

MODÈLE ADIMENSIONNEL POUR LA CONCEPTION D'ADSORBEURS PERFORMANTS

Marc CLAUSSE

ESIEE Paris – LPGP2ES

Journée SFT – 17 février 2014

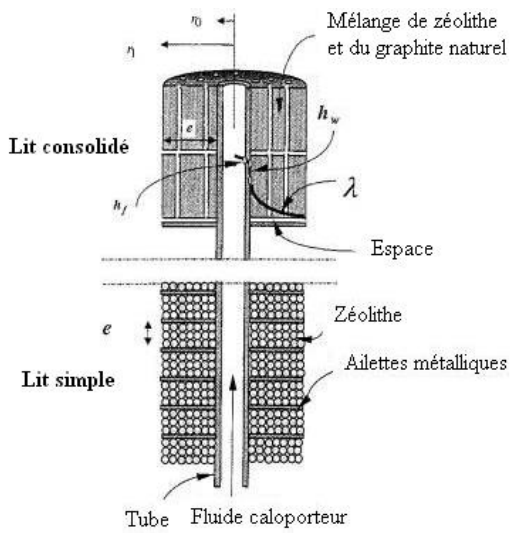
ENJEUX

- Développement des systèmes à adsorption limité par des problèmes de coût et de compacité :
 - ❑ Compression mécanique : 200 €/kW et 120 W/kg_{sys} (ou encore 36 kW/m³)
 - ❑ Adsorption : 2500 à 3500 €/kW et 25 W/kg_{sys} (ou encore 7 kW/m³)

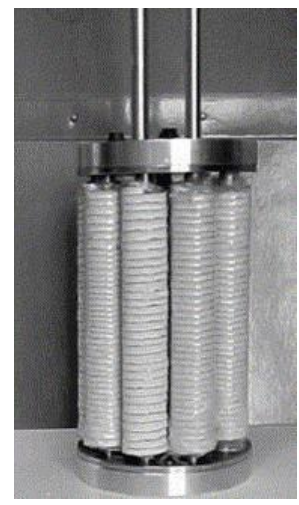
OBJECTIFS

- Intensification des échanges dans l'adsorbeur et l'évaporateur qui sont deux éléments clefs
- Adsorbeur => conception basée sur l'expérience
 - ❑ Distribution de la chaleur
 - ❑ Distribution du fluide
 - ❑ Contrainte => limiter l'accroissement de l'inertie thermique de l'ensemble

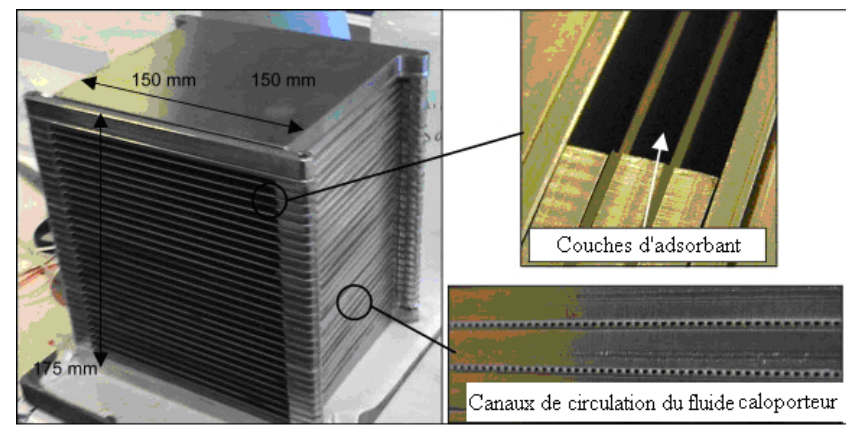
CONTEXTE : EXEMPLES D'ADSORBEURS



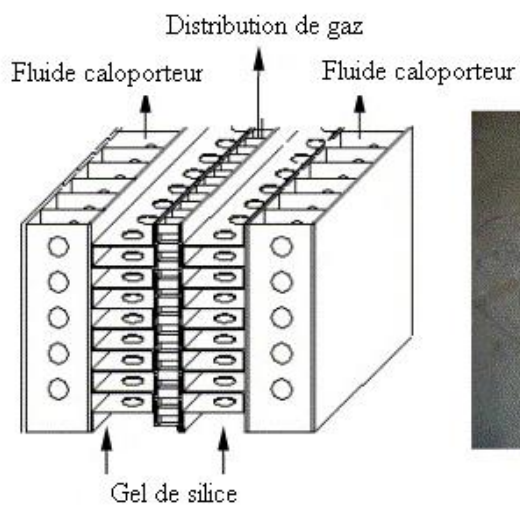
Poyelle et al. (1999)



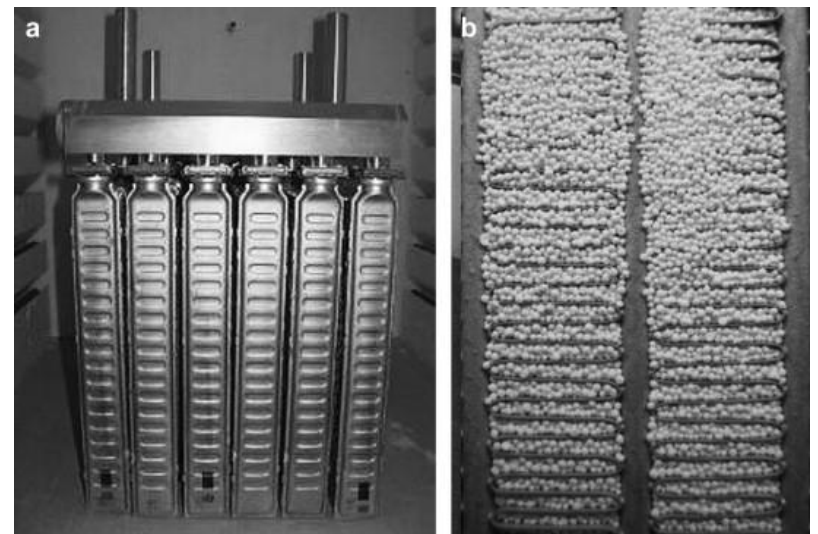
Restuccia et al. (2004)



Tamainot-Telto et al. (2009)



Liu et al. (2004)



Vasta et al. (2011)

PROBLÉMATIQUE

- Disposer d'un outil simple permettant un pré-dimensionnement de l'adsorbeur : facteur de forme, pas d'ailette, etc.
- Prise en compte des conditions opératoires et du couple
- Prise en compte de contrainte : optimisation de la puissance frigorifique ou/et du COP

APPROCHE (THÈSE F. MAKNI)

- Développement d'un modèle 3D dynamique simulant le comportement d'un adsorbeur
- Écriture adimensionnelle en vue d'identifier des NSD pouvant servir de base pour le pré-dimensionnement
- Étude paramétrique afin d'obtenir des « abaques » ou lois de comportement simples en fonction des conditions opératoires adimensionnelles et des caractéristiques. Les valeurs gardées sont celles obtenues pour l'état cyclique permanent et le temps de $\frac{1}{2}$ cycle amenant à la puissance maximale (contrainte choisie ici)

PRÉSENTATION DU MODÈLE (1/2)

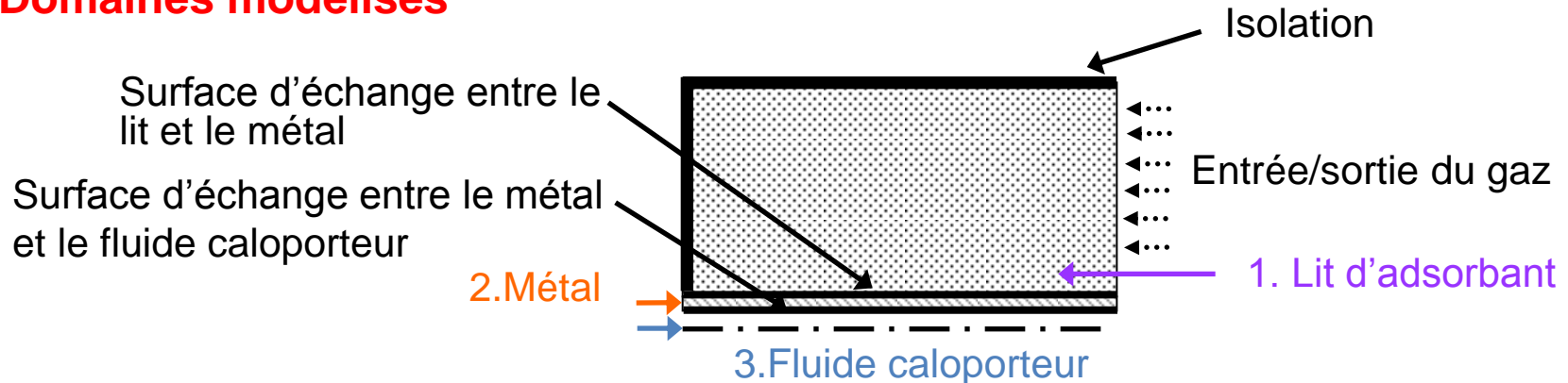
- l'adsorbat en phase gazeuse \Leftrightarrow gaz parfait
- porosité du lit, chaleur d'adsorption et viscosité du gaz sont considérées constantes
- capacités calorifiques du fluide caloporteur et du métal sont considérées constantes
- pertes thermiques vers l'ambiance sont négligées
- transfert de matière entre le gaz et l'adsorbant: équation de type LDF (Linear Driving Force)

Variables adimensionnelles

$$P^* = \frac{P - P_{ev}}{\Delta P} \quad T^* = \frac{T - T_{int}}{\Delta T_1} \quad q^* = \frac{q}{\Delta q} \quad t^* = \frac{t}{\Delta t_{ref}}$$
$$\Delta P = P_{cond} - P_{ev} \quad \Delta T_1 = T_{hot} - T_{int} \quad \Delta q = q_{max} - q_{min}$$
$$x^* = \frac{x}{L_{ref}} \quad y^* = \frac{y}{L_{ref}} \quad z^* = \frac{z}{L_{ref}}$$

Δt_{ref} = temps de demi-cycle
cst \forall simulations
(valeur tirée de la littérature)

Domaines modélisés



PRÉSENTATION DU MODÈLE (2/2)

Bilan masse
$$\frac{\partial \rho^*}{\partial t^*} + \nabla \left(\frac{KR}{VR} \rho^* \nabla P^* \right) = -\frac{(1-\varepsilon)}{\varepsilon} G \frac{\partial q^*}{\partial t^*}$$

Bilan de la quantité de mouvement
$$v^* = \left(\frac{KR}{VR} \nabla P^* \right)$$

Bilan énergie (Equilibre Thermique Local) – Lit d'adsorbant

$$\left[\left(\frac{(1-\varepsilon)}{\varepsilon} \right) \cdot (\alpha_{a-g} \cdot G + \alpha_{l-g} \cdot G \cdot q^*) + \rho^* \right] \cdot \frac{\partial T^*}{\partial t^*} + \nabla \left(-\frac{1}{Pe_{lit}} \nabla T^* \right) + \nabla (v^* \cdot \rho^* \cdot T^*) = \left(\frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} \right) \cdot \beta \cdot G \cdot \frac{\partial q^*}{\partial t^*}$$



$$G = \Delta q \cdot \rho_{ads} \cdot \frac{r \cdot \Delta T_1}{\Delta P}$$

$$KR = -\frac{K}{\mu_g} \frac{\Delta P}{L_{ref}}$$

$$VR = \frac{L_{ref}}{\Delta t_{ref}}$$

Bilan énergie - Métal

$$\frac{\partial T_m^*}{\partial t^*} + \nabla \left(-\frac{1}{Pe_m} \nabla T_m^* \right) = 0$$

Bilan énergie – Fluide caloporteur

$$\frac{\partial T_f^*}{\partial t^*} + \nabla \left(-\frac{1}{Pe_f} \nabla T_f^* \right) = \frac{v_f}{VR} \cdot \nabla T_f^*$$

INTERPRÉTATION DU PARAMÈTRE G (1/3)

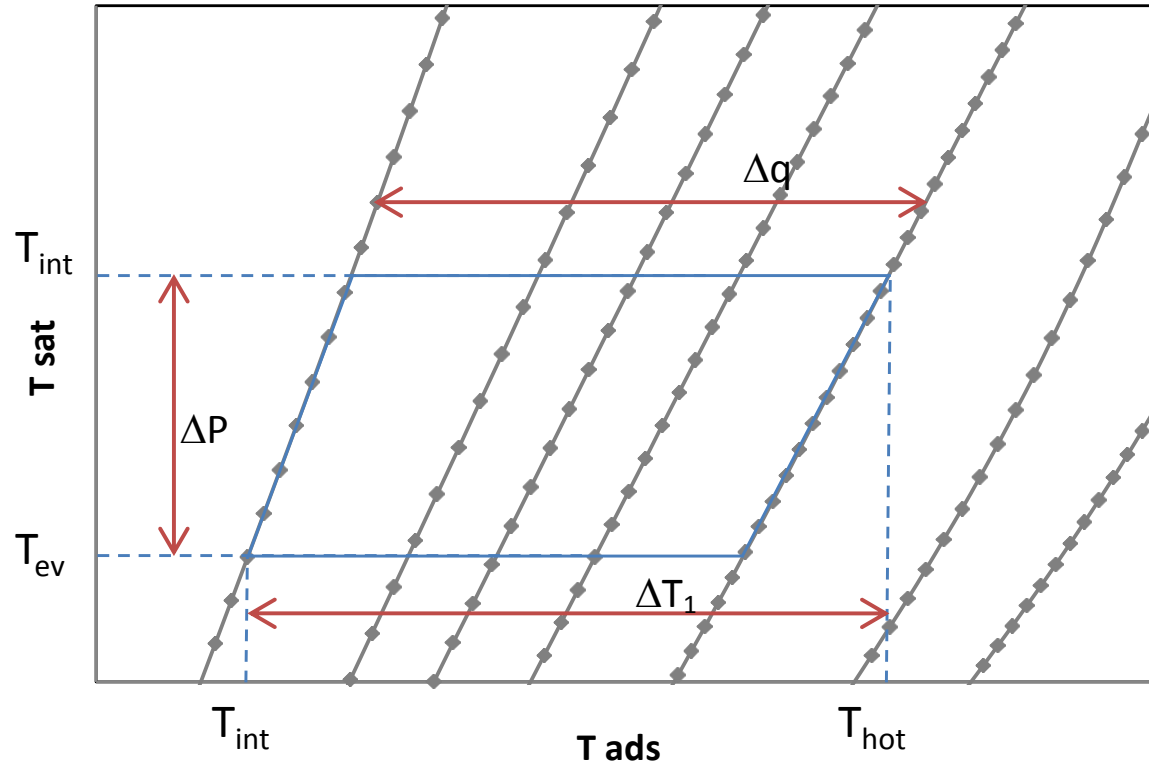
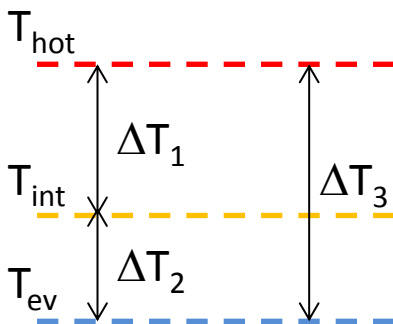
$$G = \Delta q \rho_{ads} \frac{r \Delta T_1}{\Delta P}$$

Dépendance:

- Conditions opératoires
- Paire adsorption
- Adsorbant

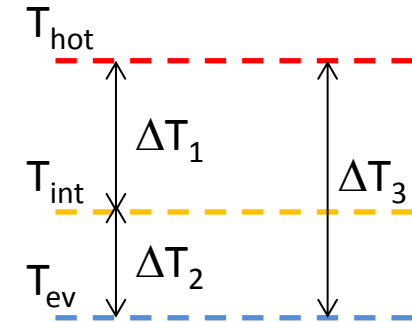
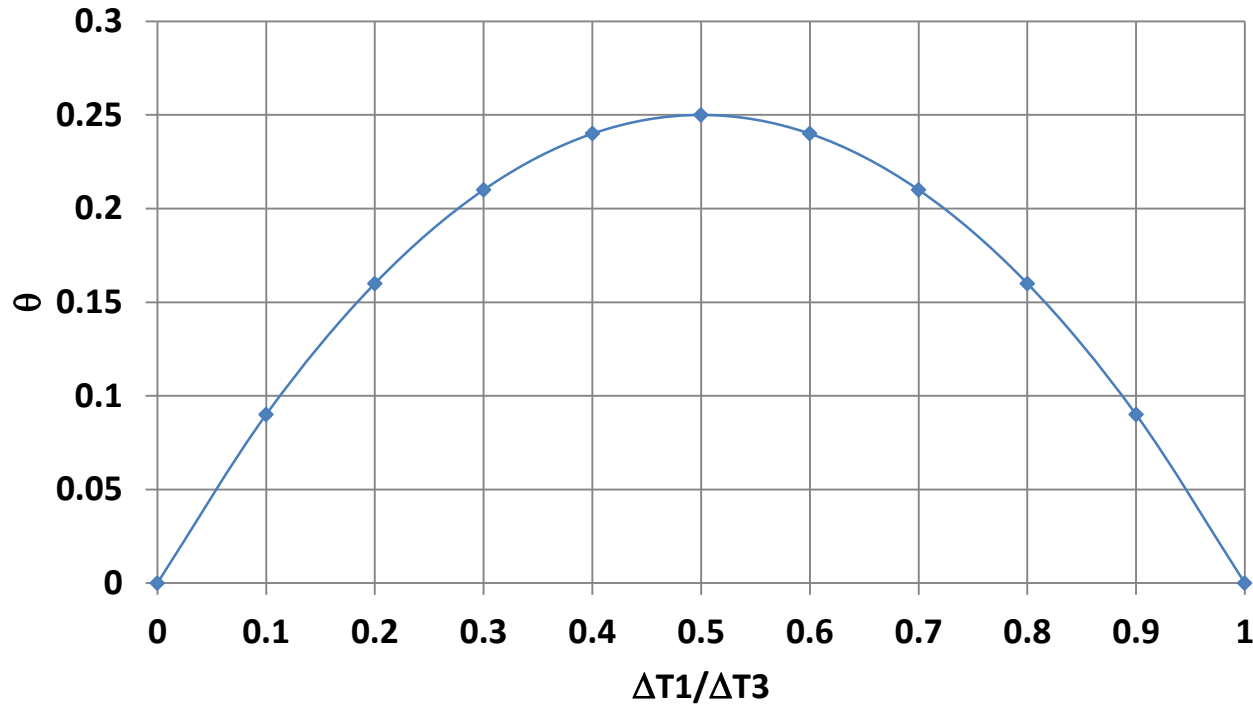


$$G = f(T_{hot}, T_{int}, T_{ev})$$



$$G = f(\theta) \text{ avec } \theta = \frac{\Delta T_1 \cdot \Delta T_2}{(\Delta T_3)^2} = \frac{\Delta T_1}{\Delta T_3} \left(1 - \frac{\Delta T_1}{\Delta T_3} \right)$$

INTERPRÉTATION DU PARAMÈTRE G (2/3)



Résultats

- θ max pour des sauts de températures égaux
- Pour $\Delta T_1/\Delta T_3 < 0,5 \Rightarrow \Delta T_1 < \Delta T_2$: fonctionnement impossible
- Pour $\Delta T_1/\Delta T_3 > 0,5 \Rightarrow \theta$ décroît quand $\Delta T_1/\Delta T_3$ augmente : θ élevé devrait correspondre à des puissances frigorifiques élevées

INTERPRÉTATION DU PARAMÈTRE G (3/3) : CAS 13X/H₂O

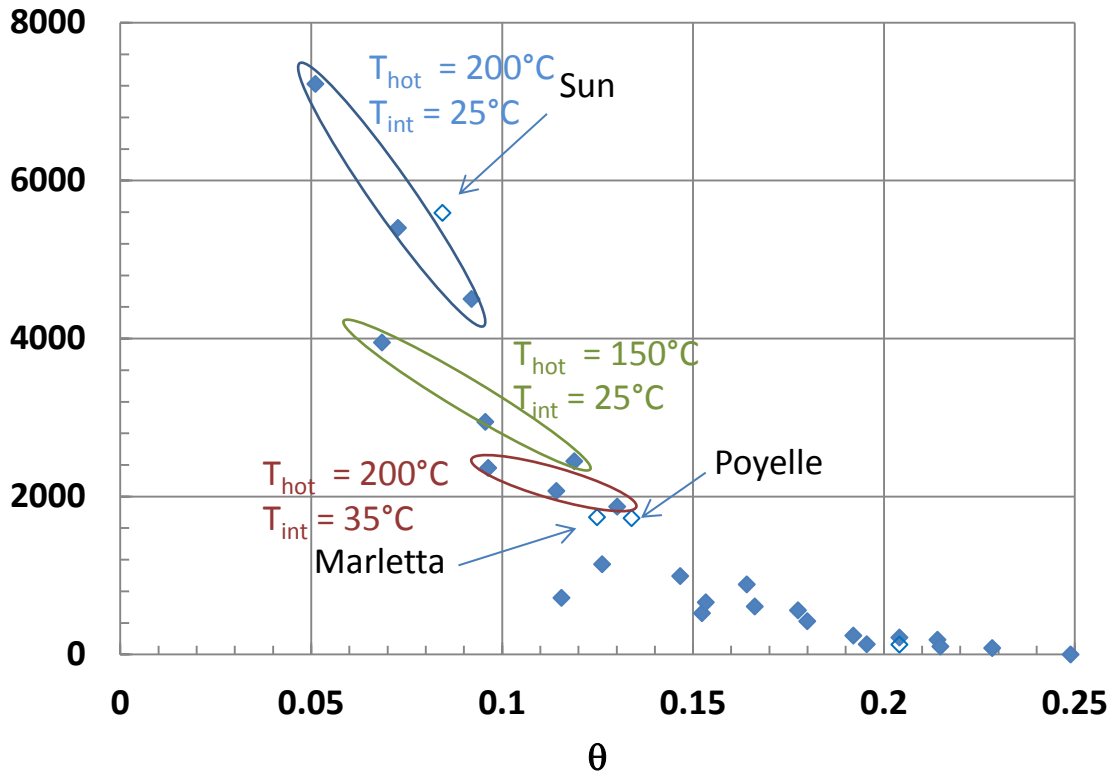
◆ 13X/H₂O ◇ 13X/H₂O exp.

Valeurs calculées

- $T_{ev} = 5, 10 \text{ et } 15^\circ\text{C}$
- $T_{int} = 25, 35 \text{ et } 50^\circ\text{C}$
- $T_{hot} = 90, 150 \text{ et } 200^\circ\text{C}$

Valeurs littérature

	T_{hot} (°C)	T_{intj} (°C)	T_{ev} (°C)
Marletta et al., 2002	210	35	5
Sun et al., 1994	220	25	5
Poyelle et al., 1999	230	40	4



Résultats

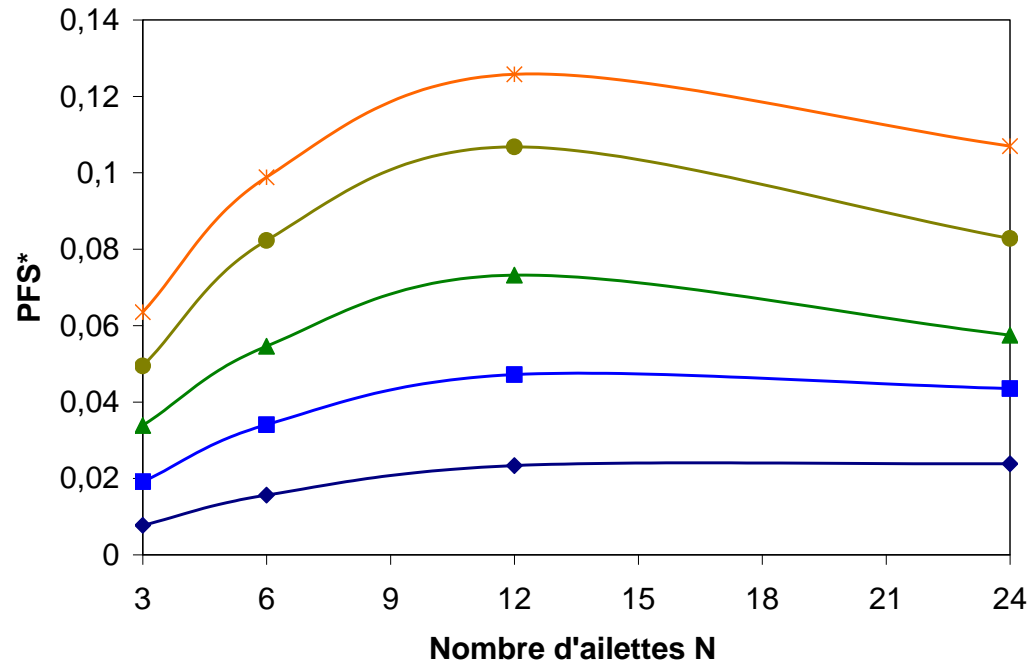
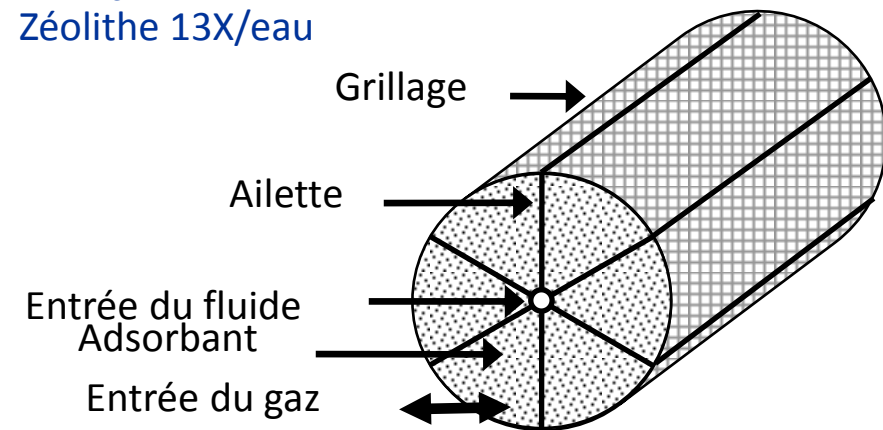
- A T_{hot} et T_{int} données la sensibilité à T_{ev} augmente quand θ diminue
- Confirmation du choix de G comme NSD majeur pour le dimensionnement des systèmes

INFLUENCE DU NOMBRE D'AISETTES (1/3)

$V = \text{constant} = 0,01\text{m}^3$

$X = L_{\text{réf}}/D = 6$

Zéolithe 13X/eau



Résultats

- Sensibilité importante de la PFS* à G
- La sensibilité à N est d'autant plus marquée que G est élevé : présence d'un maximum plus ou moins marqué

$$PFS^* = \frac{\Delta q}{\Delta q_{\max}} \cdot \frac{1}{M^*} \cdot \frac{\Delta q^*}{\Delta t_{1/2}^*}$$

* G = 5267

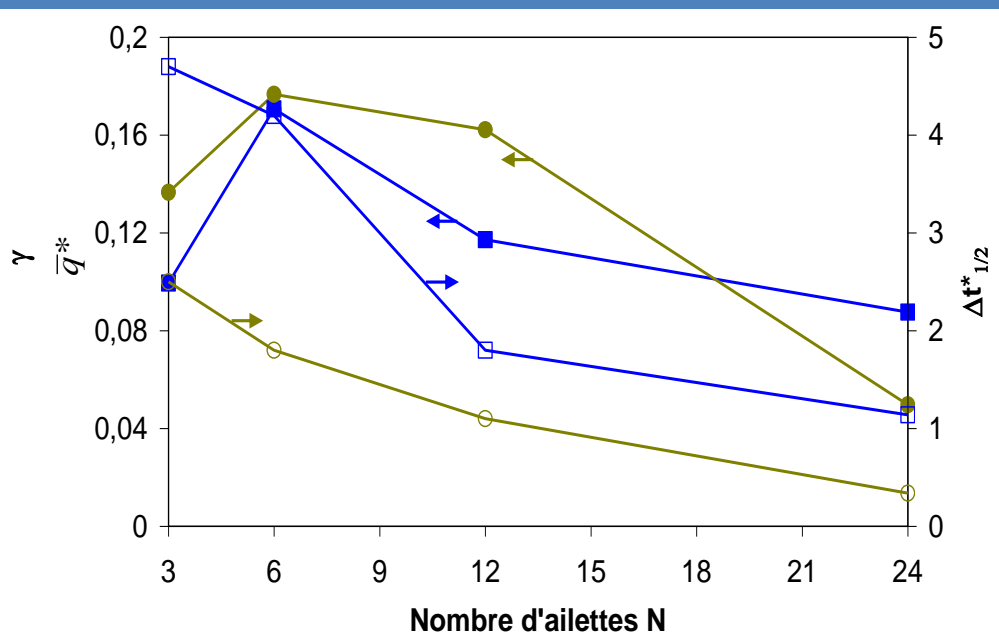
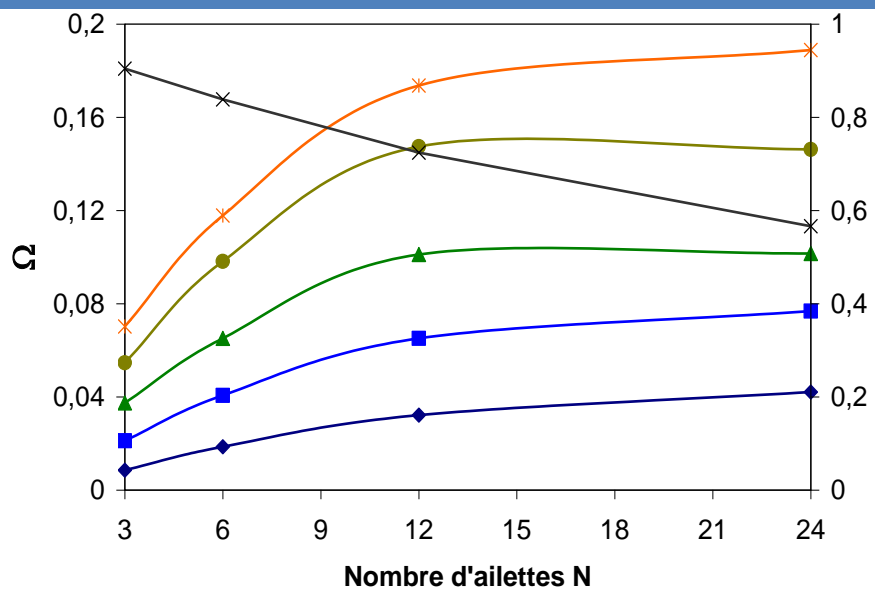
● G = 2278

▲ G = 1573

■ G = 935

◆ G = 234

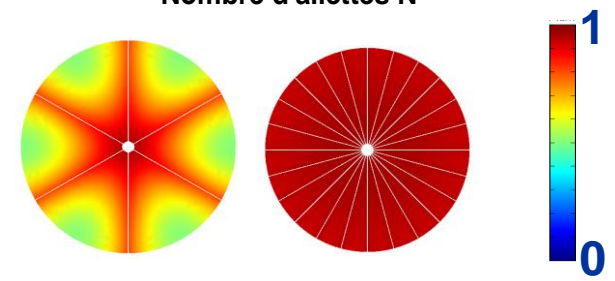
INFLUENCE DU NOMBRE D'AISETTES (2/3)



- * G = 5267
- G = 2278
- ▲ G = 1573
- G = 935
- ◆ G = 234

$$\Omega = \frac{\Delta q}{\Delta q_{\max}} \cdot \frac{\Delta q^*}{\Delta t_{1/2}^*}$$

$$\gamma = \frac{1}{M^*} \quad \text{avec} \quad M^* = \frac{M_{\text{sys}}}{M_{\text{ads}}}$$

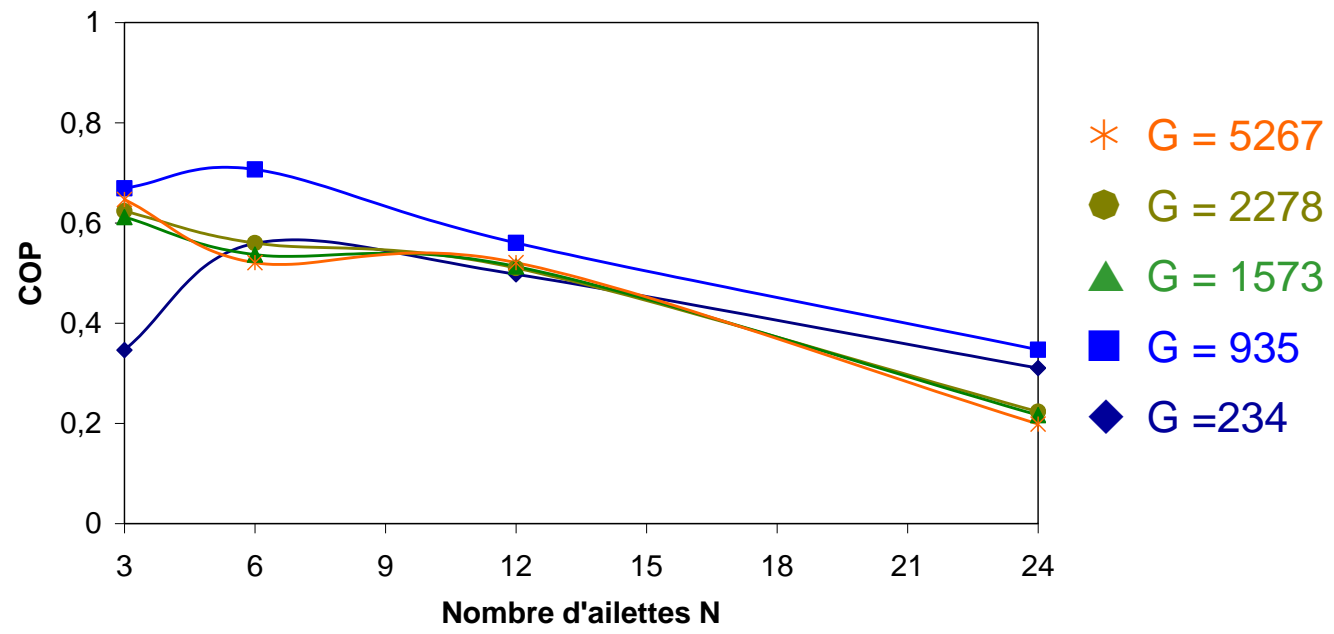


Température du lit à t* = 1 et à z* = 0,5 pour G = 1573

Résultats

- Temps de 1/2 cycle décroît continuellement avec l'augmentation de N
- Quantité cyclée passe par un maximum => compromis à trouver
- N grand amène à une stagnation ou une dégradation (augmentation inertie)

INFLUENCE DU NOMBRE D'AILETTES (3/3)



Résultats

- Valeurs les plus élevées atteintes pour N faible
- Influence de G moins prononcée que pour PFS*

CONCLUSION

CONCLUSION

- ✓ Premiers résultats concluants quant à l'intérêt de la démarche
- ✓ Le paramètre G apparaît comme un paramètre intéressant comme critère de dimensionnement
- ✓ Approche étendue à d'autres géométries et d'autres couples (thèse F. Makni)

PERSPECTIVES

- Aller plus loin dans l'approche fondamentale vers une expression de G fonction des températures et des paramètres des isothermes
- Étude sur les paramètres VR et KR

Merci pour votre attention