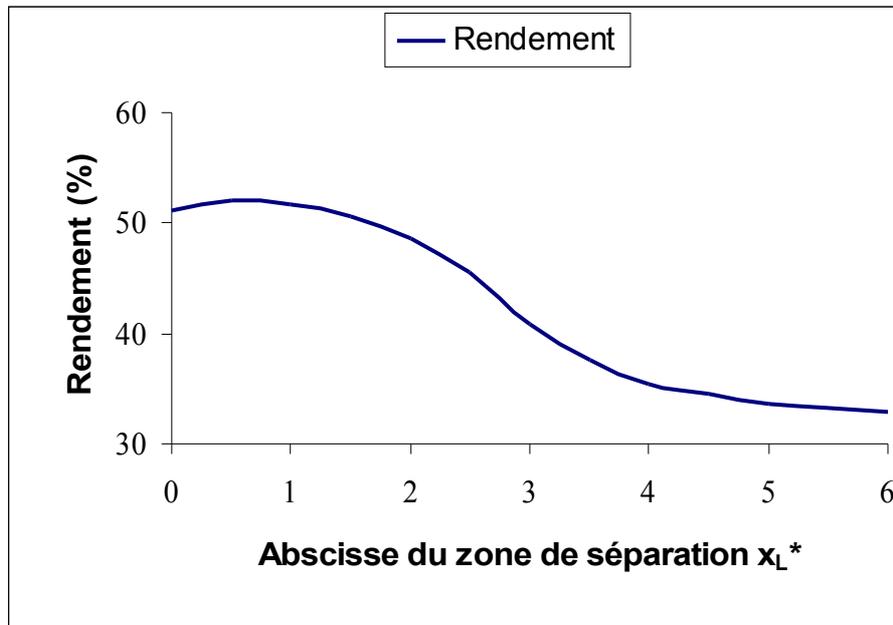
Pour deux valeurs différentes du paramètre de conduction effective  $\Omega$ , les paramètres d'échange convectif volumique  $\Theta_1$  et  $\Theta_2$  sont différents l'un de l'autre. Cependant, leur variation est supposée faible par rapport à celle du paramètre  $\Omega$ .

Afin d'étudier l'influence d'un matériau isolant sur un matériau conducteur, il est supposé que les valeurs des deux paramètres  $\Theta_1$  et  $\Theta_2$  sont différemment la même.

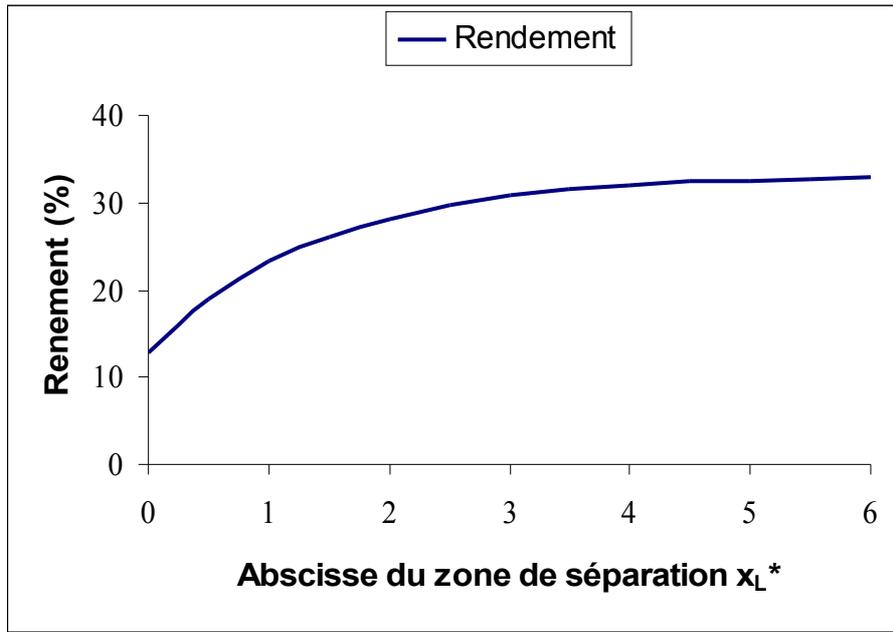
Ainsi, dans la résolution du système d'équations de transfert, on admet que  $\Theta_1 = \Theta_2 = \Theta$ .



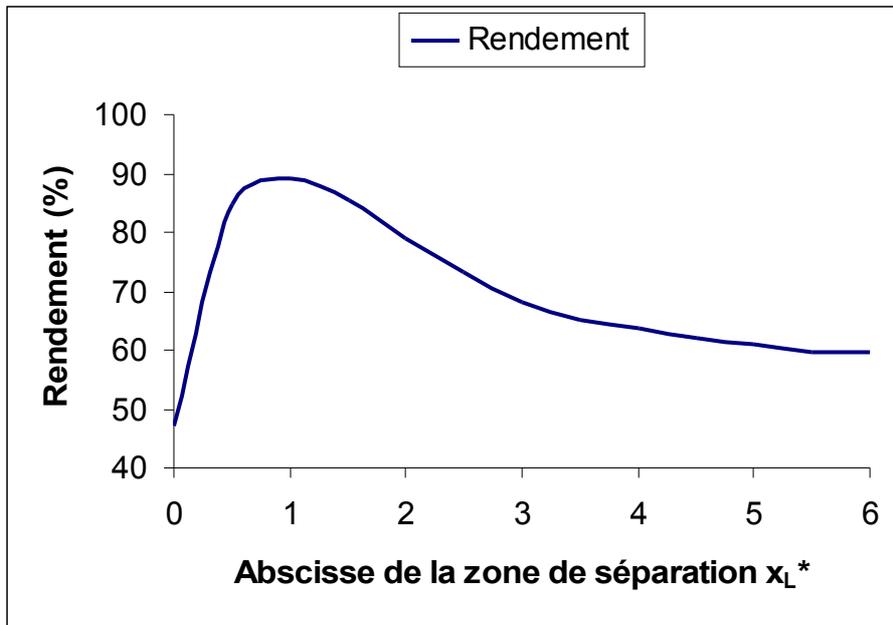
**Figure11** : Rendement de l'absorbeur composite pour  $\Theta=1$  et  $\Gamma=3$



**Figure12** : Rendement de l'absorbeur composite pour  $\Theta=1$  et  $\Gamma=30$



**Figure13** : Rendement de l'absorbeur composite pour  $\Theta=20$  et  $\Gamma=3$



**Figure14** : Rendement de l'absorbeur composite pour  $\Theta=20$  et  $\Gamma=30$

### **III.5. INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS**

Dans l'interprétation des résultats obtenus pour chaque type de conditions de fonctionnement de l'absorbeur poreux composite, on a considéré deux cas pour chaque paramètre du deuxième groupe défini dans le paragraphe précédent.

On a pris les cas d'échanges de convection volumiques faible et important et les cas de débit d'air faible et important.

#### **III.5.1. $\Theta$ faible et $\Gamma$ faible**

Lorsque l'échange convectif volumique et le débit d'air étaient faibles ( $\Theta=1$  et  $\Gamma=3$ ), on a constaté que le rendement de l'absorbeur poreux composite passe par un maximum. Ce maximum correspond à une valeur de  $x_L^*$  comprise entre 1,5 et 2 ( figure 11 ).

#### **III.5.2. $\Theta$ faible et $\Gamma$ important**

Lorsque l'échange convectif volumique étaient faible et le débit d'air devenait de plus en plus important, la position de la zone de séparation correspondant à la valeur maximale du rendement se rapprochait davantage de la face d'entrée. Pour une valeur important, le rendement maximal se trouvait à l'abscisse  $x_L^*=0$  ( figure 12 ).

Cela entraîne que le rendement maximal est obtenu pour une matrice entièrement conductrice.

#### **III.5.3. $\Theta$ important et $\Gamma$ faible**

Lorsque l'échange convectif volumique devenait de plus en plus important, le débit d'air restant faible, on a eu un résultat contraire à celui obtenu précédemment.

En effet, la position de la zone de séparation pour la valeur maximale du rendement se rapprochait de la face de sortie de l'air. Pour  $\Theta$  suffisamment grand, le rendement maximal correspondait à  $x_L^*=L^*$  ( figure 13 ).

Pour le cas de combinaison de paramètres tels que  $\Theta$  important et  $\Gamma$  faible, le rendement maximal a été obtenu pour une matrice entièrement isolante.

### **III.5.4. $\Theta$ important et $\Gamma$ important**

Lorsque l'échange convectif volumique et le débit de l'air étaient tous les deux à la fois importants, on a retrouvé une allure semblable à la courbe du premier cas ( $\Theta$  faible et  $\Gamma$  faible), même si les valeurs sont différentes.

En effet, à une certaine de la zone de séparation  $x_L^*$ , on observait une valeur maximale du rendement.

Cette valeur de  $x_L^*$  était comprise entre 1 et 1,5 (figure 14 ).

### **III.5.5. Remarque**

D'après les résultats des calculs effectués, la solution envisagé d'absorbeur poreux composite n'était valable que pour quelques conditions de fonctionnement bien définies.

En fait, l'absorbeur composite n'est pas intéressant que pour un paramètre d'échange convectif volumique et un paramètre de débit de l'air de même ordre de grandeur ( $\Theta \gg \Gamma$ ).

Les conditions convenables pour obtenir le meilleur rendement, concernant les cas considérés dans cette étude correspondent à un débit d'air élevé et à un coefficient d'échange convectif volumique important entre la matrice solide et l'air.

Si le coefficient d'échange convectif volumique  $\Theta$  est faible par rapport au coefficient de débit d'air  $\Gamma$ , il est préférable d'utiliser un absorbeur entièrement à matrice conductrice.

Dans le cas contraire où le coefficient d'échange convectif volumique  $\Theta$  est important par rapport au coefficient de débit d'air  $\Gamma$ , l'emploi d'un absorbeur totalement isolant semble plus appropriée que celui d'absorbeur poreux composite.