



# JOURNÉE TECHNIQUE

Journée technique « Stockage thermique » à Brest

## STOCKAGE THERMIQUE

Exemples de projets de stockage thermique sur les réseaux de chaleur

**Laurent BEDEL – Adjoint Chef de Service**

*CEA Grenoble – Direction des Énergies (DES)*

*Service Systèmes Énergétiques pour les Territoires et l'Industrie*

[Laurent.bedel@cea.fr](mailto:Laurent.bedel@cea.fr)

# CEA – Liten



**1000**  
Employees



**160 M€**  
Budget



**+ 200**  
Industrial partners



**200**  
Publications/year



**180**  
PhD students  
et post-doc



**12**  
Platforms



**+ 200**  
Institutionnal projects



**+ 1 900**  
Patent portfolio

**4**  
DIVISIONS



**Solar & Grids**  
Chambéry / Cadarache  
≈ 300 p.



**Electromobility**  
Grenoble  
≈ 250 p



**Advanced materials  
and structural  
electronics**  
Grenoble  
≈ 200 p



**Hydrogen, thermal  
engineering & e-fuel**  
Grenoble / Chambéry / Cadarache  
≈ 250 p

**Ingénierie Thermique**  
**Tech-économique &  
environnemental**  
**Cycle du carbone**



# Les activités du service SSETI



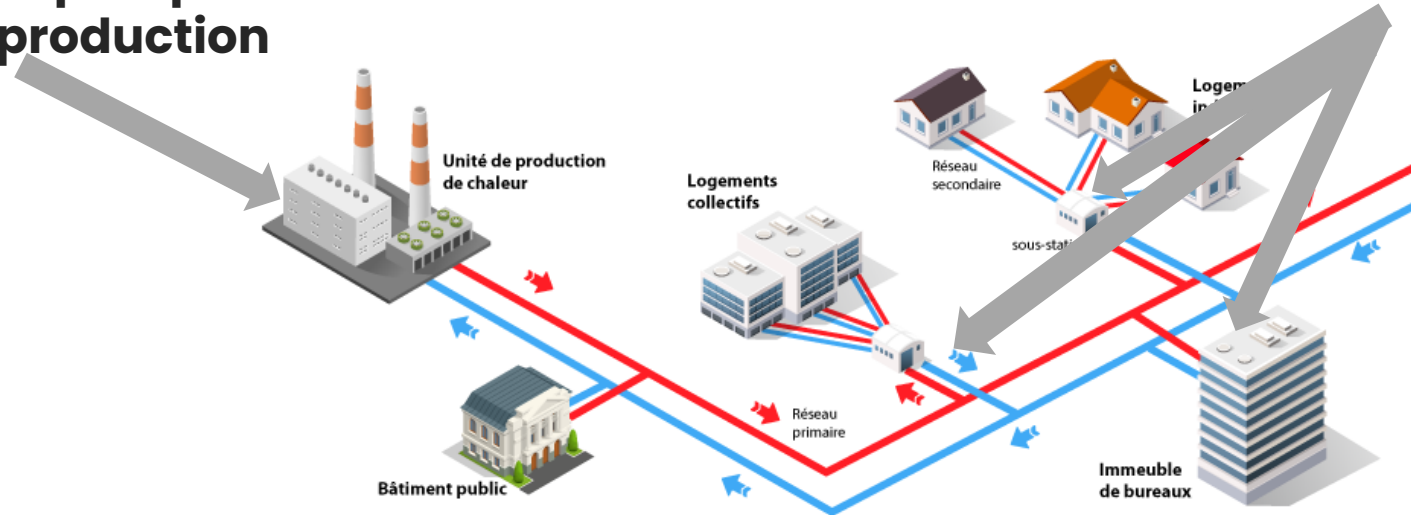
Activités en **thermique et systèmes énergétiques** bas carbone : **technologique et outils logiciels**

- Développements et innovations technologiques dans les domaines des **échangeurs de chaleur**, du **stockage de chaleur**, de la **conversion de la chaleur** (ORC, pompe à chaleur, machine absorption ...), du **solaire thermique** pour des applications industrielles et les réseaux de chaleur.
- Promouvoir et développer des **usages innovants, efficaces et sobres de la chaleur** (chaleur fatale de procédés, chaleur renouvelable)
- Evaluer des chaînes de conversion et plus particulièrement pour les nouveaux marchés (**chaîne hydrogène, Economie circulaire du carbone, solar fuel, Power to X...**).
- Développement de **méthodologies d'études, d'outils logiciels de conception, gestion et pilotage de réseaux et systèmes multivecteurs** (chaleur, froid, électricité, gaz, hydrogène...) notamment pour les usages urbains, et industriels
- Rôle transverse sur **l'analyse et l'optimisation technico-économique et environnementale**

# Réseaux de chaleur urbain : Stockage thermique

– Centralisé au plus près des moyens de production

– Décentralisé au niveau des sous-stations



<https://www.primesenergie.fr/travaux/raccordement-reseau-chaleur-enr>

## Caractéristiques du stockage de chaleur décentralisé (à l'échelle de la sous-station)

- ✓ Au plus près du consommateur de chaleur (plus grande réactivité)
- ✓ Contrainte de place (souvent sous sol dans des immeubles)
- ✓ Forte pression sur le foncier

# Technologies de stockage étudiées au

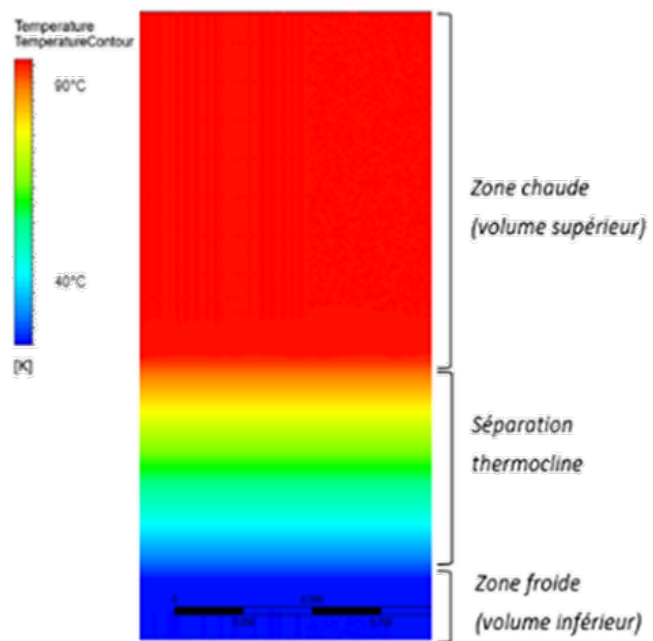
## CEA

### Stockage sensible

#### Principe de fonctionnement :

Stockage de chaleur sensible stratifiée en température

*Effet thermocline*



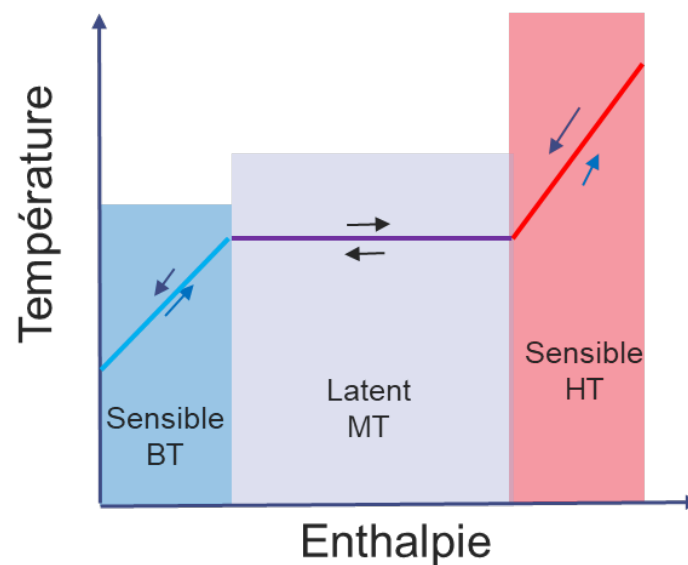
#### ✓ Densité énergétique de stockage

- ✓ Thermocline eau : 15-40 kWh/m<sup>3</sup>

### Stockage latent

#### Principe de fonctionnement :

Stockage de chaleur latente  
MCP : matériaux à changement de phase  
*fusion / cristallisation*

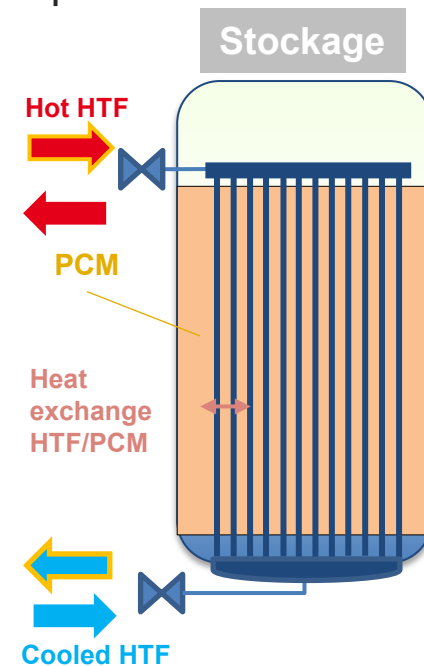


#### ✓ Densité énergétique de stockage

- ✓ Latent : 60-100 kWh/m<sup>3</sup>

MCP : Adapté pour des faibles  $\Delta T$

Choix du matériau: Source chaude > T<sub>f</sub> > Source froide



➡ Charge

➡ Décharge

# Stockage thermique centralisé (i.e. proche des moyens de production)

Exemple centrale biomasse BIOMAX sur Grenoble (40 MW)

## •Le stockage de la chaleur sous haute-pression

BIOMAX dispose d'un stockage de 600 m<sup>3</sup> (3\*200m<sup>3</sup>) qui permet de stocker la chaleur :

- Charge pendant la nuit en période de basse consommation
- Décharge lors des pics de consommation.

Permet d'éviter de démarrer d'autres sites de production dits d'appoint (qui fonctionnent à l'aide d'énergies fossiles) lorsque la demande devient trop forte (le matin et le soir et durant les périodes de grand froid).

Capacité 20-65 MWh



**Stockage de chaleur sensible pressurisé (eau surchauffée 180°C)**

<https://www.chauffage-urbain-grenoble.fr/3820-biomax-tout-savoir-sur-le-nouveau-site-de-production.htm>

# Projet Européen CITYZEN – Démonstration sur réseau de Grenoble



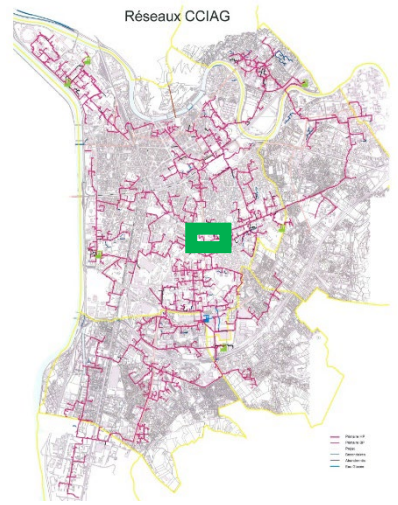
Projet



Réseau à 180 °C

Démonstrateur de stockage de la chaleur par changement de phase d'une capacité de 180kWh, opérationnel depuis mars 2019, il assure une puissance de 40kW durant trois heures en période de pointe.

100 000 équivalents-logements raccordés  
170 km de réseau



Stockage d'une partie des sources de combustion de biomasse ou de l'incinération d'ordures ménagères pendant les heures de faibles demandes,

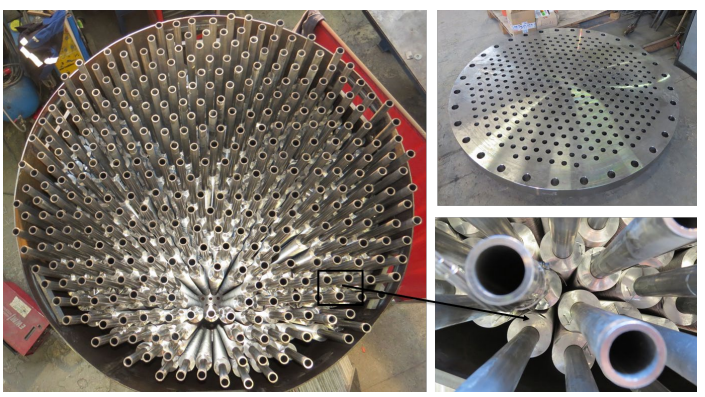
L'énergie stockée est ensuite restituée pendant les heures de pointe de consommation du matin limitant l'utilisation de sources supplémentaires d'énergie.

**Quartier Flaubert :**  
380 logements & 11 000 m<sup>2</sup> d'activité économique



# Projet CITYZEN – Stockage décentralisé

Concept stockage tubes-calandre



Stockage de 4m<sup>3</sup>  
Tube de 2m de haut

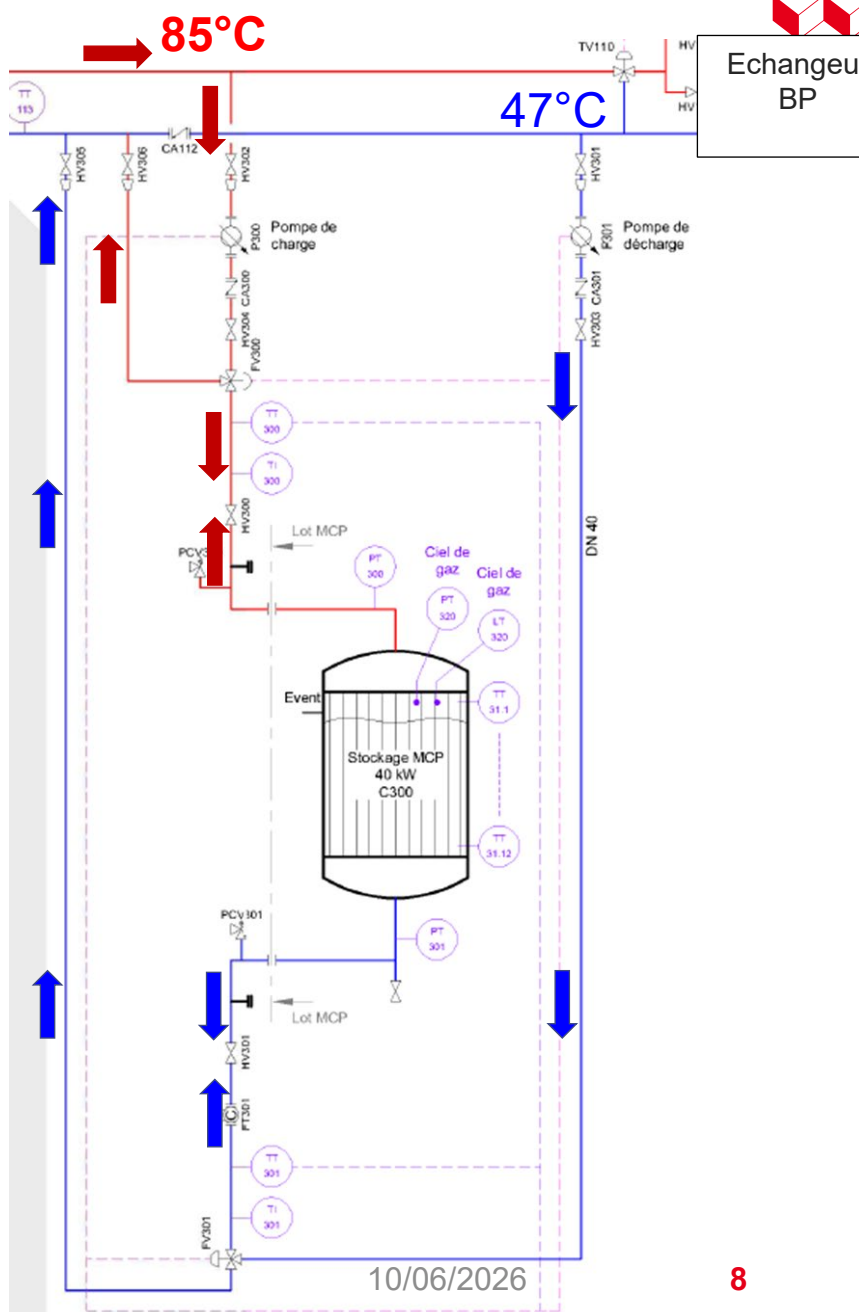


**PCM RT-70HC (Rubitherm) PF 70°C Alcool gras+paraffine**

Echangeur HP et BP

Charge stockage :  
Flux pris sur le départ chaud chaude (85°C) et restitué sur le retour froid

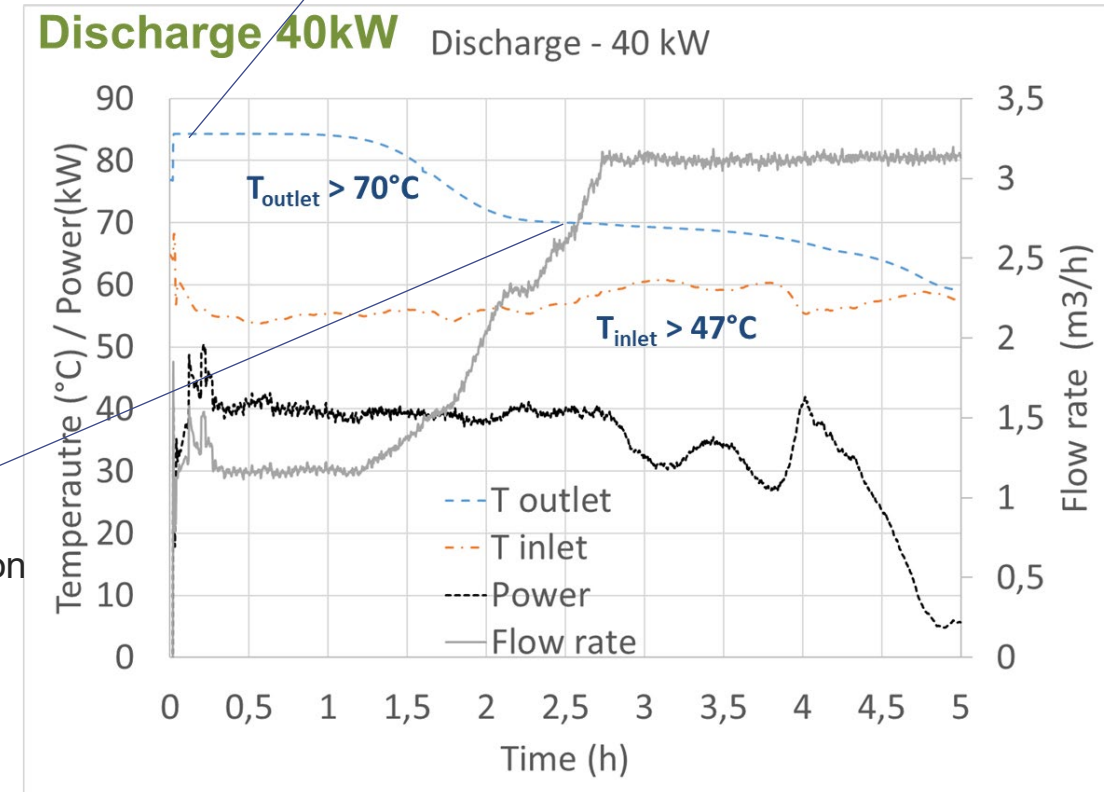
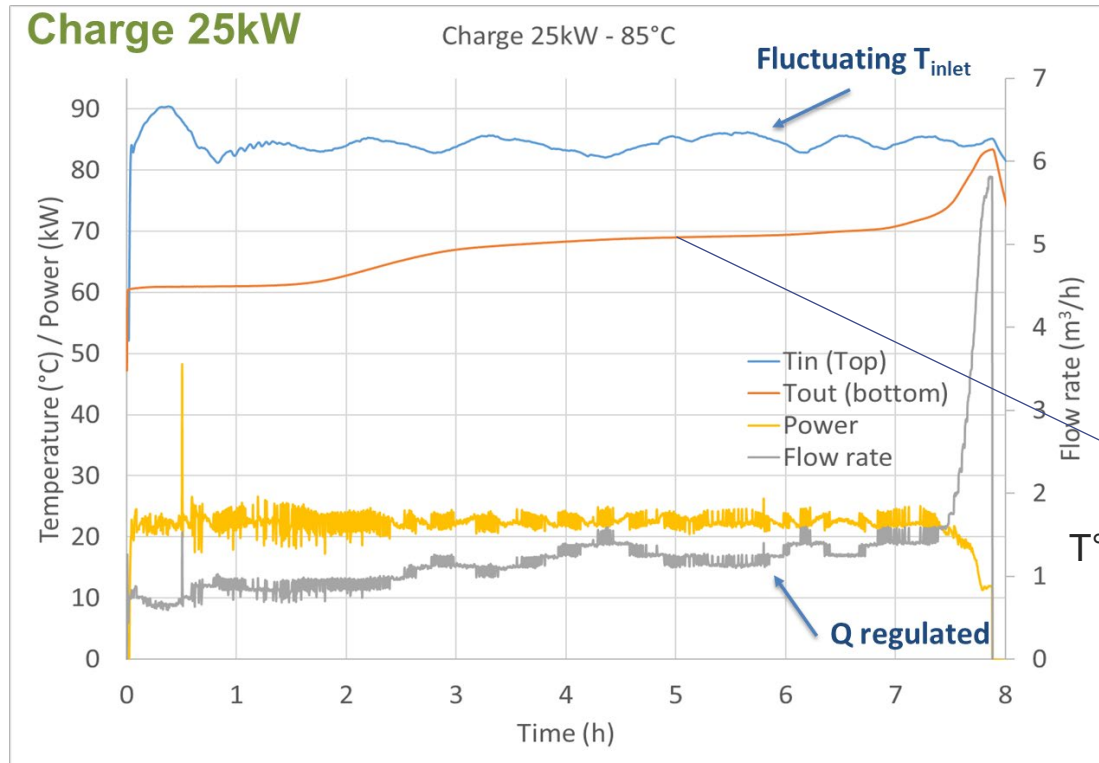
Décharge stockage :  
Flux pris sur le retour froid (47°C) et restitué sur le retour froid en amont de l'échangeur HP/BP (préchauffage)



# Projet CITYZEN – Stockage décentralisé

Applied Thermal Engineering 185 (2021) 116402

## 2 exemples de courbes de charge et de décharge



T°C fusion-cristallisation

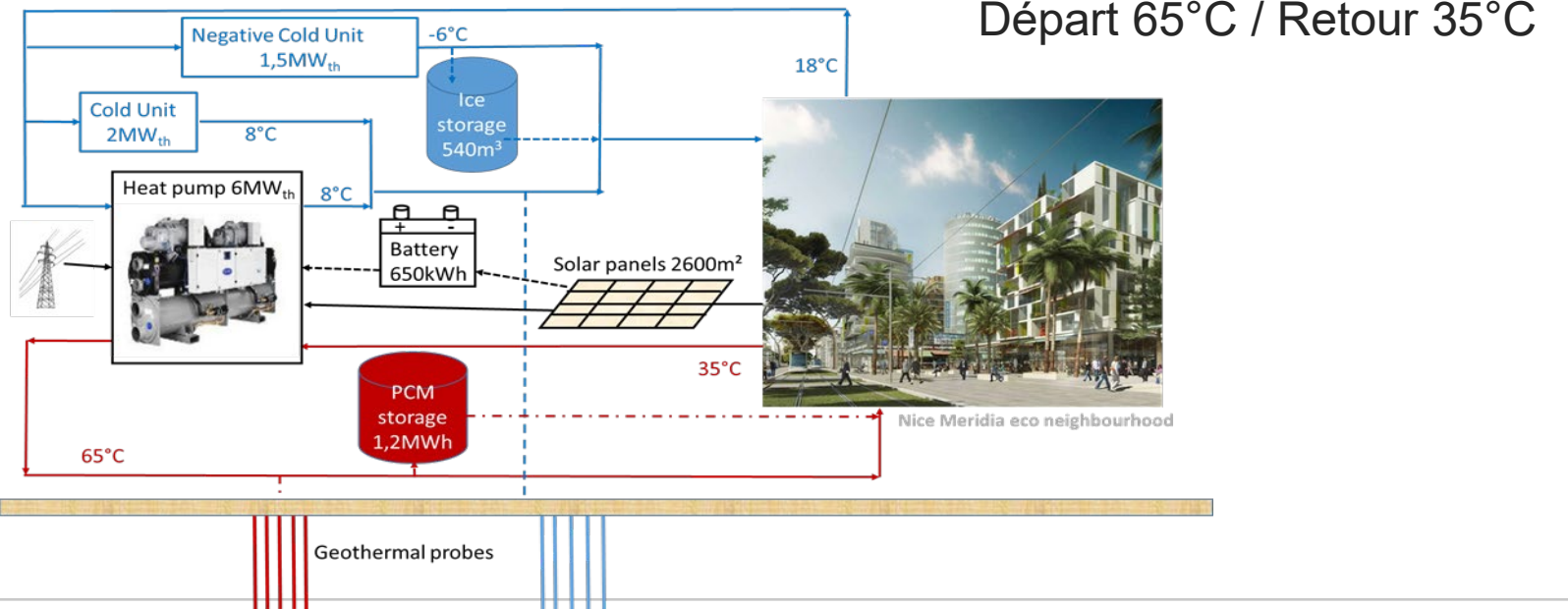
**Systeme operationnel et utilise quotidiennement**

# Projet NICE MERIDIA

(ADEME, IDEX, CEA, Métropole Nice, Mines Paris)



Réseau dans Eco-quartier de **Nice Méridia** : 537 000 m<sup>2</sup> de logement, commerce, universités et services



**Capacité de stockage 1,2MWh  
(13 t de MCP – Alcool gras)  
Puissance 600kW**

Principe de fonctionnement similaire. Charge pendant production de chaud ou période de basse consommation ou prix électricité bas (nuit) et décharge lors des pics de consommation (matin) ou pour éviter des cycles marche-arrêt des TFP trop fréquents et ainsi éviter leur vieillissement accéléré

**Unité opérationnelle  
Fin du projet et duplication envisagée**

# Projet : GRIMS ENERGIES (SERM Montpellier)

Démonstration sur le réseau de chaleur (sous-station) de la SERM Montpellier (Quartier Eureka)



(GRIMS – CEA - SERM)

Charge en parallèle de la production et de la distribution d'EC sur le réseau  
Décharge du stockage en appoint de la production d'EC sur le réseau :

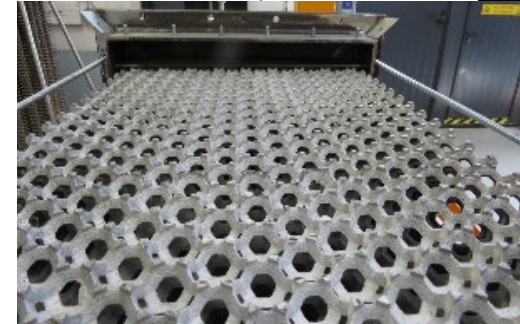
En complément PAC (pic de puissance)  
En substitution de la PAC (retard du redémarrage des PAC)

Départ 65°C retour 45°C

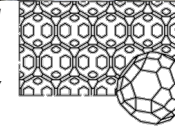
Logements : stockage situé dans un sous-sol d'immeuble

Structure Lattice moulée autour des tubes caloporteurs

+ MCP bio source



Open (Kelvin) cell lattice structure made of cast aluminum alloy



Démonstrateur de GRIMSBOX, quartier Eureka (SERM)

Source : GRIMS Energies

Modules de 15 kWh  
MCP fusion vers 62°C (Acide palmitique)  
Densité de stockage 60-70 kWh/m<sup>3</sup>

Démonstrateur toujours opérationnel : GRIMS ENERGIES commercialise le produit et des développements sont en cours sur des MégaBox → Echelle MWh

Analyse d'opportunités

Faisabilité technico-économique

Pré-dimensionnement

Conception : gestion système et stratégie

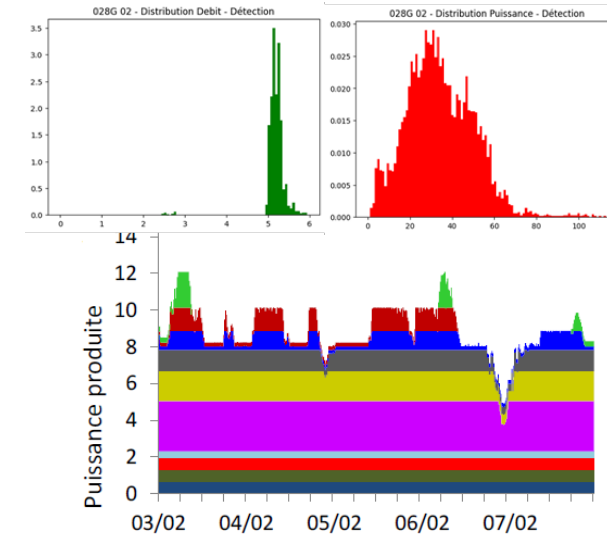
Pilotage

Opération, régulation

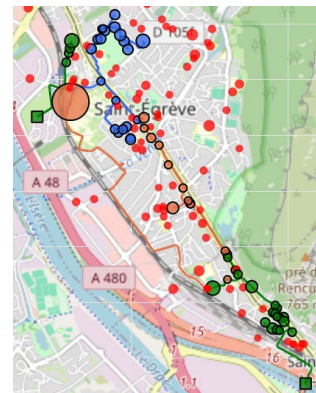
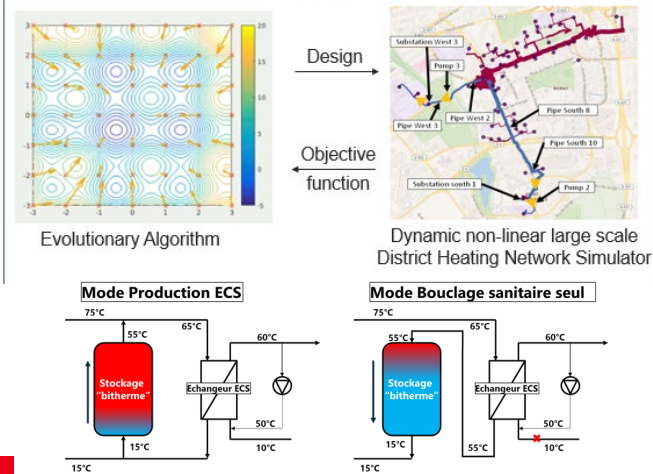
## Développement d'outils logiciels : Conception et pilotage

### Du design ...

- Scénarios de décarbonation de réseaux de chaleur : quels moyens de production mettre en œuvre ?
- Conception thermo-hydraulique des réseaux de chaleur : passage réseau HP en BP, dimensionnement des réseaux, intégration stockage distribué sur le réseau, réseau de 5ème génération,...
- Architecture sous-stations : abaissement des températures retour, limitation appel de puissance,...



### Large-scale simulation and optimization models

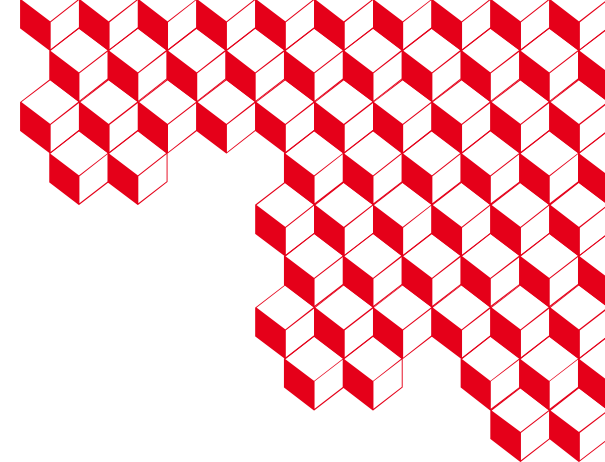


### ... Au pilotage

- Engagement des moyens de production
- Aide au pilotage du réseau de distribution
- Gestion de la demande
- Analyse de données de mesures
- Détection de défauts



liten



**Merci**

**CEA GRENOBLE**

38054 Grenoble Cedex 9

France

[Laurent.bedel@cea.fr](mailto:Laurent.bedel@cea.fr)

Mob : 07 85 19 20 62