



Eco-SESA
Univ. Grenoble Alpes



Le projet de la Presqu'île de Grenoble
Opportunité de couplage entre une infrastructure de recherche et un réseau de chaleur basse température



financé par
IDEX Université Grenoble Alpes

Sacha Hodencq (LNCMI - G2Elab – CEA Liten)

23 octobre 2019

DÉROULEMENT DE LA PRÉSENTATION

- **Chaleur fatale : généralités**

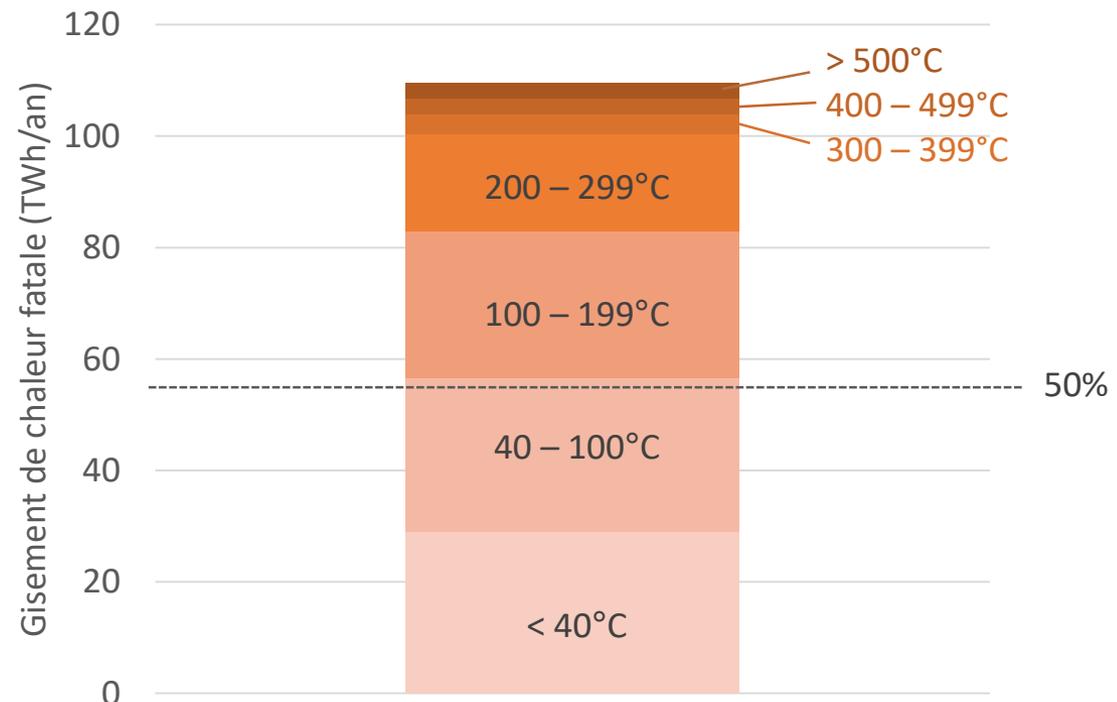
- **Projet de valorisation de chaleur fatale LNCMI – Presqu’île**
 - ▶ Présentation générale
 - ▶ Caractéristiques et défis techniques
 - ▶ Bilan économique et environnemental
 - ▶ Intérêts du projet – plateforme de recherche

- **Conclusion**

CHALEUR FATALE : GÉNÉRALITÉS

- Consommation d'énergie finale en France : 1884 TWh / an
- Plus de la moitié de cette énergie consommée sous forme de chaleur
- **Gisement de chaleur fatale industrielle en France : 110 TWh / an**

- ▶ Température
- ▶ Localisation



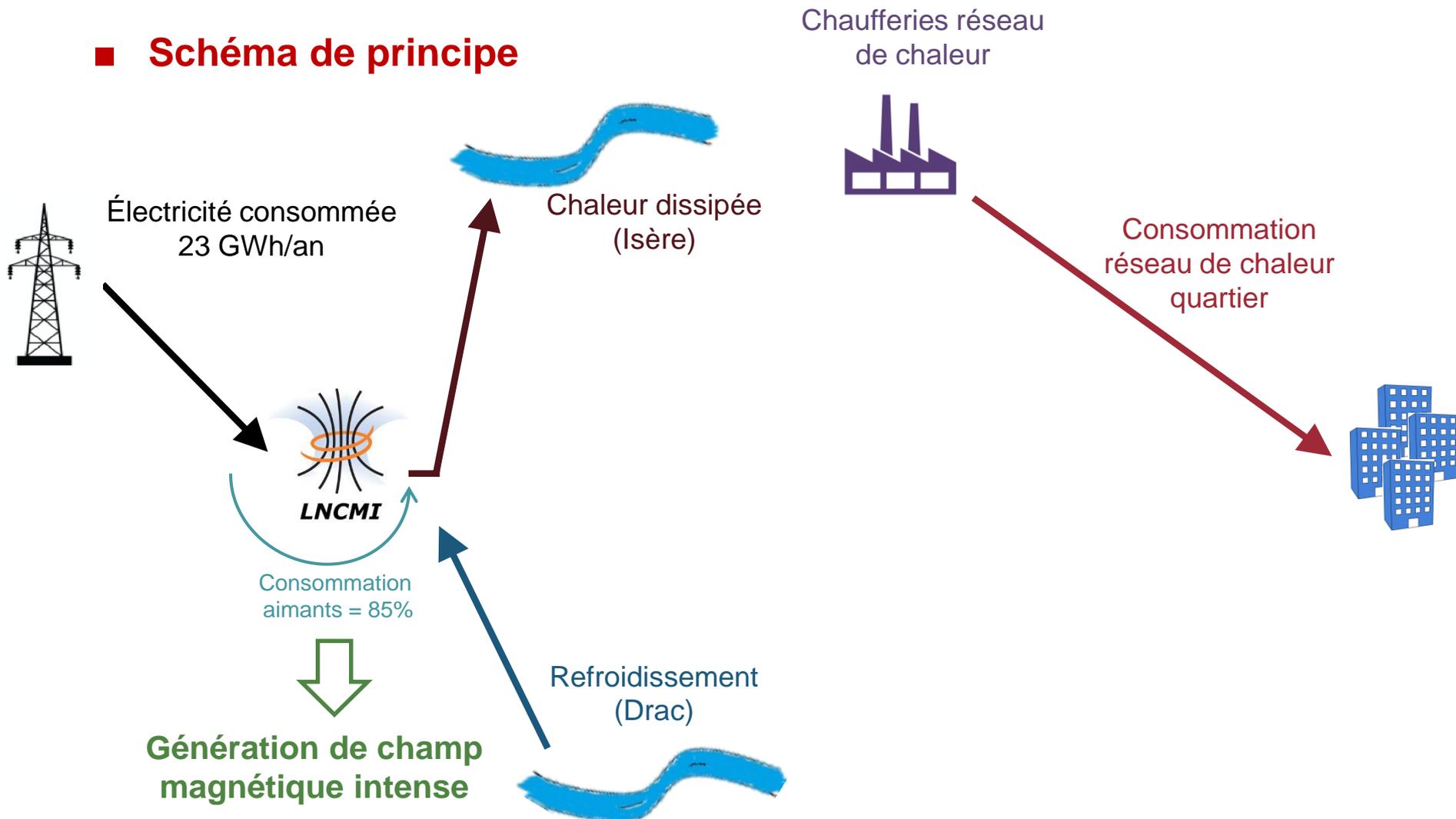
LNCMI : PRESENTATION GÉNÉRALE

- ▶ LNCMI (Laboratoire National des Champs Magnétiques Intenses) : infrastructure de recherche du quartier de la Presqu'Île à Grenoble.



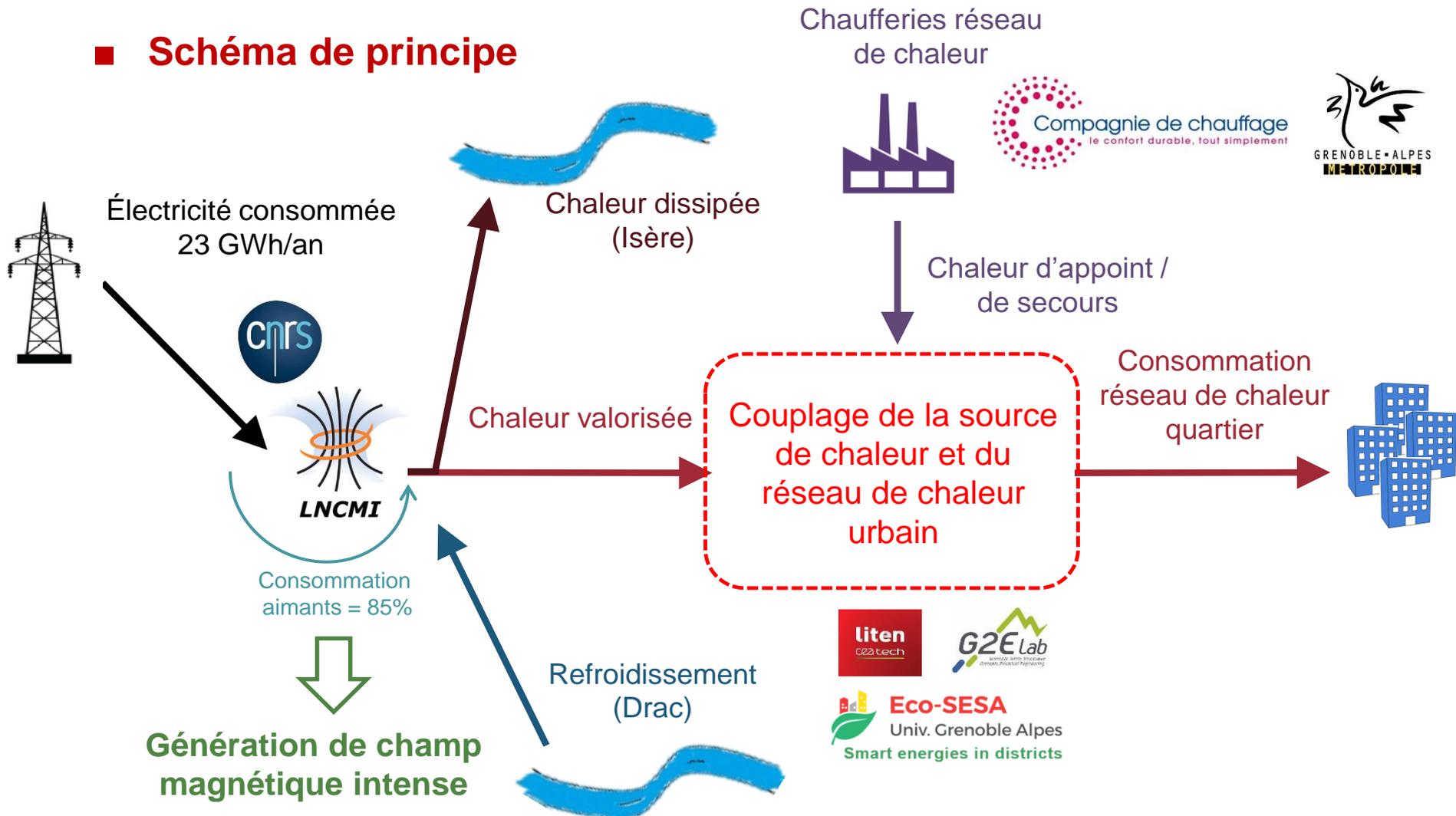
LNCMI : PRESENTATION GÉNÉRALE

■ Schéma de principe



LNCMI : PRESENTATION GÉNÉRALE

■ Schéma de principe

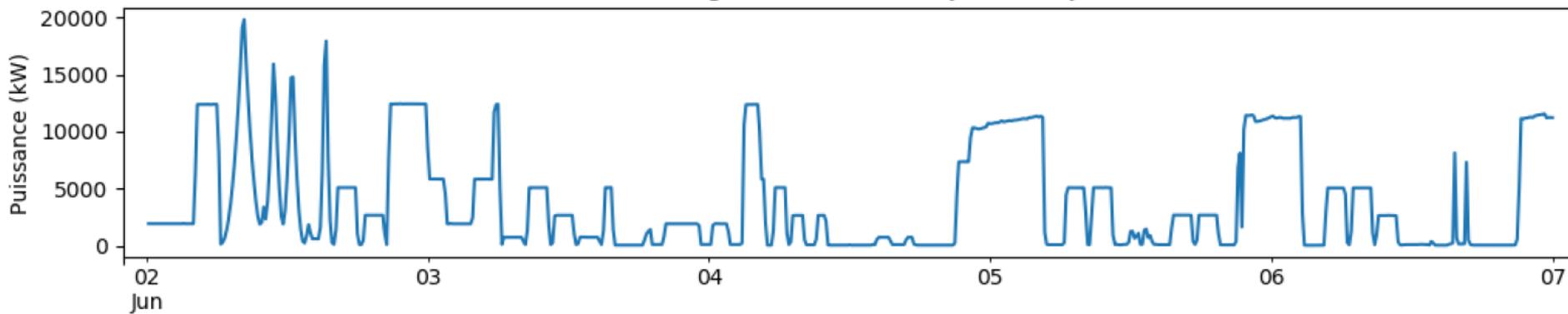


CARACTÉRISTIQUES ET DÉFIS TECHNIQUES

■ Caractéristiques techniques

- ▶ Source de chaleur intermittente et basse température

Courbe de charge du LNCMI, du 2 juin au 6 juin 2018



- ▶ Augmentation de la puissance maximale de l'installation

24 MW (36 T)

30 MW (40 T)

36 MW ?

Puissance

2007

2012

2017

2022

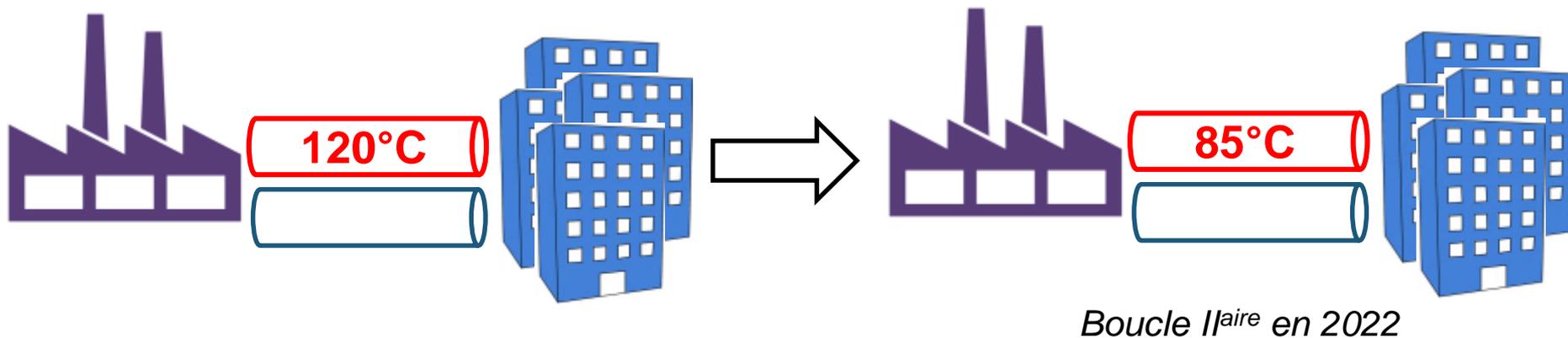
2027

2032

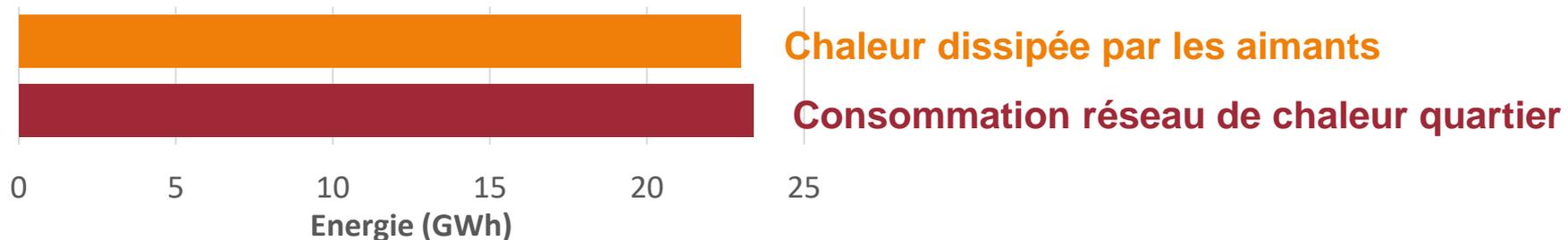
Année

CARACTÉRISTIQUES ET DÉFIS TECHNIQUES

- Création d'une boucle secondaire du réseau de chaleur dans le quartier de la Presqu'île → **diminution de la température réseau**



- Mêmes ordres de grandeurs énergétiques :



→ **Opportunité de valorisation de chaleur fatale**

CARACTÉRISTIQUES ET DÉFIS TECHNIQUES

■ Nécessité d'un système de valorisation de chaleur fatale

Différences techniques	LNCMI	Réseau de chaleur
Niveaux de température	Variable 10°C à 40°C	85°C
Temporalités de production / consommations	Planning des expériences	Résidentiel - tertiaire
Puissances de production / consommation	Sur l'année : 0 – 30 MW	Été : 0,5 – 2 MW Hiver : 4 – 7 MW

→ Solution technique :

→ **Régulation + Pompe à chaleur (PAC)**

→ **Stockage thermocline**

CARACTÉRISTIQUES ET DÉFIS TECHNIQUES

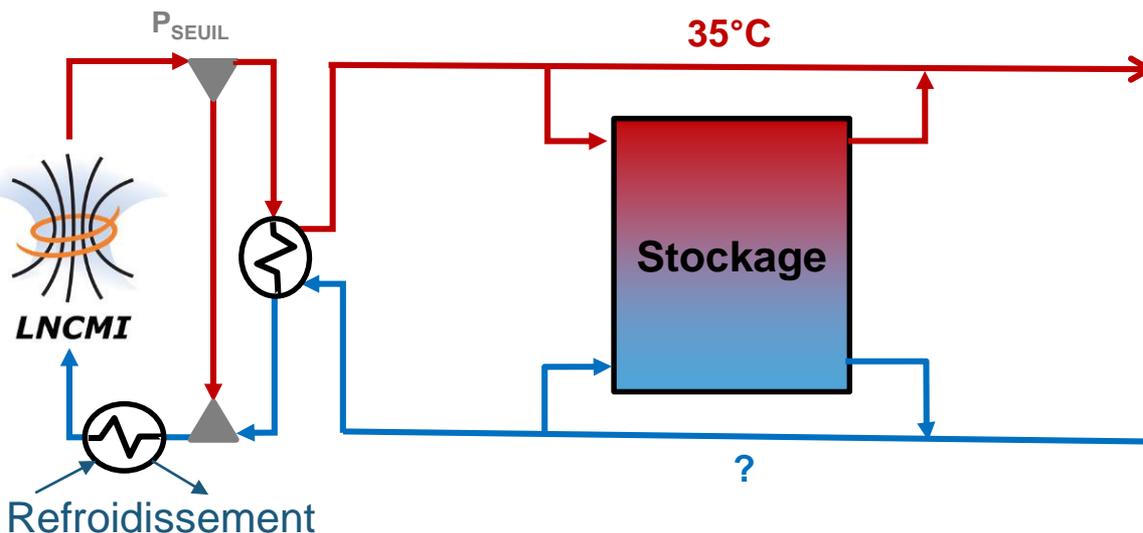
■ Caractéristiques des briques technologiques

► Aimant

- Planning expérimental, tarif de l'électricité
- Puissance seuil pour la valorisation
- Température de sortie

► Stockage thermocline

- Taille (capacité)
- Différence de températures
- Stratégie d'opération



CARACTÉRISTIQUES ET DÉFIS TECHNIQUES

■ Caractéristiques des briques technologiques

► Aimant

- Planning expérimental, tarif de l'électricité
- Puissance seuil pour la valorisation
- Température de sortie

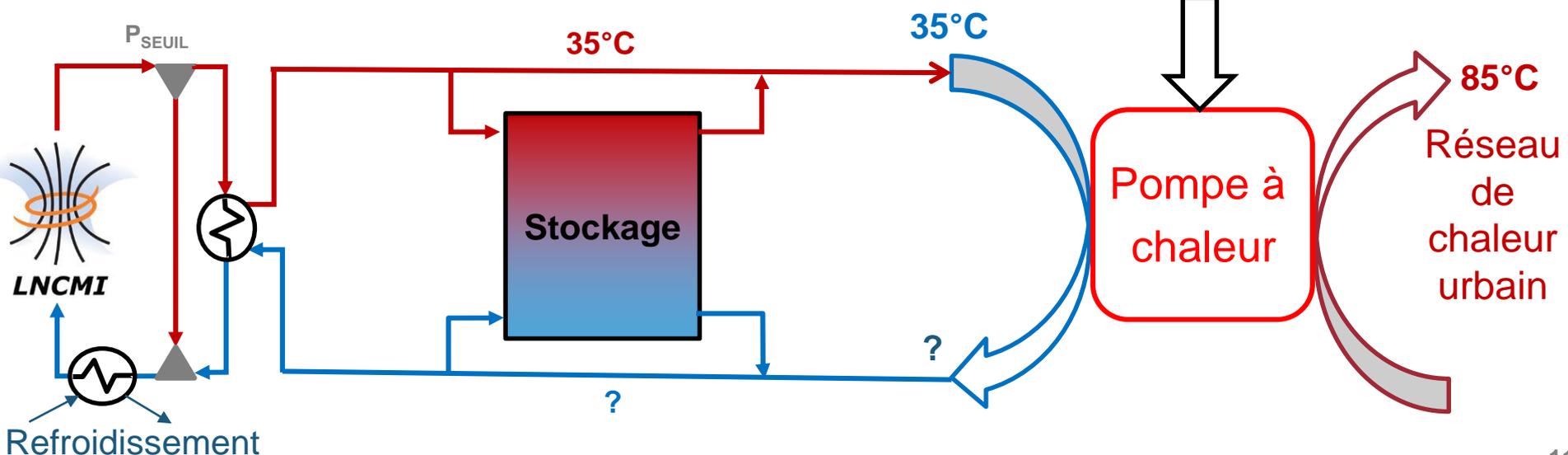
► Stockage thermocline

- Taille (capacité)
- Différence de températures
- Stratégie d'opération

► Pompe à Chaleur

- Niveau de puissance
- Compromis entre une valeur de COP élevée et l'écart des températures d'entrée.

$$P_{\text{ELEC PAC}} = P_{\text{CHAL}} / \text{COP} (\Delta T)$$



BILAN ÉCONOMIQUE ET ENVIRONNEMENTAL

■ Bilan économique :

$$prix_{chaleur} (\text{€/MWh}) = \frac{CAPEX_{(\text{€})} + OPEX_{(\text{€})} + prix_{elec} (\text{€/MWh}) * E_{elec} (\text{MWh})}{E_{inject} (\text{MWh})}$$

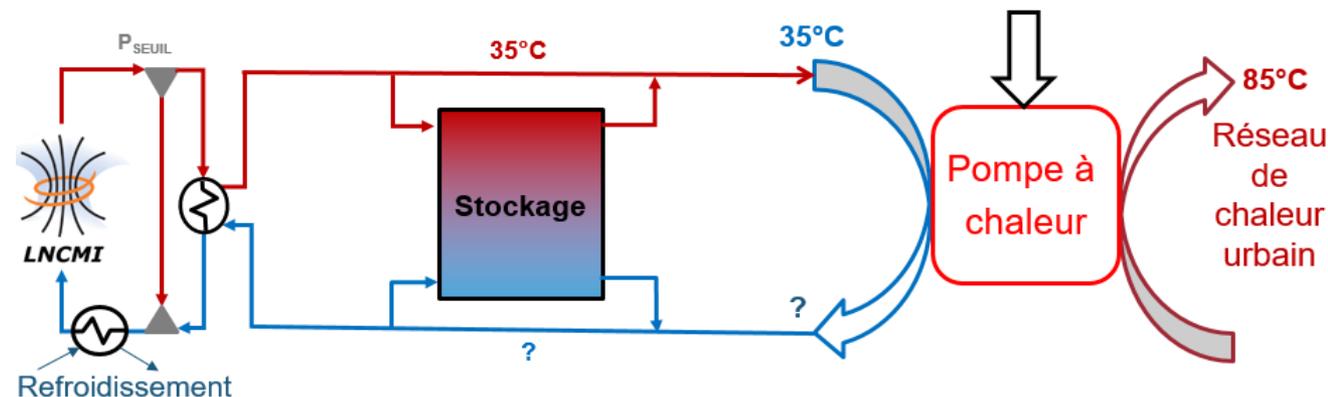
■ Bilan environnemental

remplacées

-

émises

$$em_{GES} (kg CO_2eq)$$



BILAN ÉCONOMIQUE ET ENVIRONNEMENTAL

■ Bilan économique :

$$prix_{chal\ valo}(\text{€/MWh}) = \frac{CAPEX_{(\text{€})} + OPEX_{(\text{€})}}{E_{inject}(\text{MWh})} + \frac{prix_{elec}(\text{€/MWh})}{COP}$$

■ Bilan environnemental

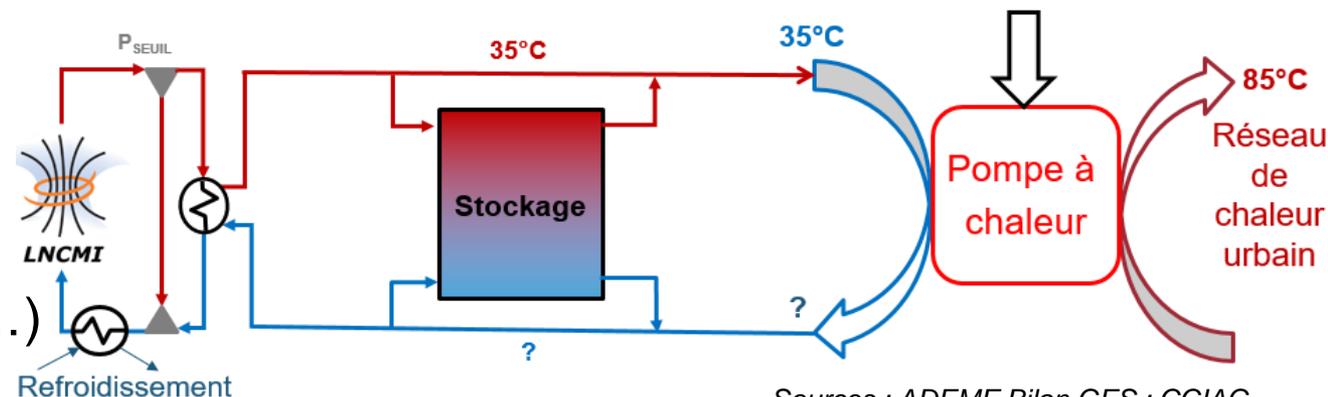
$$em_{GES\ ev}(\text{kg CO}_2\text{eq}) = \sum_{an} P_{inject}(\text{MW}) * \left(\overbrace{\tau_{GES\ chal}(\text{kg CO}_2\text{eq/MWh})}^{\text{remplacées}} - \overbrace{\frac{\tau_{GES\ elec}(\text{kg CO}_2\text{eq/MWh})}{COP}}^{\text{émises}} \right)$$

$$\tau_{GES\ chal} = 115 \text{ kg CO}_2\text{eq./MWh}$$

$$\begin{aligned} \tau_{GES\ elec} &= 57 \text{ kg CO}_2\text{eq./MWh moyen} \\ &= 147 \text{ kg CO}_2\text{eq./MWh chauffage} \end{aligned}$$

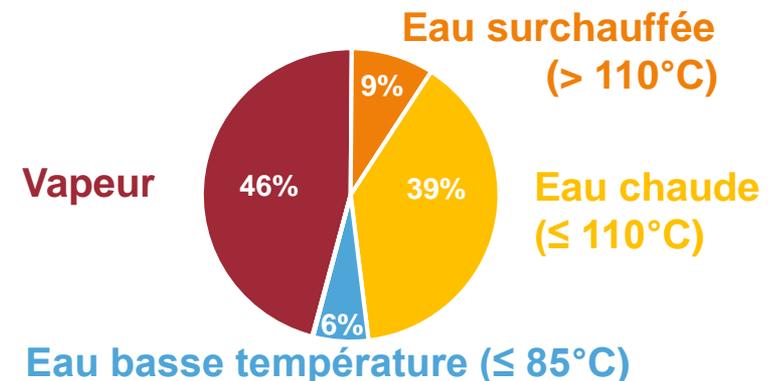
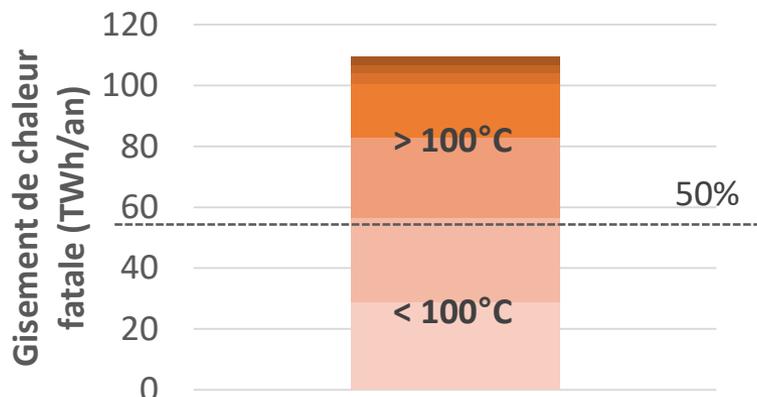
■ Leviers:

- ▶ Consommation électrique
- ▶ Energie injectée (P_{seuil} , été/hiver, ...)



INTÉRÊTS DU PROJET – PLATEFORME DE RECHERCHE

- **Réduction émissions de CO₂ par remplacement d'énergies carbonées**
- **Défis pour la valorisation de chaleur fatale :**
 - ▶ Différences de puissances & temporalités
 - ▶ Gisement basse température vers réseau de chaleur « moyenne température »
 - ▶ Projet multi-acteurs : infrastructure de recherche, collectivité, opérateur de réseau de chaleur



Niveaux de température des réseaux de chaleur en France (% d'énergie livrée)

INTÉRÊTS DU PROJET – PLATEFORME DE RECHERCHE

- **Gisement de chaleur important à proximité d'un réseau de chaleur urbain**
- **Pérennité des infrastructures de recherche**
- **Plateforme de recherche ouverte**
 - ▶ Développement d'outils et concepts
 - ▶ Open science :
 - Données
 - Démarche
 - Modèles, outils, concepts
 - Articles



OMEGAAlpes

CONCLUSION

« Ensemble d'éléments physiques qui collecte, convertit et/ou distribue de l'énergie, construit et/ou opéré par un acteur décisionnel en interaction avec des actants »

- **Le LNCMI peut être considéré comme un nœud socio-énergétique :**
 - ▶ Acteur électro-intensif et source de chaleur basse température et intermittente
 - ▶ Inscrit dans un territoire (source froide, consommation de chaleur quartier)

- **Modèles technique, économique, organisationnel et environnemental en construction pour la pérennité des infrastructures de recherche**

- **Rencontre des gisements de chaleur fatale et des réseaux de chaleur : un facteur clef de la transition énergétique**