

Développement d'un générateur thermoélectrique chaud-froid de nouvelle génération

Benjamin DAVID, Julien RAMOUSSE, Lingai LUO

LOCIE CNRS - Savoie University

Institut National de l'Energie Solaire

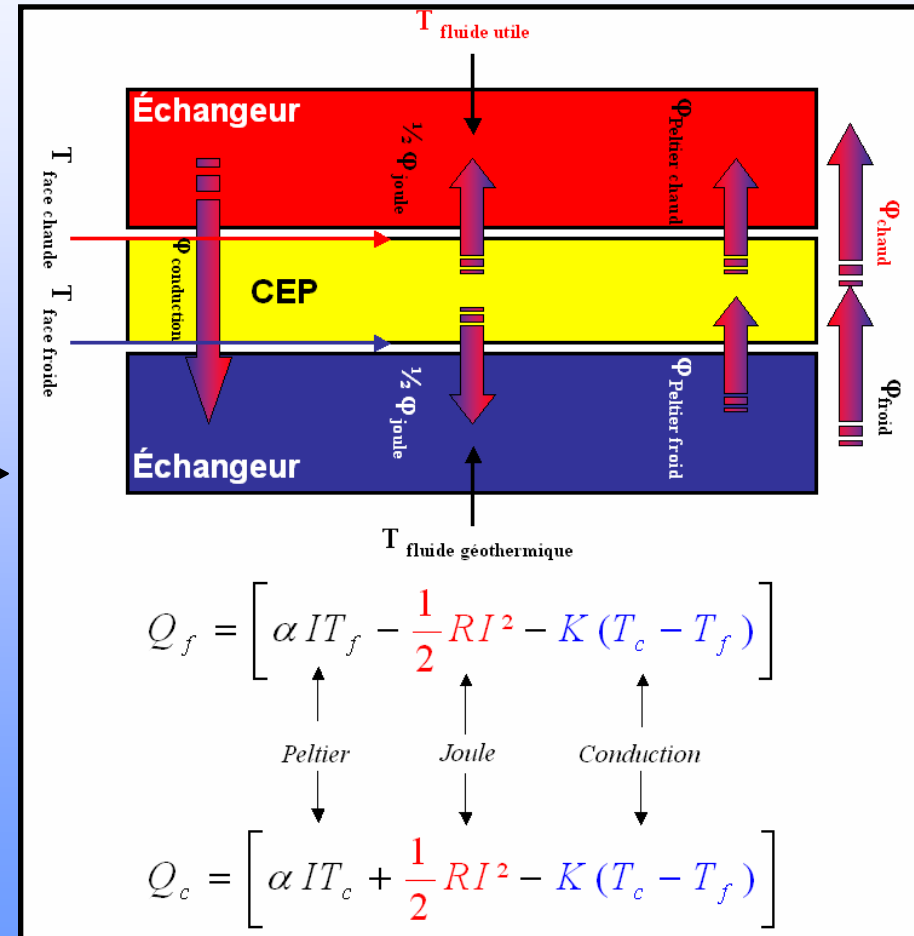
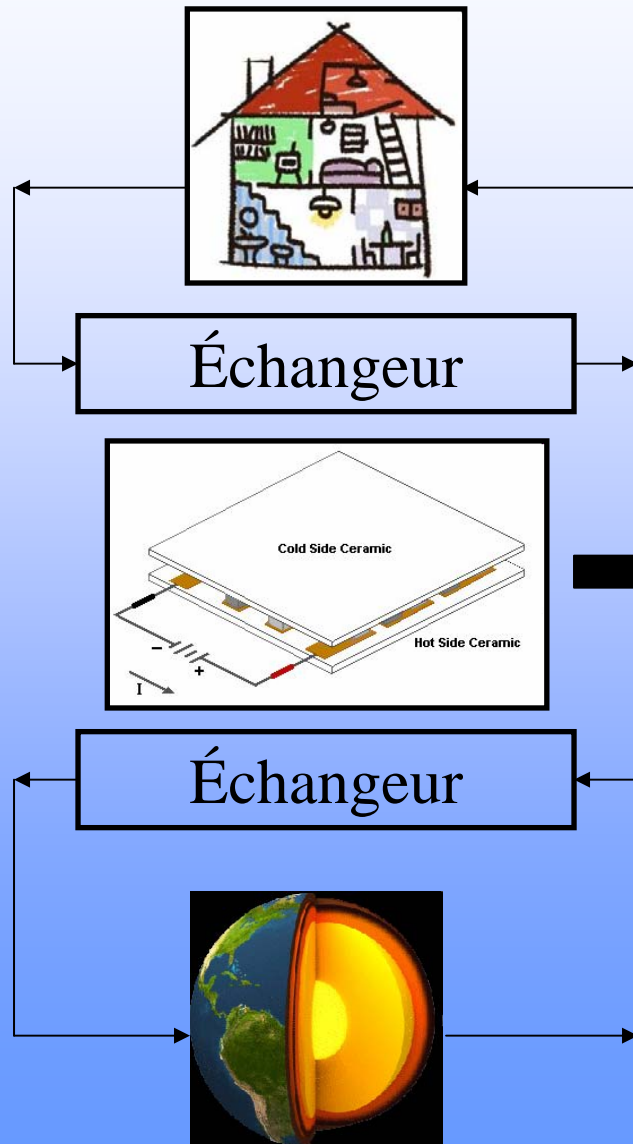
Polytech'Savoie, Savoie Technolac, 73376

Le Bourget Du Lac, France

GDR thermoélectricité, 7-8 juillet 2009, Nancy

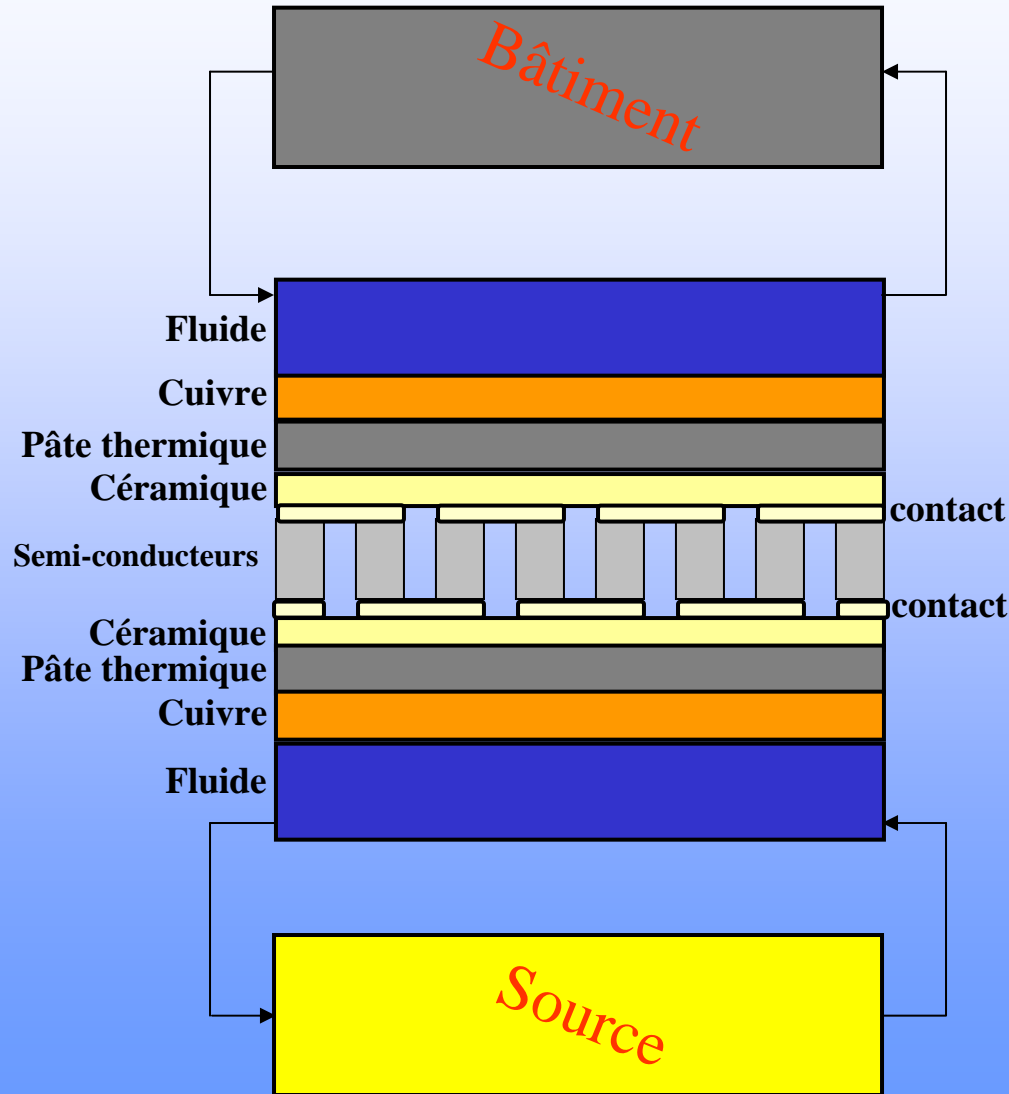
- ✓ INTRODUCTION
- ✓ Méthode de détermination des points de fonctionnements optimaux
- ✓ Leviers d'action pour l'intensification des transferts de chaleur
- ✓ Présentation d'un premier échangeur optimisé
- ✓ PERSPECTIVES

Présentation du système global:

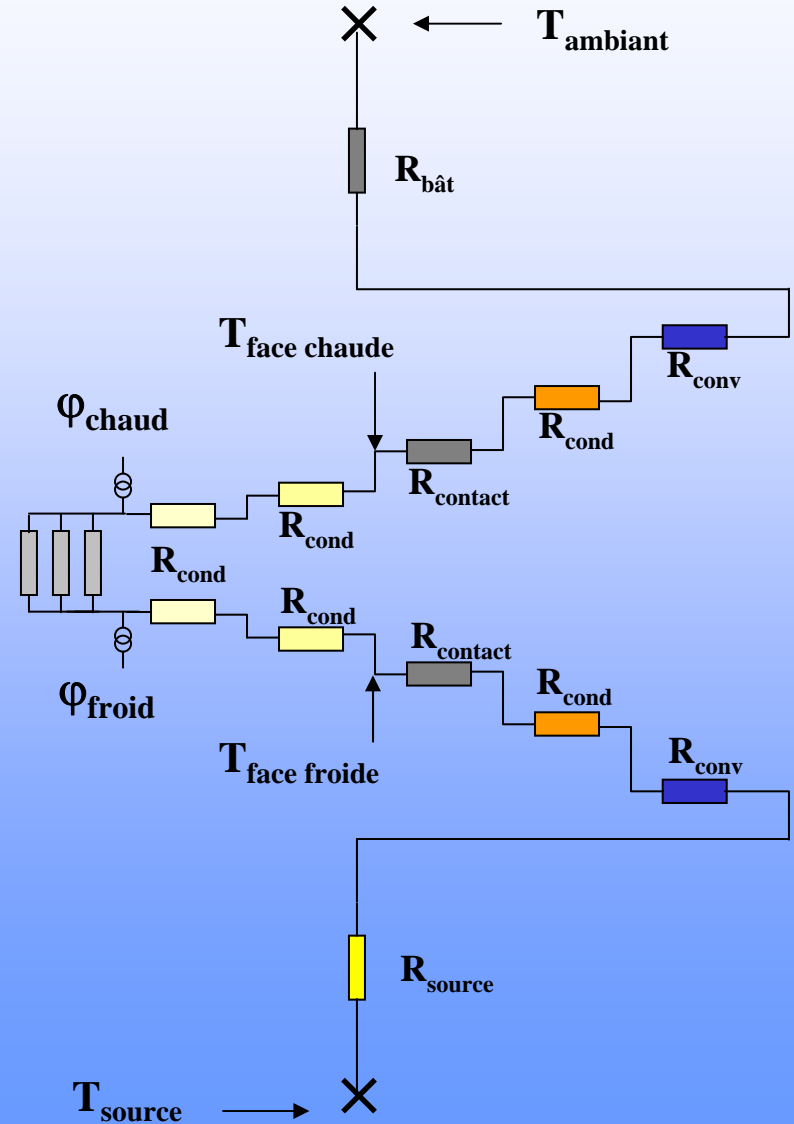


Bilan rapide sur les phénomènes thermiques:

Schéma de principe



Analogie électrique



**Méthode de détermination des points de
fonctionnement optimaux**

Contraintes :



Couple « température fluide utile (T) / puissance requise (Q) »



Température de source

Données d'entrée :

*Données
thermophysiques
du système*

- Résistance de conduction coté source
- Résistance de conduction coté utile
- Coefficients de convection
- Surfaces d'échange
- Coefficients Seebeck
- Résistance interne de la CEP
- Cp de l'eau
- Température entrée de la source
- Température de sortie de la source ou Débit

Données de sortie :

- $I=f(Q, T_{\text{utile}}, T_{\text{source}})$
- $COP=f(Q, T_{\text{utile}}, T_{\text{source}})$

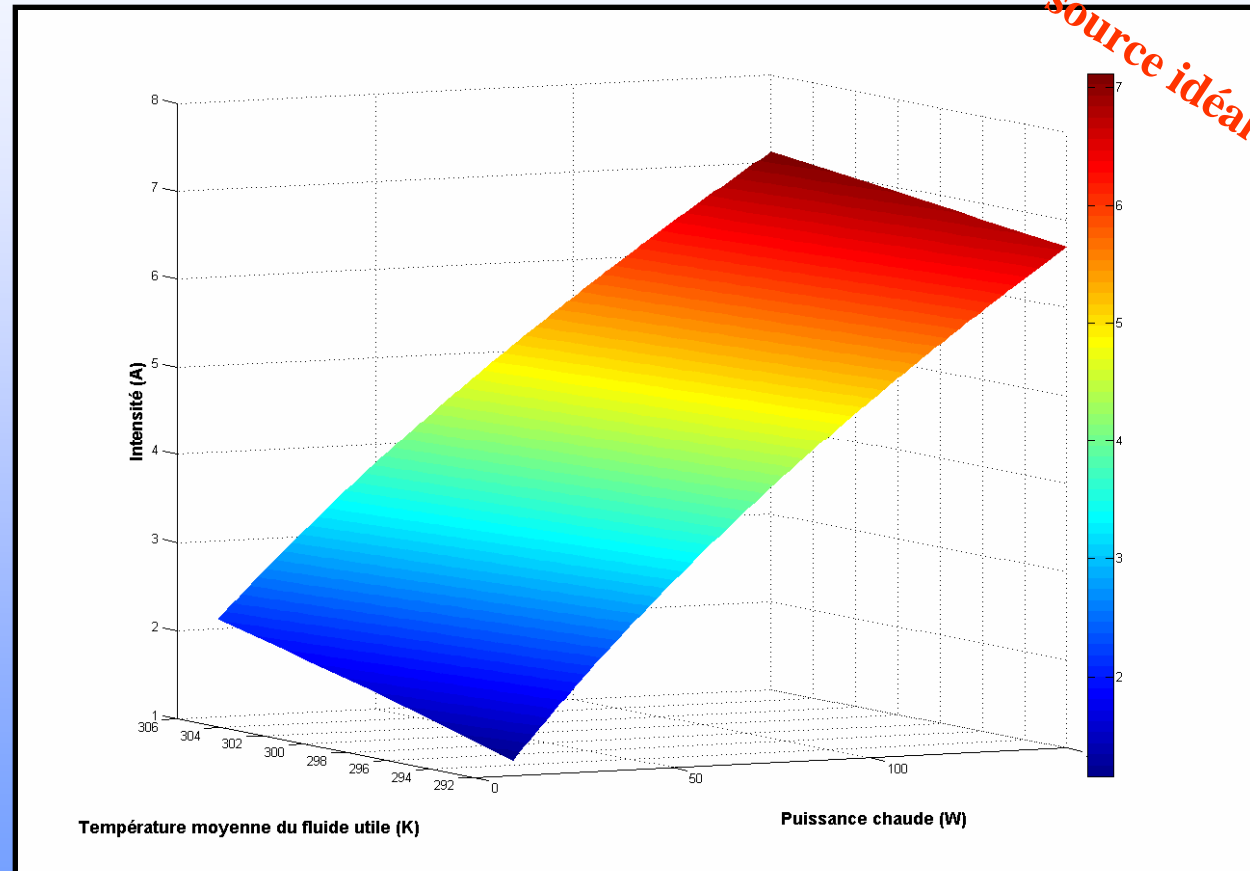
Données d'entrées

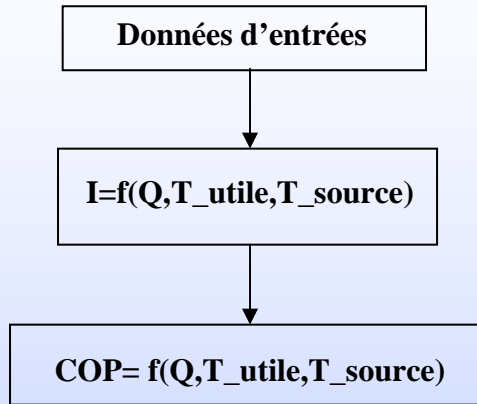


$I=f(Q,T_{\text{utile}},T_{\text{source}})$

Résultats : $I=f(Q,T_{\text{utile}},T_{\text{source}})$

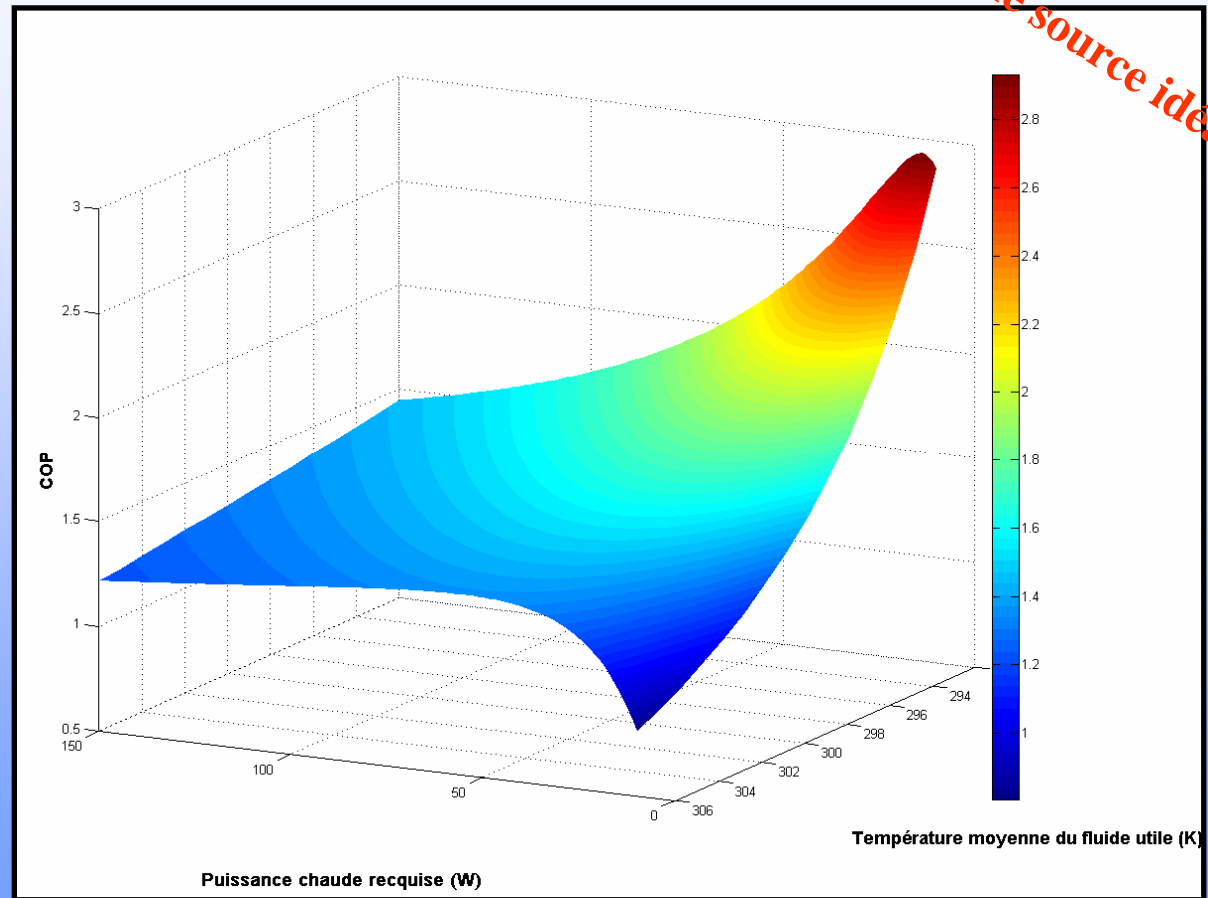
Pour une source idéale!!



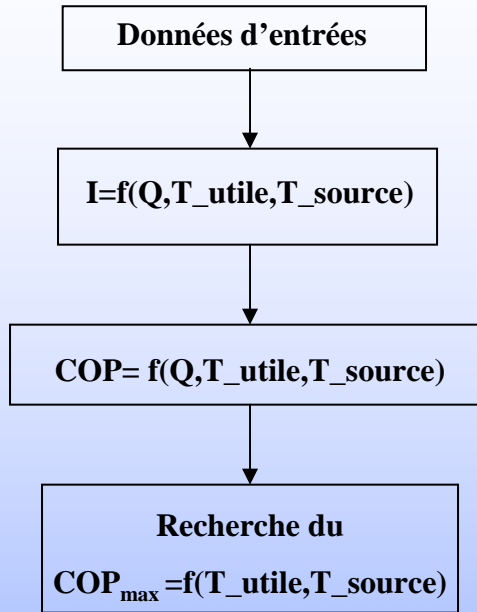


Résultats : $COP=f(Q,T_{\text{utile}},T_{\text{source}})$

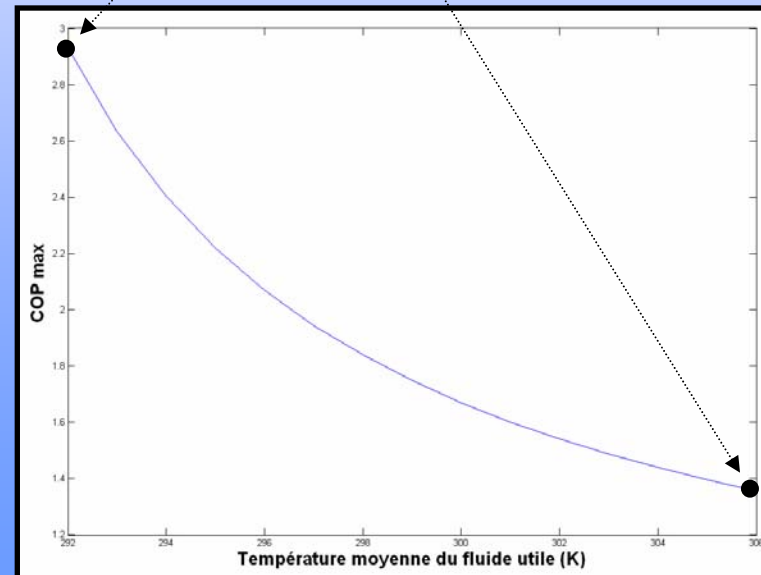
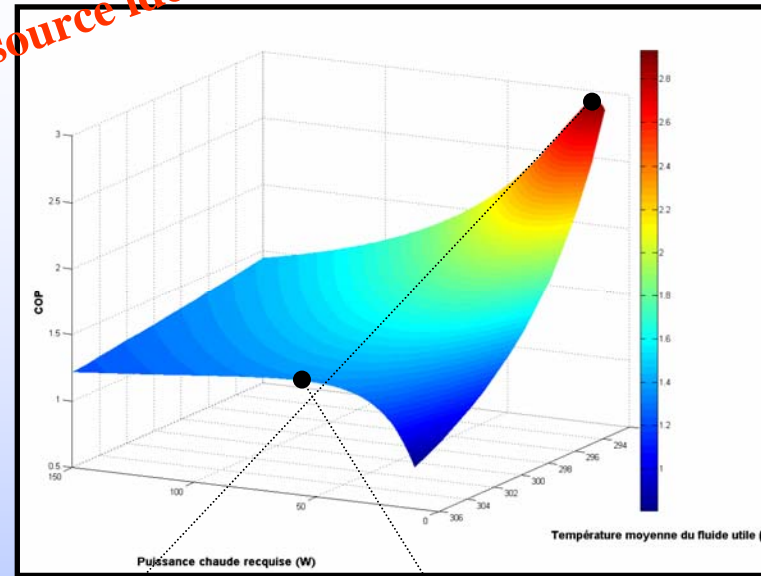
Pour une source idéale!!

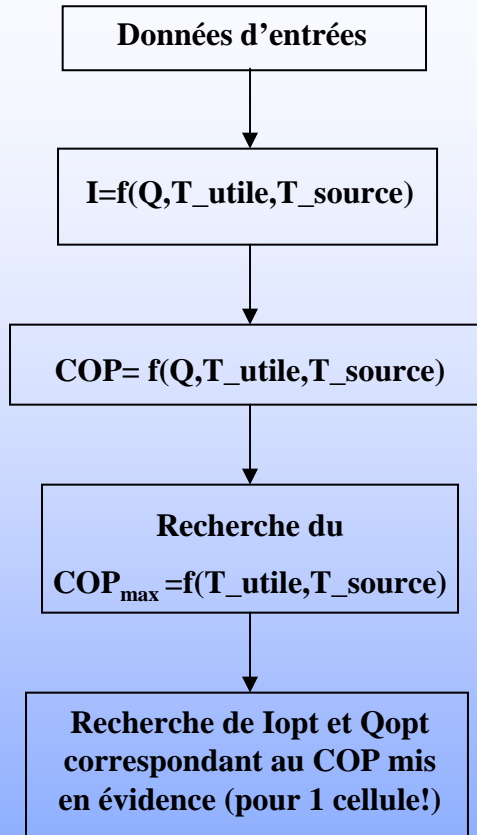


COP max~2,93

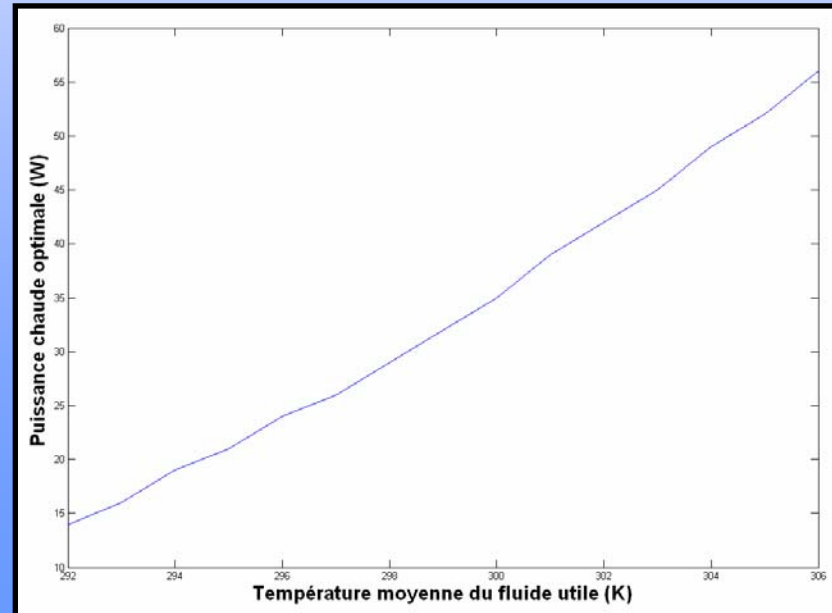
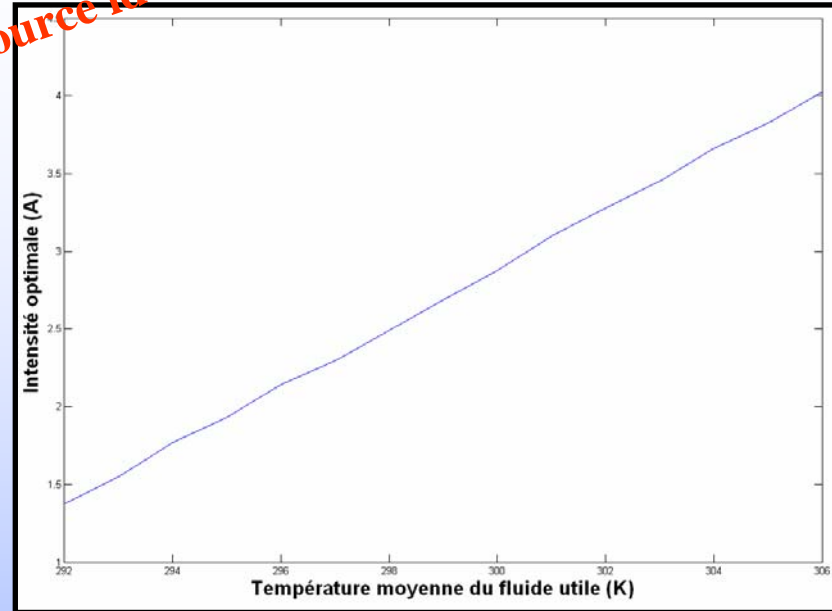


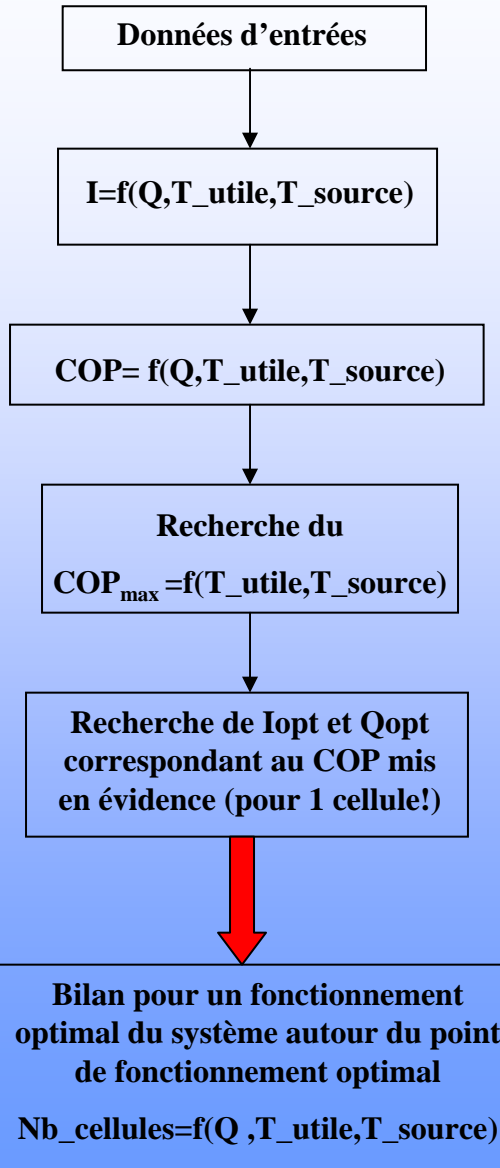
Pour une source idéale!!



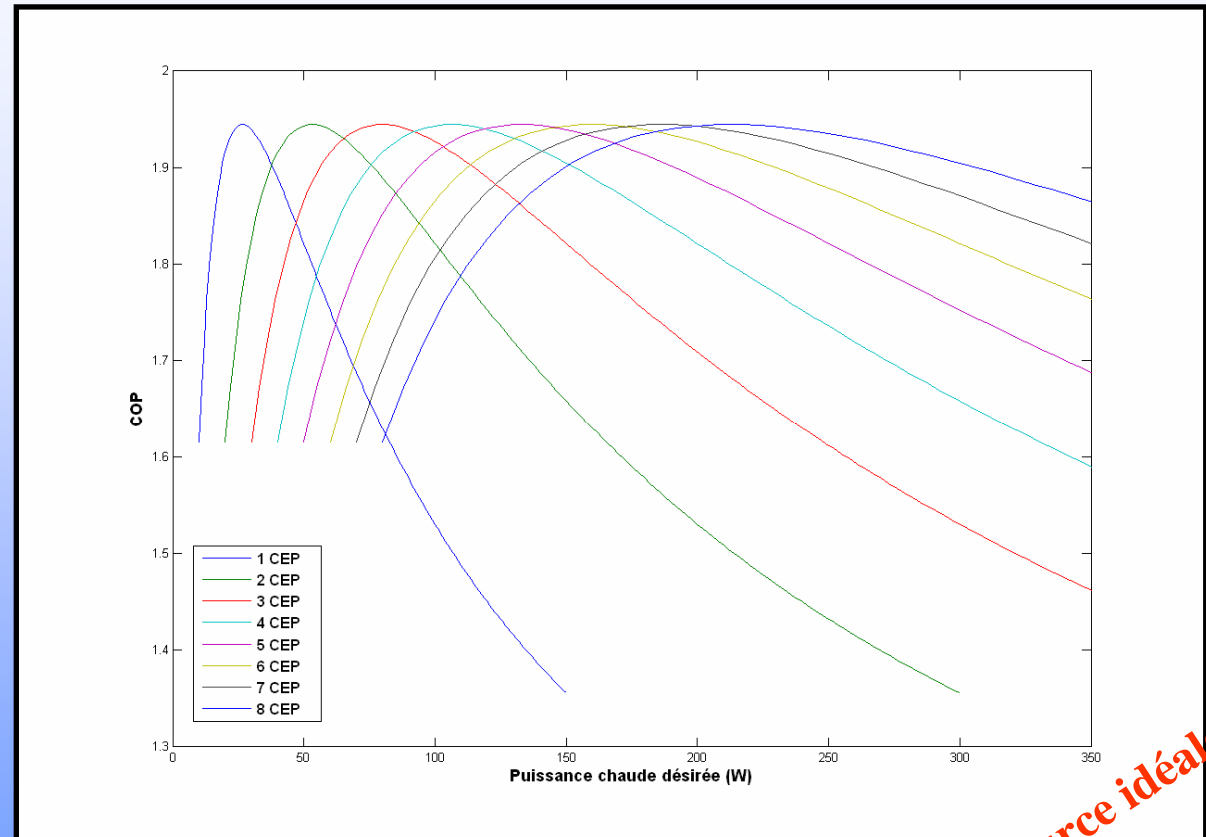


Pour une source idéale!!





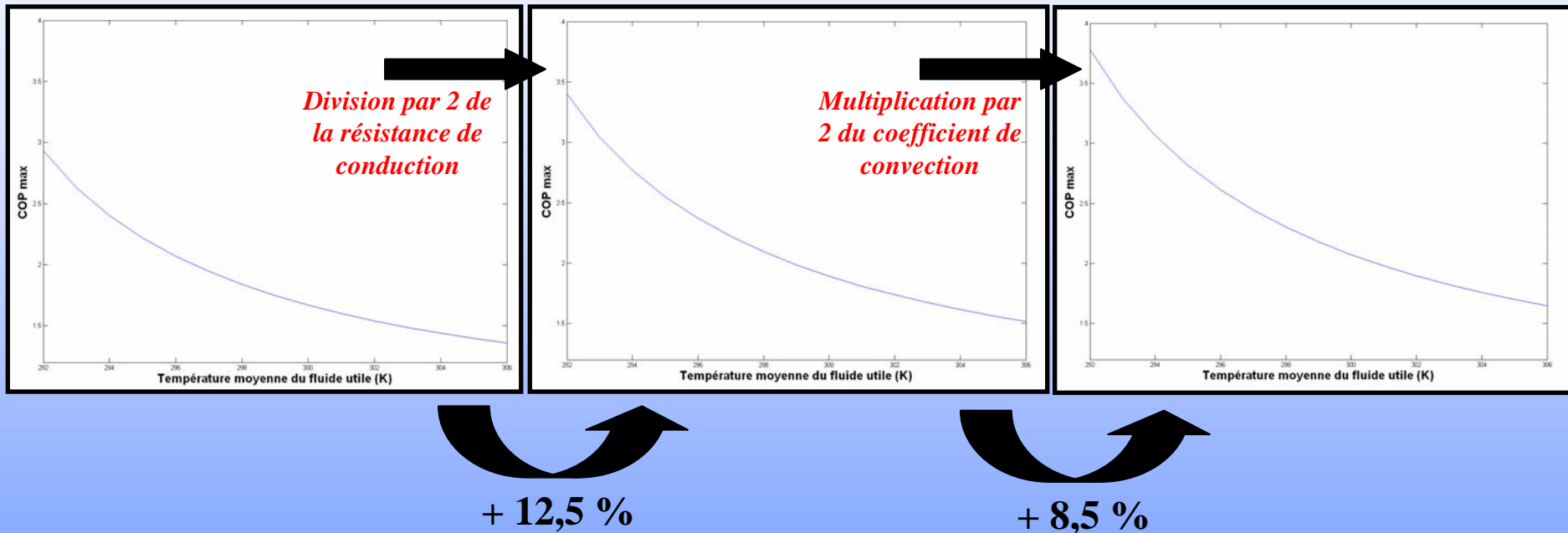
Résultats : Nb CEP=f(Q,T_utile,T_source)




Température moyenne du fluide utile = 297 K

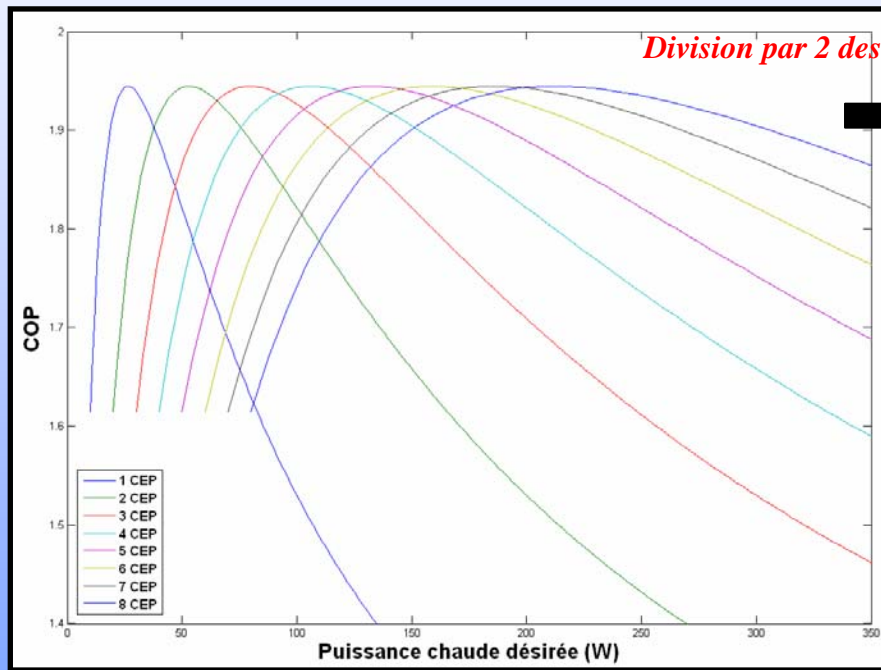
Pour une source idéale!!

Perspectives d'amélioration des performances du système

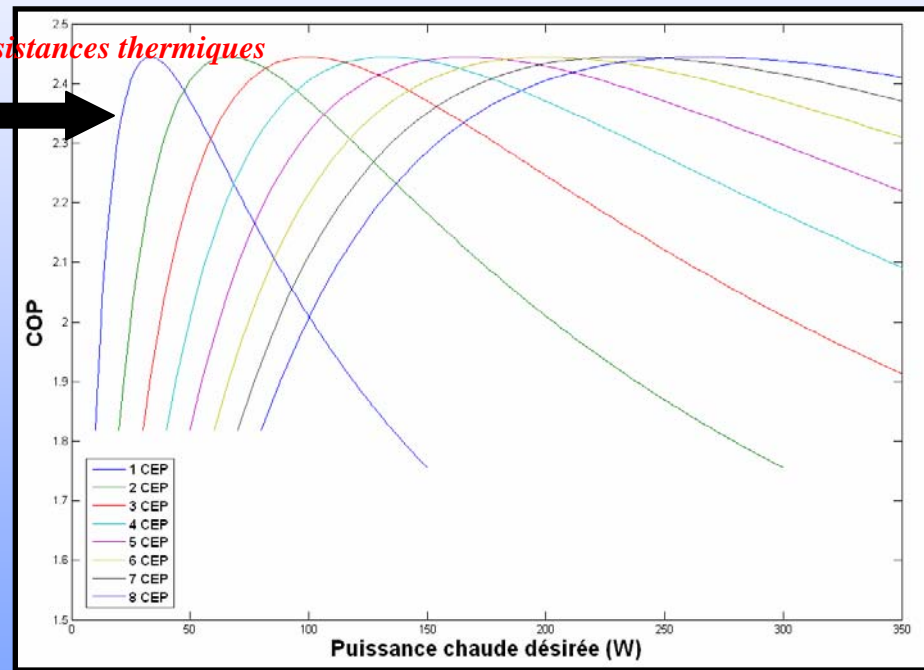


- 
- Optimiser les résistances de contacts et les échanges convectifs
 - Performance théorique atteignable intéressante (! Source idéale !)

Puissance chaude et intensité optimale à fournir à la CEP en fonction de la température de fluide désirée sous le plancher



Division par 2 des résistances thermiques



Température moyenne du fluide utile = 297 K



- **Nette amélioration du COP**
- **Baisse du nombre de CEP nécessaires pour une puissance chaude donnée**

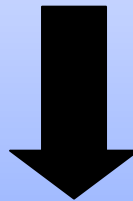
Leviers d'action pour l'intensification des
transferts de chaleur

Problématique

- Optimiser les transferts de chaleur entre la face de la CEP et le fluide parcourant l'échangeur en minimisant les pertes de charges

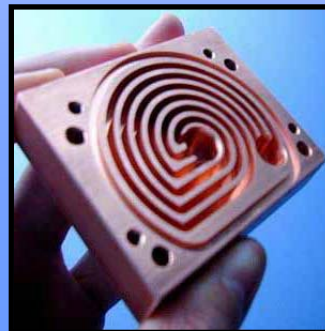
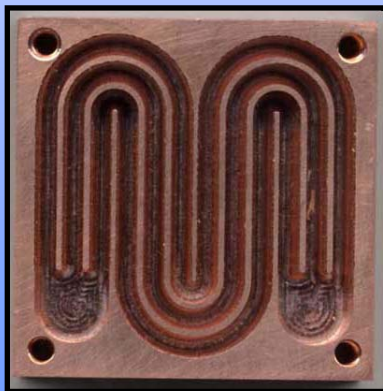
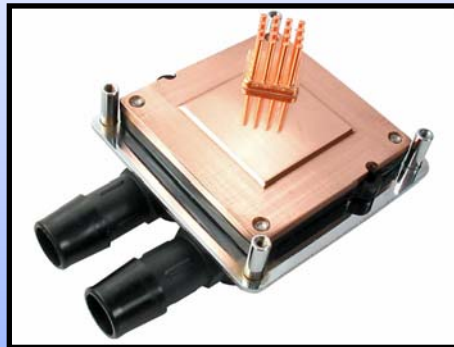
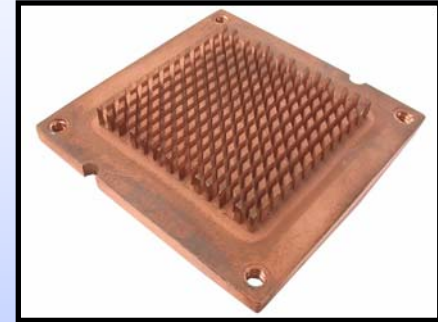


- Réduire les résistances de contact (planéité, pâte thermique...)
- Choix des matériaux (conduction thermique)
- Optimiser le transfert convectif (géométrie de l'échangeur)



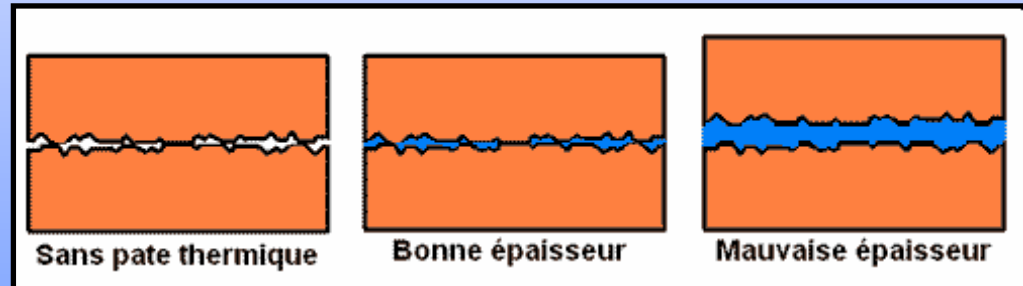
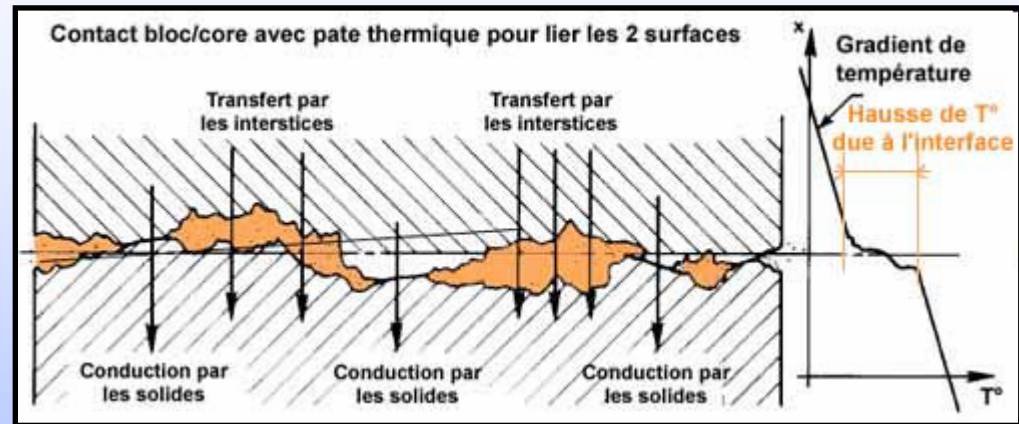
Problématique similaire : le refroidissement de composants électroniques par
« watercooling »

Exemples de waterblocks utilisés dans l'électronique :



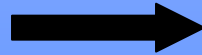
Résistance thermique de *contact* au niveau de l'interface :

Problématique



$$R_c \Rightarrow \Delta T$$

Solutions



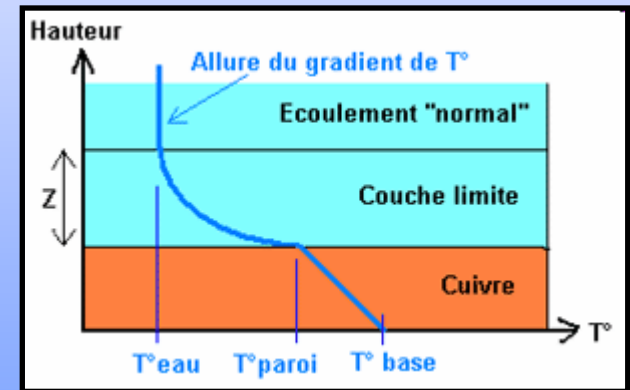
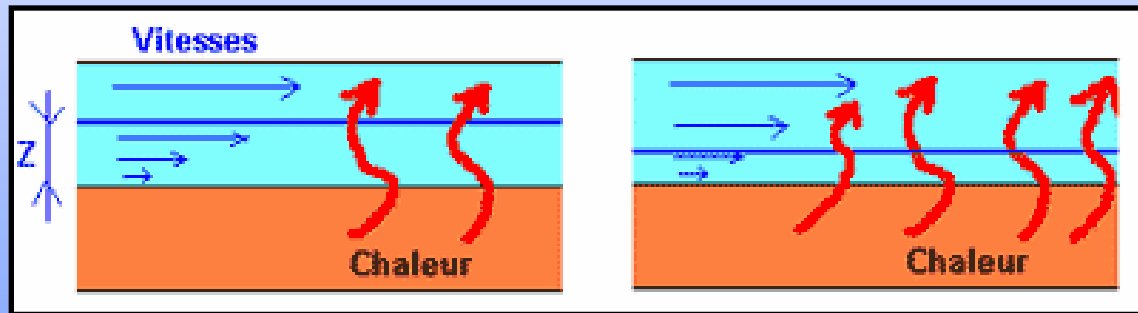
- Planéité optimale (polissage soigné)
- Choix d'une pâte thermique à très haute conductivité (ex : chargé à l'argent)
- Application optimale de la pâte thermique (épaisseur, pression)

Résistance thermique de convection :

$$R_{\text{conv}} = 1/(H.S)$$

Avec :

- H : coefficient d'échange thermique convectif ($\text{W}/\text{m}^2.\text{K}$)
- S : surface d'échange (m^2)
- R_{conv} : résistance thermique de convection (K/W)



Objectif



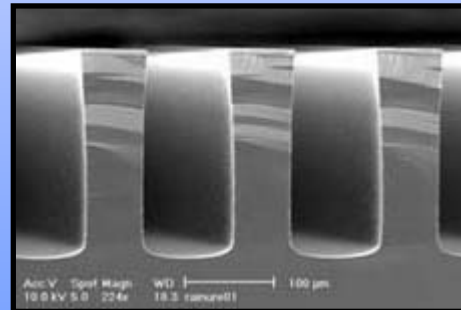
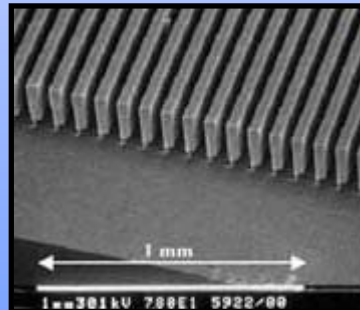
Augmenter H.S tout en limitant les pertes de charges

- Réduire la couche limite :
 - Avoir une vitesse élevée près de la paroi
 - Ajouter des promoteurs de turbulence
- Optimiser la géométrie
 - Avoir une surface d'échange importante
 - Trouver le bon compromis pour la section de passage

Échangeur à minicanaux :

Canaux conventionnels	$D > 3\text{mm}$
Mini-canaux	$3\text{mm} \geq D > 0.2\text{mm}$
Microcanaux	$0.2\text{mm} \geq D > 0.01\text{mm}$
Canaux transitionnels	$0.01\text{mm} \geq D > 0.0001\text{mm}$
Nano-canaux moléculaires	$0.0001\text{mm} \geq D$

Exemples de microcanaux...



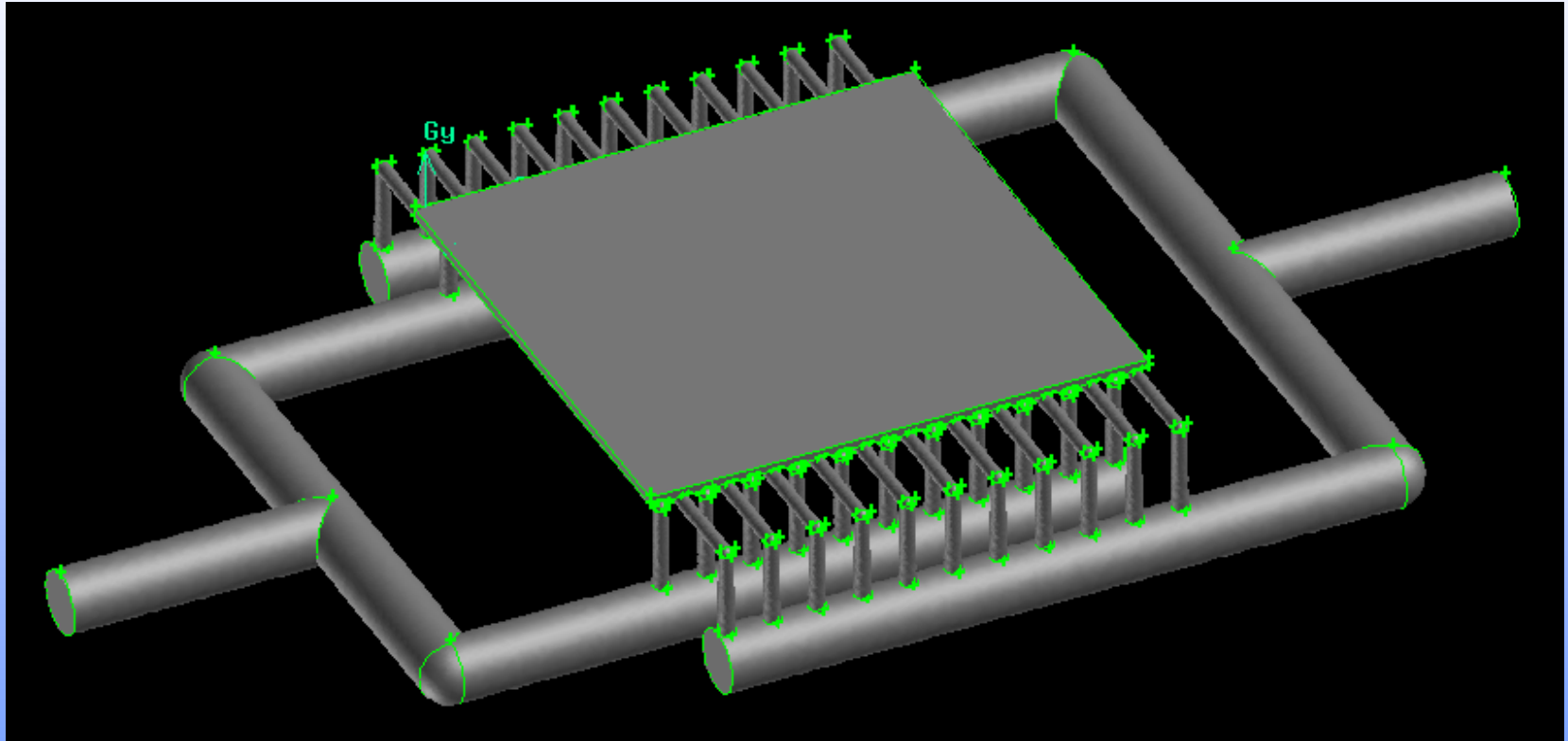
Intérêt



Augmenter la surface d'échange convectif pour une même surface de chauffage

Présentation d'un premier échangeur
de chaleur optimisé

Une géométrie performante :



- Circulation double flux
- courant croisé
- Minicanaux

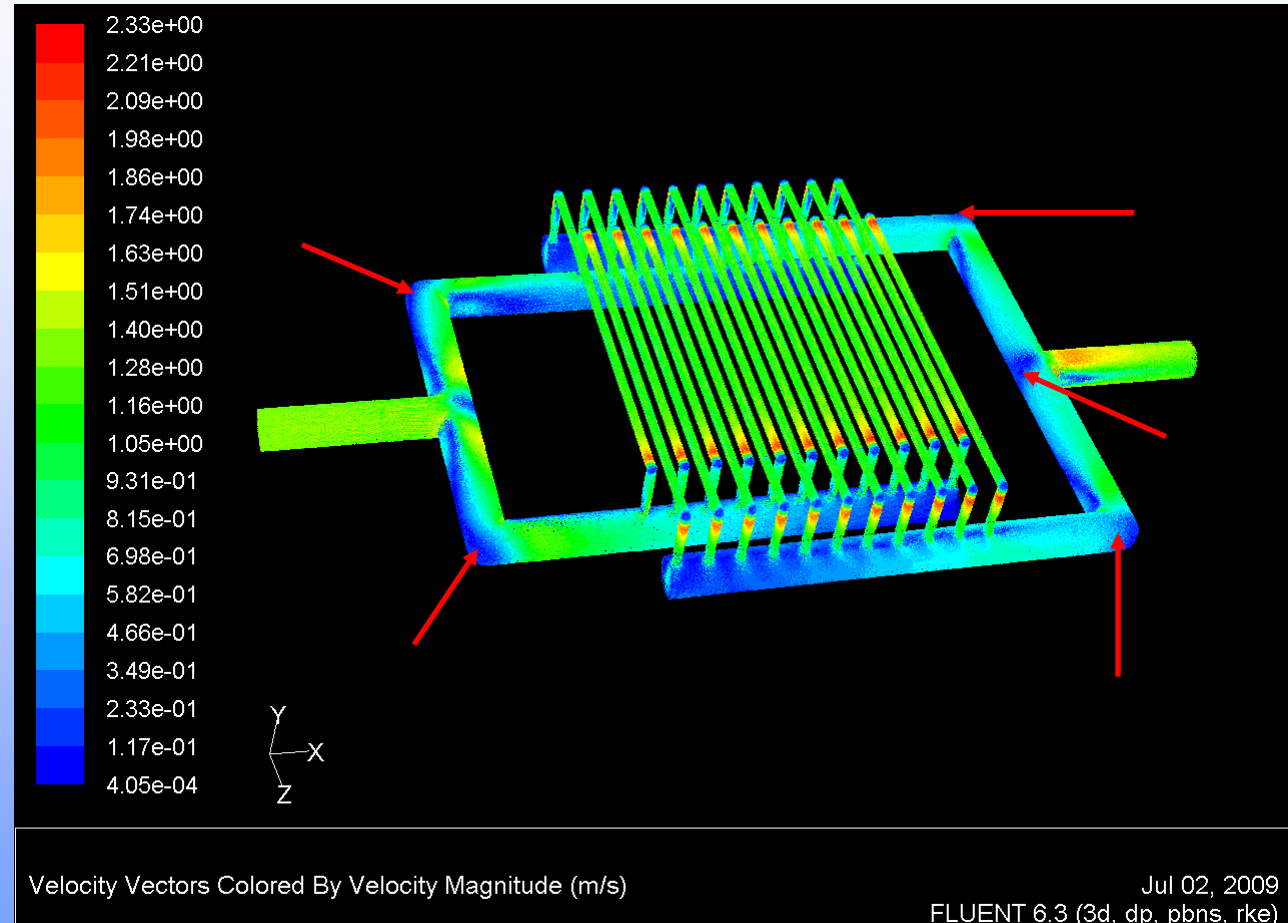


Homogénéité de la température

Profil de vitesse :

Conditions limites

- Température d'entrée : 300 K
- Débit d'entrée : 0,05 kg/s
- Flux : 40W
- Modèle : K-epsilon
- Résidu : 1E-6
- Condition de sortie : Pressure outlet

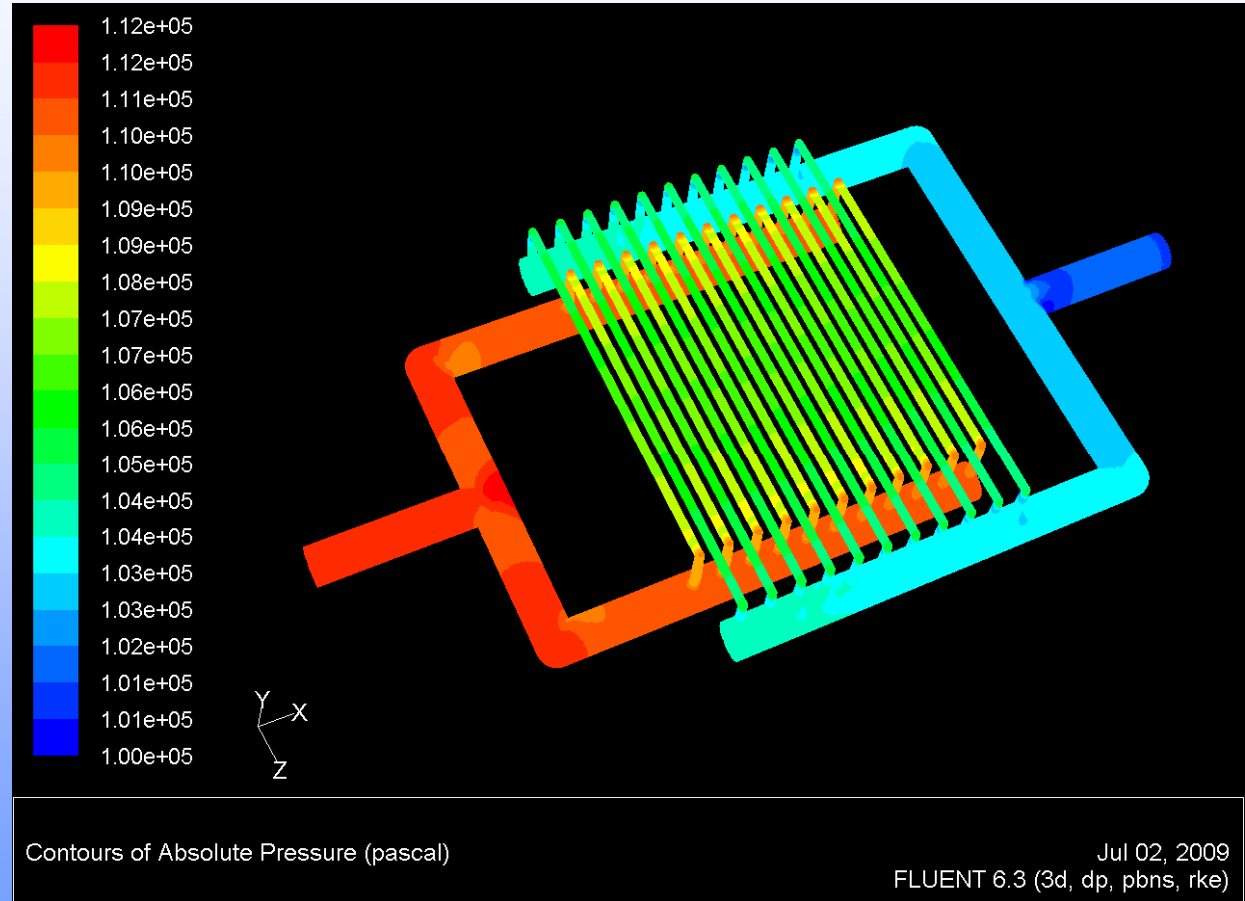


Optimisation possible par l'approche constructale & les automates cellulaires...

Profil de pression :

Conditions limites

- Température d'entrée : 300 K
- Débit d'entrée d'entrée : 0,05 kg/s
- Température de la face chaude de la CEP : 320 K
- Modèle : K-epsilon
- Résidu : 1E-6
- Condition de sortie : Pressure outlet

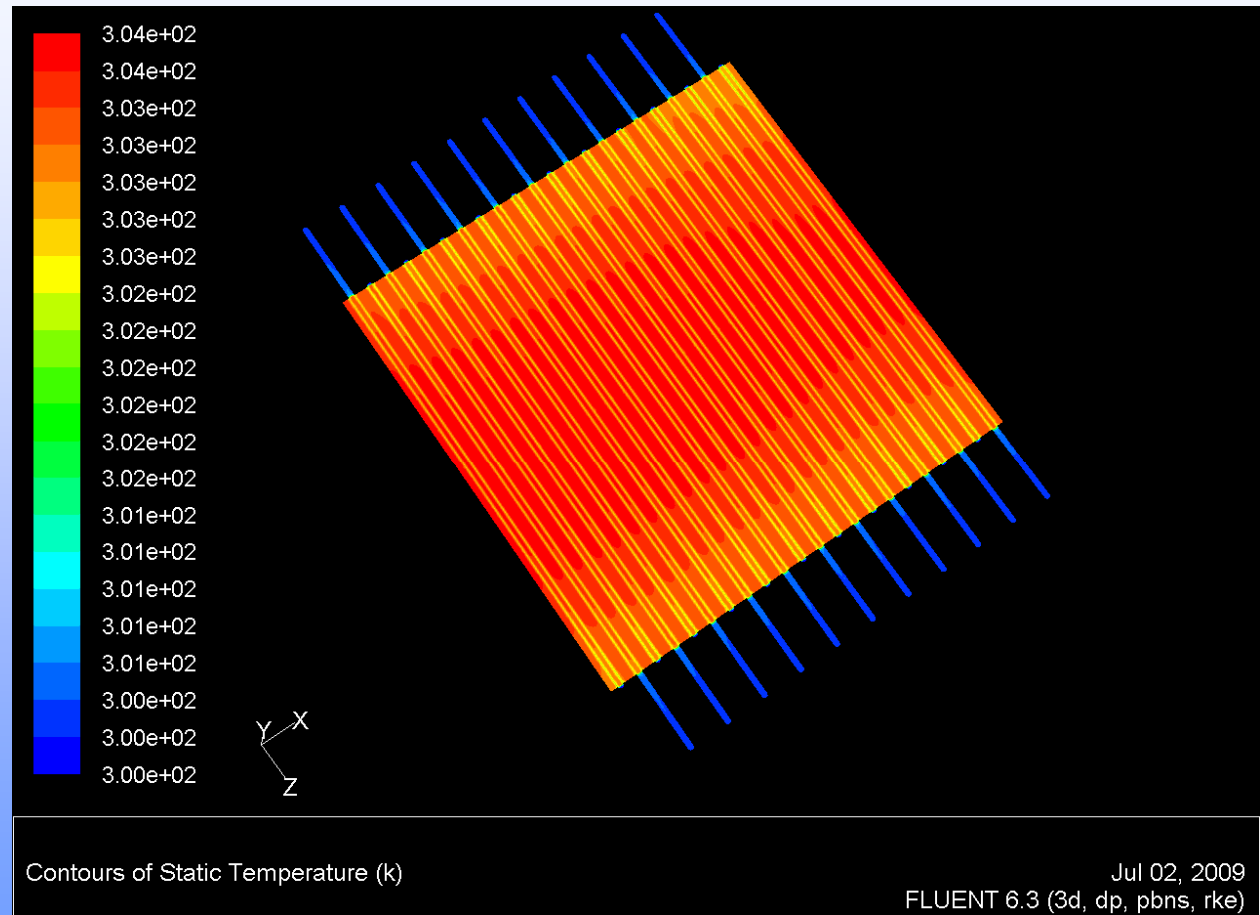


$\Delta P(\text{in-out}) \sim 0,1 \text{ bar}$

Profil de température sur la surface de contact entre la CEP et les canaux :

Conditions limites

- Température d'entrée : 300 K
- Débit d'entrée d'entrée : 0,05 kg/s
- Flux : 40W
- Modèle : K-epsilon
- Résidu : 1E-6
- Condition de sortie : Pressure outlet



$$\Delta T_{\text{Max}} \sim 1.658^{\circ}\text{C}$$

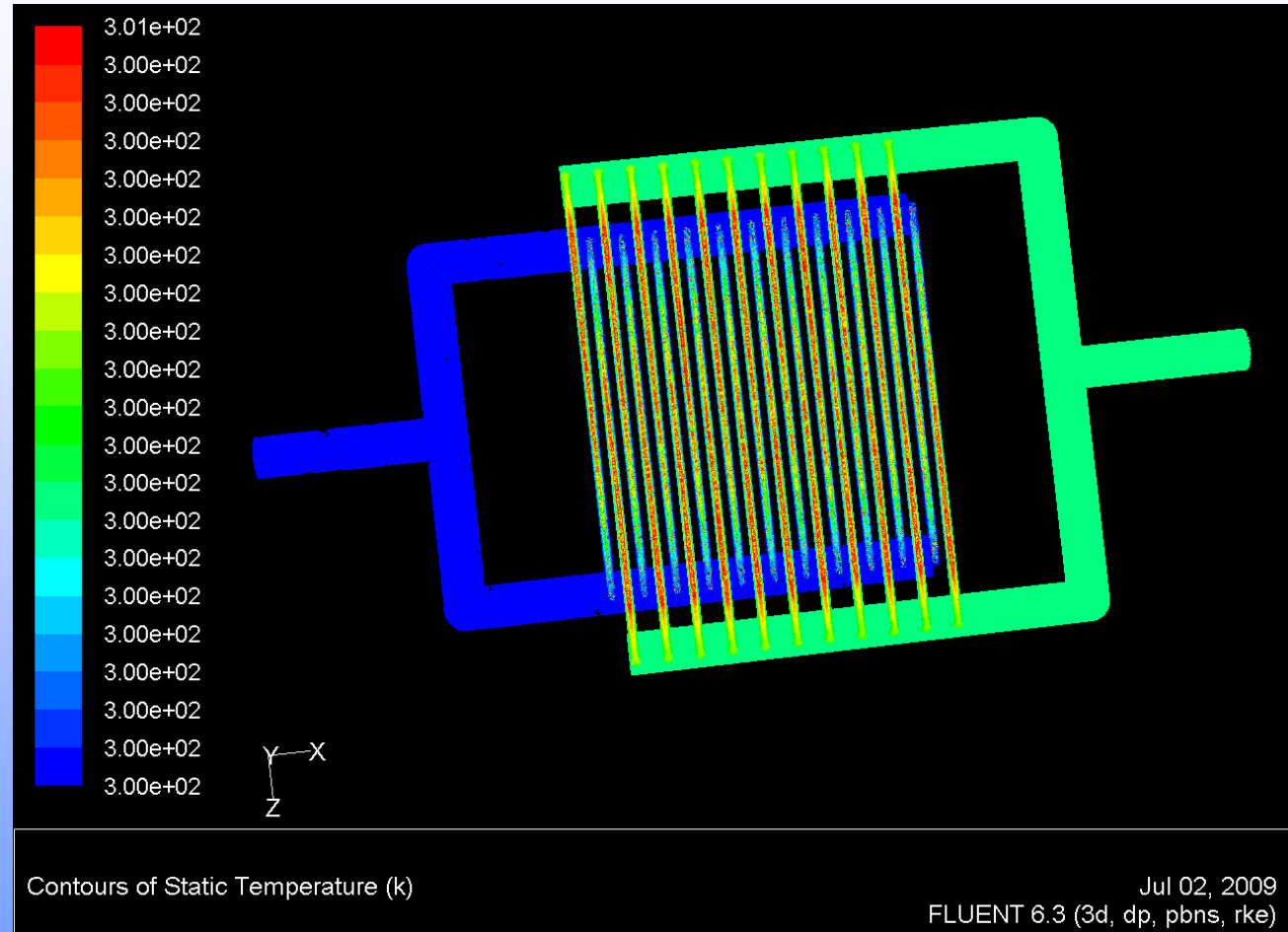


Augmenter le nombre de canaux

Profil de température :

Conditions limites

- Température d'entrée : 300 K
- Débit d'entrée d'entrée : 0,05 kg/s
- Flux : 40W
- Modèle : K-epsilon
- Résidu : 1E-6
- Condition de sortie : Pressure outlet



$$H_{\text{moy}} \sim 14500 \text{ W/K.m}^2$$

- ✓ Optimisation de l'échangeur par l'approche constructale et par les automates cellulaires
- ✓ Conception et test d'un prototype
- ✓ Intégration au bâti
- ✓ Optimisation du système global (générateur + réseau de distribution + émetteur)

Merci pour votre attention...