

TACSOL

-

Le froid thermoacoustique solaire

Patxi DUTHIL
duthil@ipno.in2p3.fr

- ☀ **Contexte**
- ☀ **Machine thermoacoustique pour la réfrigération**
- ☀ **TACSOL : les enjeux du projet**
- ☀ **Problématiques et état d'avancement**
- ☀ **Perspectives**

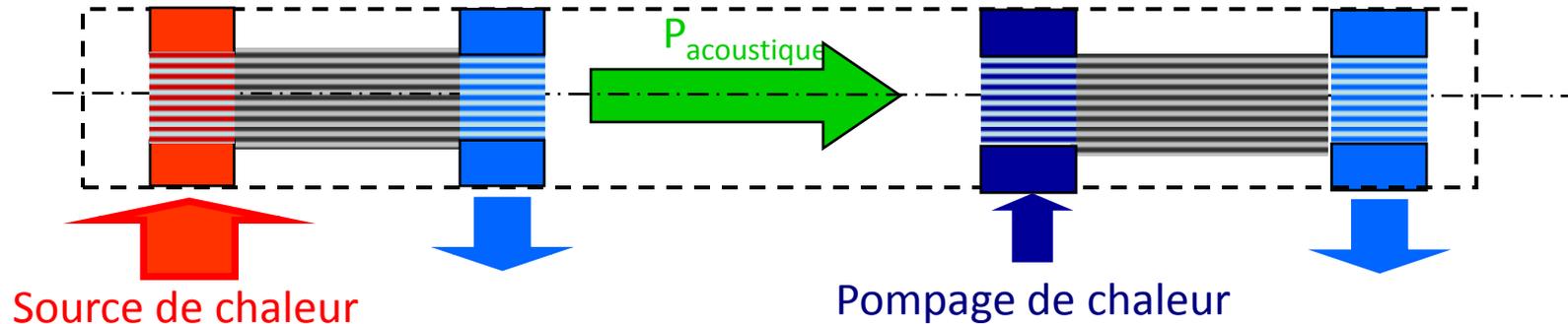
☀ Augmentation de la production de froid

- Habitat (climatisation)
- Alimentaire (chaîne du froid)

☀ Inconvénients des technologies conventionnelles :

- Utilisation de réfrigérants nocifs (gaz à effet de serre)
- Pics d'électricité
- Une température froide fixée pour un système donné
 - Changement de phase
 - Couple solide/fluide

Principe de la thermoacoustique

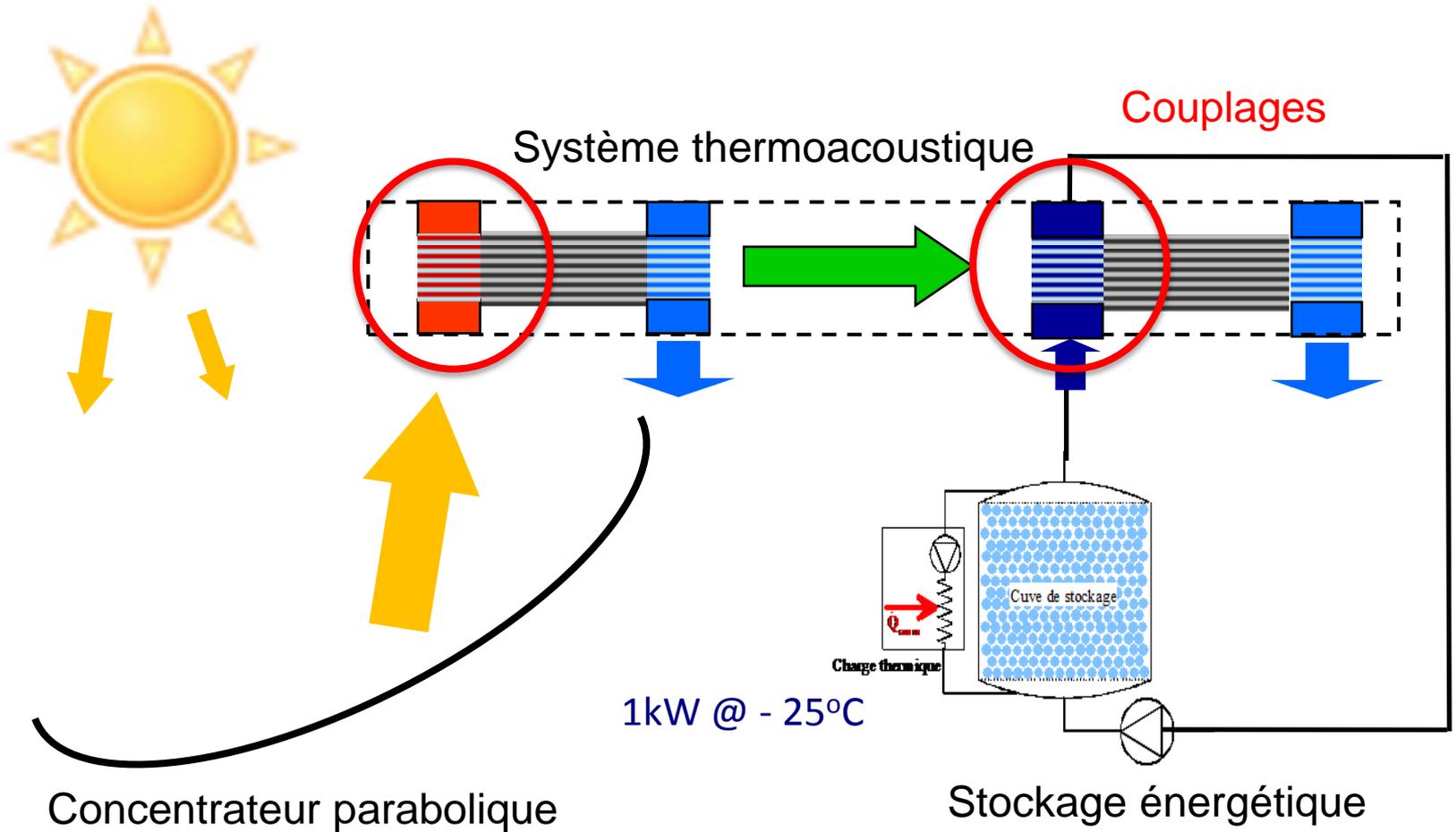


⇒ Générateur d'onde acoustique à sources thermiques (moteur)

⇒ Pompe à chaleur, réfrigérateur, cryogénérateur (Tube à Gaz Pulsé)

- ☀ Pas de pièce mécanique mobile (seul un gaz en mouvement)
 - Fiabilité
 - Faible coût de maintenance
- ☀ Gaz neutre pour l'environnement (He...)
- ☀ Système utilisable sur une grande plage de température
 - $-269^{\circ}\text{C} \rightarrow 300^{\circ}\text{C}$, en réfrigérateur ou en pompe à chaleur

✦ Concevoir, réaliser et tester une machine



☀️ Développer des outils de modélisation

- 🌍 Pour calculer le système complet (solaire + thermoacoustique + stockage énergétique)
 - En régime stationnaire
 - En prenant en compte la variabilité :
 - de la source solaire
 - des températures des sources thermiques
 - de la demande en froid
- 🌍 Pour définir une stratégie de modélisation de futurs systèmes hélio-acoustiques

☀ **Démonstrateur technologique**

- Faire converger les technologies solaire et thermoacoustique
- Générer une puissance de réfrigération significative (au-delà de la production des bancs thermoacoustiques de laboratoire actuels)
- Exigence d'efficacité

☀ **Banc expérimental**

- Etude de l'impact des températures des sources thermiques (comportement, efficacité) pourra être appliquée à d'autres systèmes thermoacoustiques

☀ 3 laboratoires publics

- 🌐 IPNO : Institut de Physique Nucléaire d'Orsay
(CNRS/IN2P3 – Université de Paris Sud)
- 🌐 PROMES : PROCédés Matériaux Energie Solaire
(CNRS/INSIS)
- 🌐 LaTEP : Laboratoire de Thermique Energétique et Procédés
(Université de Pau et des Pays de l'Adour)

☀ 1 partenaire privé : Hekyom

☀ Financement ANR obtenu (PRECODD 2008)

☀ Difficulté : forte imbrication des différents sous-systèmes

☀ Problématique 1 : Adaptation solaire

→ accommoder la puissance solaire disponible au système TACSOL

🌍 Concentrateur existant chez PROMES : 50kW ($\varnothing=8\text{m}$)

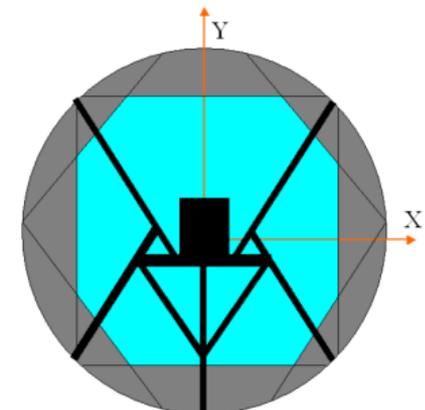
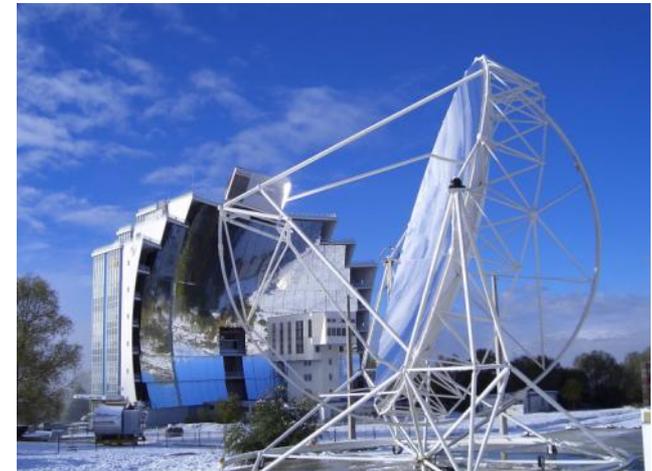
Objectifs :

- disposer de 8kW de puissance
- adapter la distribution de puissance dans le volume focal (homogénéité)
- limiter les pertes énergétiques (optiques et thermiques)

→ adaptation et optimisation optique

🌍 Stratégie de réduction de puissance ?

- études de différents masques de la parabole
- définition et réalisation d'un modulateur de puissance (gestion temporelle)



☀ Problématique 1 : Adaptation solaire (suite)

● Modélisation

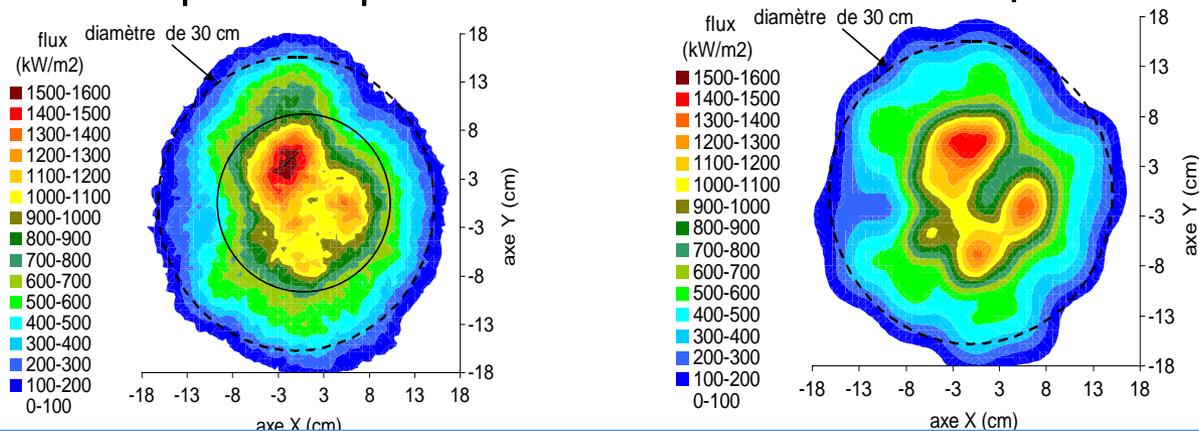
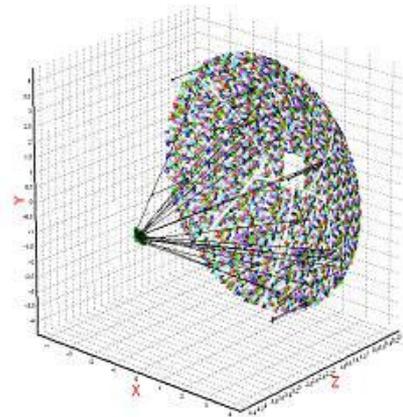
○ Discrétisation du concentrateur

- 4000 facettes
- prise en compte des défauts optiques macroscopiques (déformations des surfaces, défauts de pointage et de réglage des surfaces)

○ Code de lancé de rayons

○ Obtention de cartes de flux sur des plans géométriques

○ validation par comparaison avec des données expérimentales

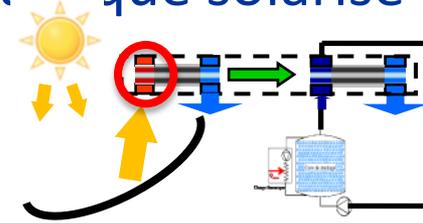


⇒ Détermination de la position optimale de l'échangeur chaud thermoacoustique solaire
⇒ Détermination des dimensions principales de cet échangeur

☀ Problématique 2 : Echangeur chaud thermoacoustique solarisé

→ Définir cet élément de couplage pour garantir :

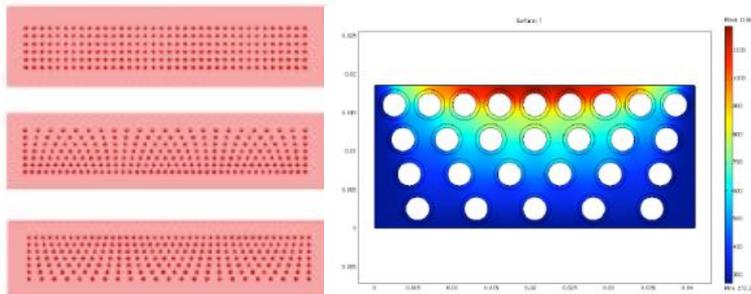
- transmission de l'énergie thermique vers le fluide de travail (He 40 bars soumis à une onde acoustique)



- homogénéité du champ thermique malgré une irradiation asymétrique et fortement concentrée

● Modélisations paramétriques pour l'étude thermique de l'échangeur chaud et de sa cavité en lien avec :

- le modèle du concentrateur solaire
- le dimensionnement du système thermoacoustique



⇒ obtention des caractéristiques géométriques

⇒ Définition géométrique et modélisation thermique et mécanique (3D)

☀ Problématique 3 : dimensionnement du système

→ Produire 1kW de froid à -30°C

- garantir une bonne efficacité thermodynamique
- réunir les conditions (champ thermique, pression...) de démarrage du générateur d'ondes (seuil de génération d'onde)
- intégrer les contraintes mécaniques et solaires

🌍 Contraintes dimensionnelles :

- Échangeur chaud thermoacoustique solarisé de taille importante
- Risque projet → Limitation de la taille du système (Budget et planning alloués)

🌍 Validation du code de calcul :

- ⇒ Confrontation avec un banc expérimental existant
- Puissances comparables
- Ajustement du modèle et définition de nouvelles barres d'erreur

☀ Problématique 4 : stockage énergétique à basse température

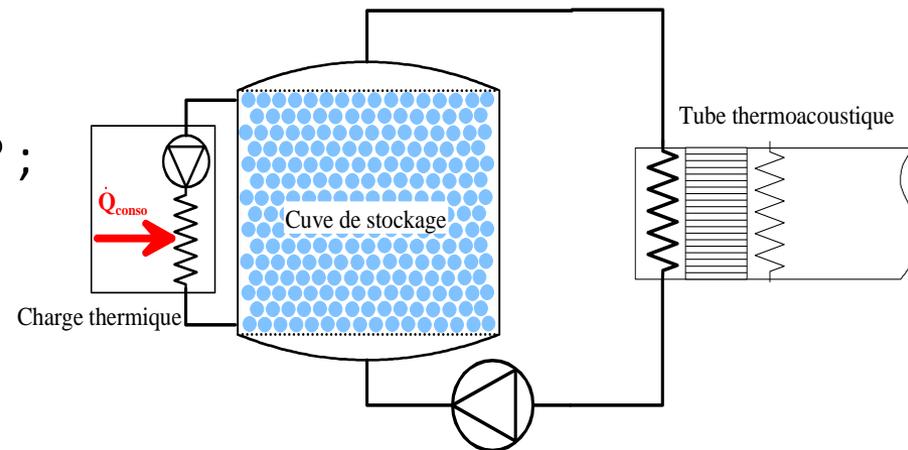
- Pallier à la variabilité temporelle de la source solaire
- Adapter l'offre et la demande en froid

🌍 Principe de stockage :

- Chaleur sensible du fluide caloporteur
- Chaleur latente : changement de phase d'un fluide encapsulé au sein de nodules

🌍 Système :

- Température (-25°C)
- Type de fluide : Temper[®] ;
Volume : 200-300L
- Simulation d'une consommation de froid par emploi d'une charge thermique variable

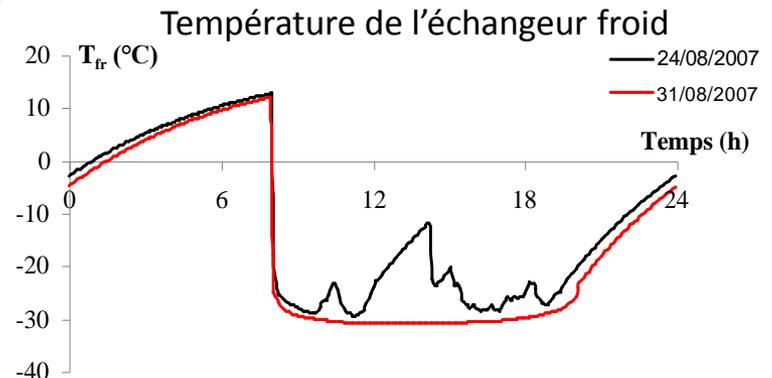
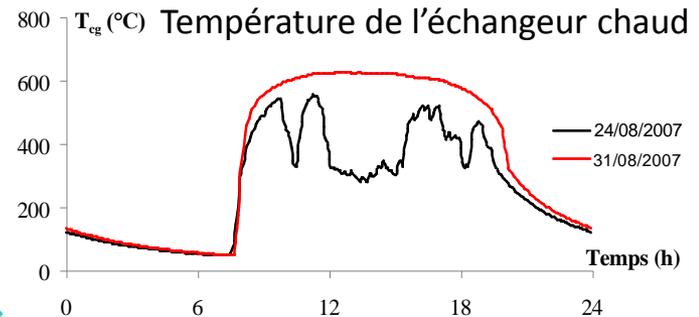
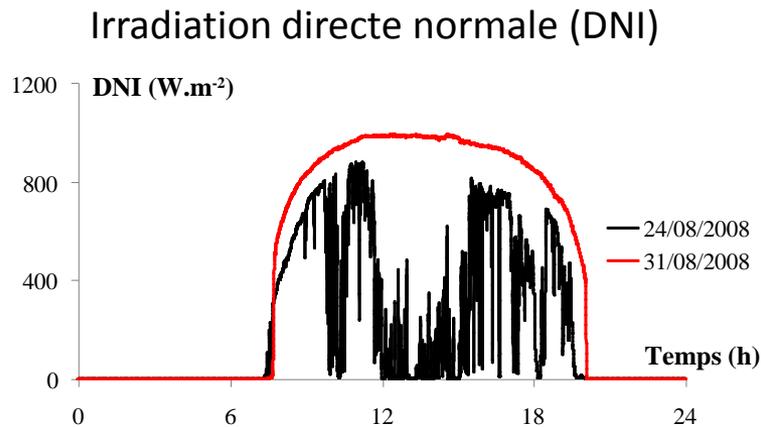


☀ Problématique 5 : outils de dimensionnement (suite)

- Fonctionnement en régime stationnaire
- Prise en compte de la variabilité des sources thermiques

- Modélisation globale du système à partir de données :
 - solaires : densité de puissance solaire au cours de journées types
 - thermoacoustiques : cartes de fonctionnement du système
 - sur les éléments de couplage (échangeurs de chaleur)

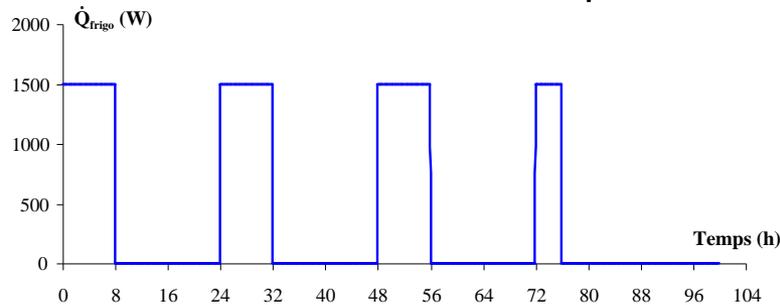
● Scénarii sur une journée :



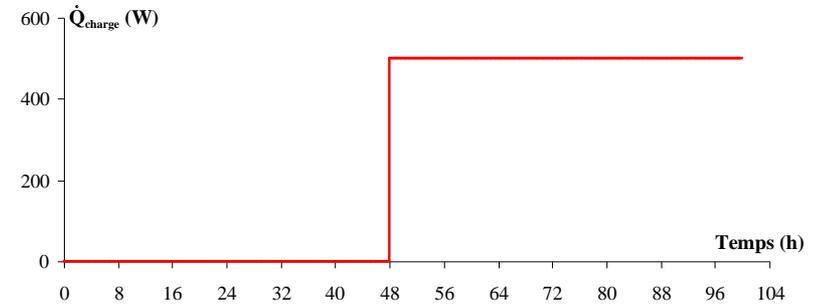
☀ Problématique 5 : outils de dimensionnement (suite)

- 🌍 Scénario sur quelques jours : (au devant des beaux jours)
→ Influence du volume de stockage

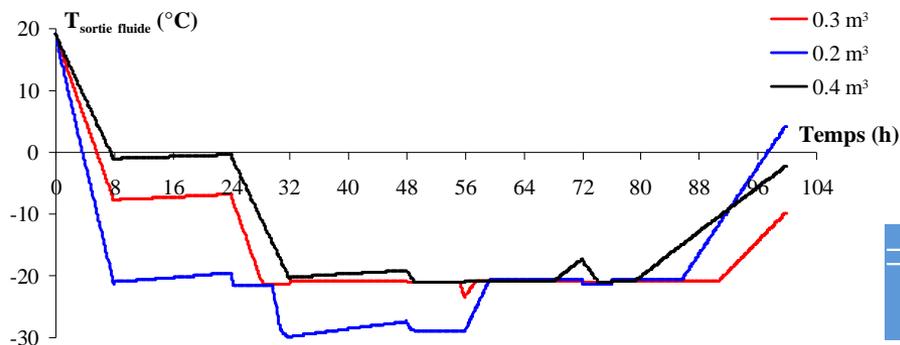
Production thermoacoustique de froid



Un utilisateur non averti



Evolution de la température du stockage



⇒ Aider au dimensionnement du stockage

☀ La machine

- Réfrigérateur en cours de fabrication
- Générateur d'ondes : études mécaniques en cours
- Modulateur de puissance pour l'adaptation de la puissance issue du concentrateur solaire (régimes transitoires et stationnaires) réalisé

⇒ Premiers essais : été 2012 (?)

Merci pour votre attention
