

Technologies et éléments de valorisation économique du stockage thermique

Présentateur : Emmanuel PASTOR Délégué ATEE CVL – EDF R&D Saclay

Avant Propos

- Cette présentation se base sur des éléments de l'étude menée par le club stockage de l'ATEE et l'ADEME (PEPS 3 – Etude de valorisation du stockage thermique et du power to heat) :

Commanditaires :  **Club Stockage**
d'Energies

ADEME



Agence de l'Environnement
et de la Maîtrise de l'Energie

Réalisation :  **Artelys**
OPTIMIZATION SOLUTIONS



- ainsi que le suivi technologique et le savoir faire du département d'économie et de fonctionnement des systèmes énergétique du groupe EDF.



EDF lab

L'énergie est notre avenir, économisons-la !

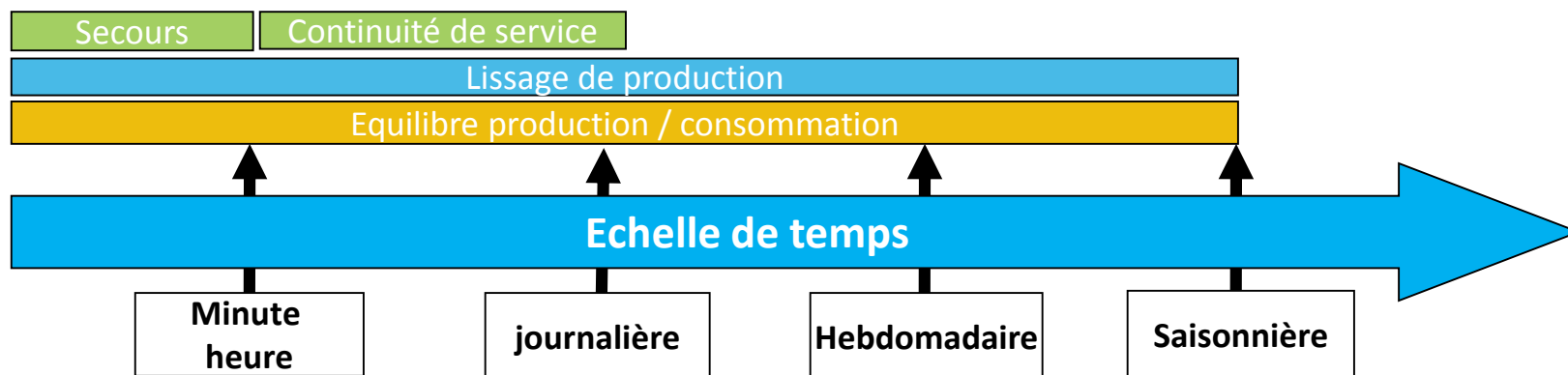


Sommaire (25')

- Caractérisation du stockage thermique
- Technologies disponibles et application
- Éléments de valorisation économique du stockage

Les critères de classements des familles du stockages

- **La gamme de température (°C)**
 - Température sous-ambiante (**<20°C**) : Production de froid
 - Basse température (**<120 °C**) : habitat, récupération des rejets thermiques, mais aussi dans le cas d'utilisation d'énergie intermittente, de cogénération à basse température,...)
 - Haute température (**>120°C**) : cogénération, pile à combustible, solaire thermodynamique, récupérations de rejet thermique HT
- **La densité (kWh/m³)**
- **La durée de stockage et de déstockage (h) :**



- **Le rendement de charge/décharge (%), l'autodécharge (%stoquée/h),**
- **Les coûts de la technologie**

Trois grandes familles pour le stockage thermique

Maturité

Densité/ Coûts

Caractéristiques

Chaleur sensible

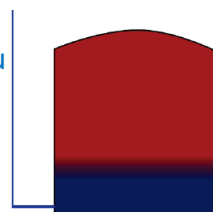
- Commercial (Cuve)
- Quelques références pour le stockage saisonnier

15-50 kWh/m³



- Simple
- OPEX limités
- Approprié pour le stockage de chaud

Eau froide du réseau



Eau chaude vers le réseau

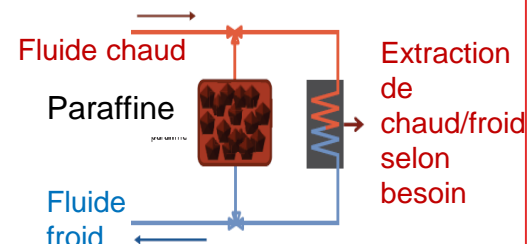
Chaleur latente

- Commercial pr l'eau/sel fondus
- Demande des améliorations pr les polymères

100-150 kWh/m³



- Haute densité
- Non toxique
- Approprié pour le stockage de froid



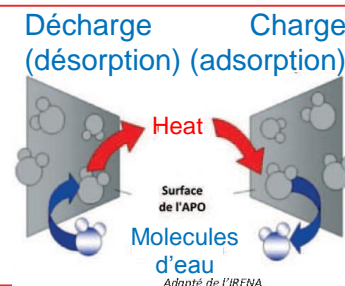
Chimique-Sorption

- Pilotes

300-500 kWh/m³



- Très haute densité
- Pertes réduites sur de longues périodes
- Bonne dynamique



Encore de grands besoins de RD&D



Sommaire (25+5')

- Caractérisation du stockage thermique
- Technologies disponibles et applications
- Rentabilité économique du Stockage

Chaleur sensible : réservoirs d'eau

- Réservoirs d'eau chaude (max 90°C) pour la production d'eau chaude sanitaire (ECS) et de chauffage:
 - Eau stockée de manière stratifiée (thermocline)
 - Réservoir isolé thermiquement
 - Eau = densité énergétique + élevée des formes de stockage sensible

ΔT Stockage °C	kWh/m ³
15	16
30	31
40	42

- Applications :
 - Stockage court terme (quelques minutes à quelques jours) pour les ballons domestiques et les réseaux de chaleur
 - Stockage plus long terme pour les cuves enterrées (3 à 6 mois)
 - Utilisation pour récupération de chaleur industrielle intermittente ou pour découpler production électricité et chaleur (cogénération).

Brest Eau 1000m³
Cf Presentation Dalkia



Réutilisation de stockage fioul pour stockage eau chaude – Cogé gaz



Source : <http://www.decentralized-energy.com>

Chaleur sensible : stockage de chaleur intersaisonnier

Plusieurs options possibles : Voir présentation C Maragna



Photo: Arcon Solvarme A/S

Large-scale water storages



Figure 3 : "Water Pit Storage" en construction [3]

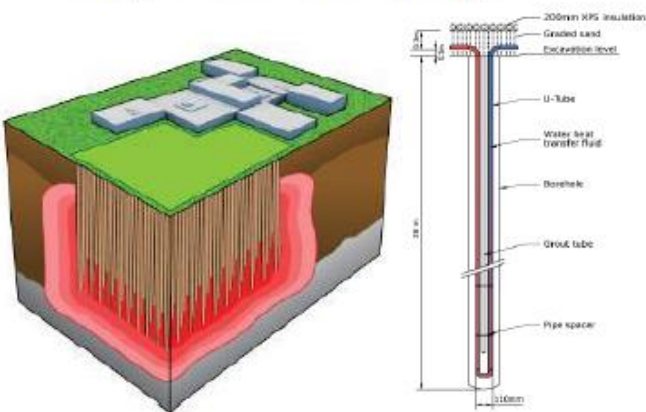
Source JENSEN Morten Vang, Large Systems
Seasonal pit heat storages IEA-SHC, 2014



Pit Thermal Energy Storage (PTES)

Aquifer Thermal Energy Storage (ATES) = Stockage en aquifère

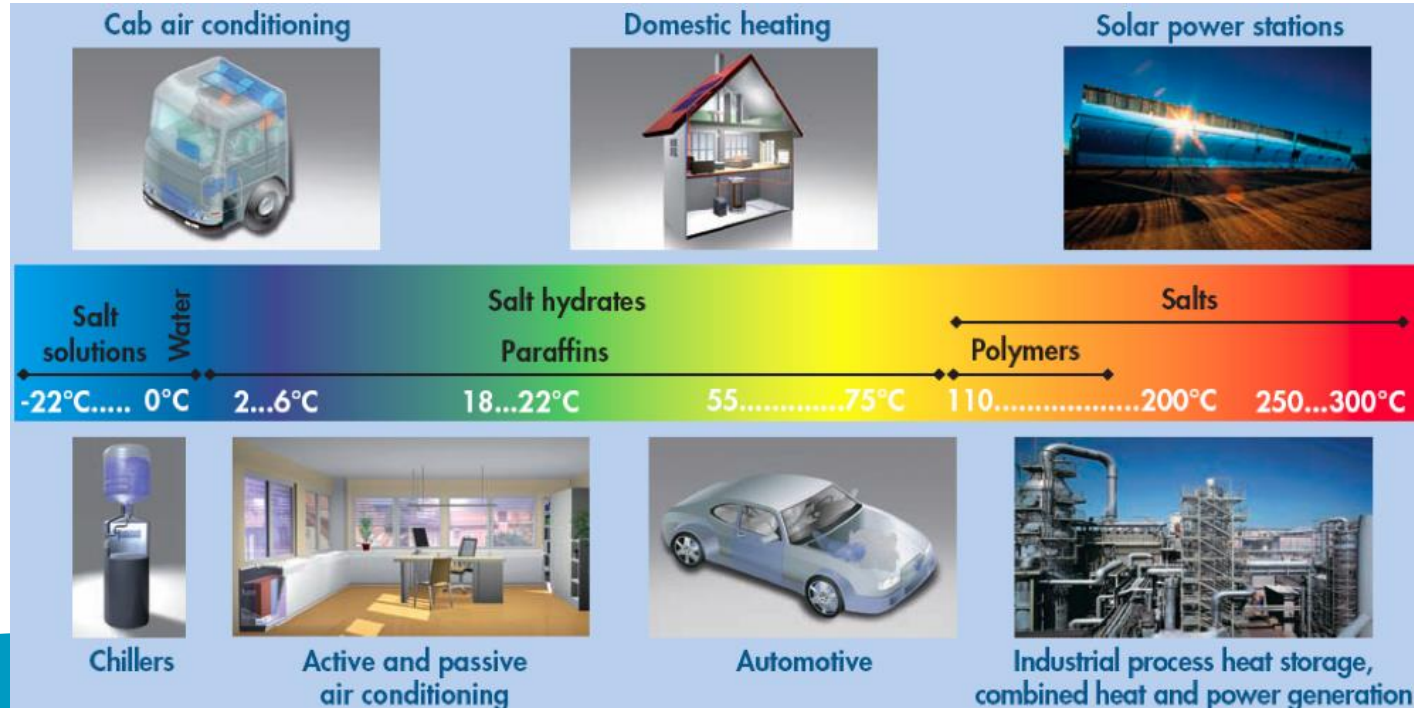
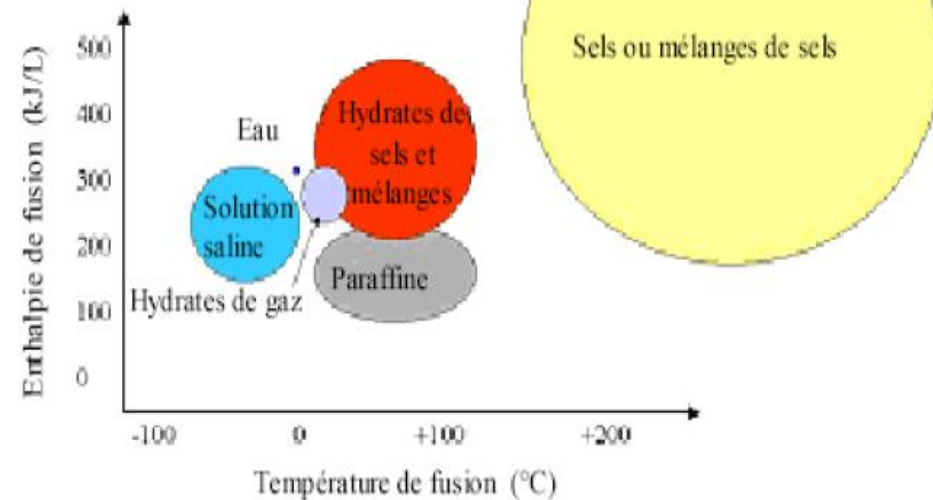
Graphiques : Underground Energy, LLC



Borehole Thermal Energy Storage (BTES) = Stockage dans la roche

Changement de phase : les matériaux

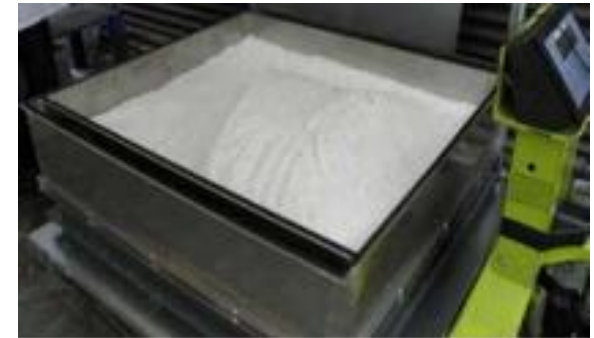
- Deux grandes familles de Matériaux à Changement de Phase (MCP)
 - Les matériaux inorganiques (eau hydrates salins et métaux)
 - Les matériaux organiques (paraffines de synthèse, acides gras, polyols)
- Des applications et des matériaux différents en fonction des gammes de températures.



Stockage thermochimique

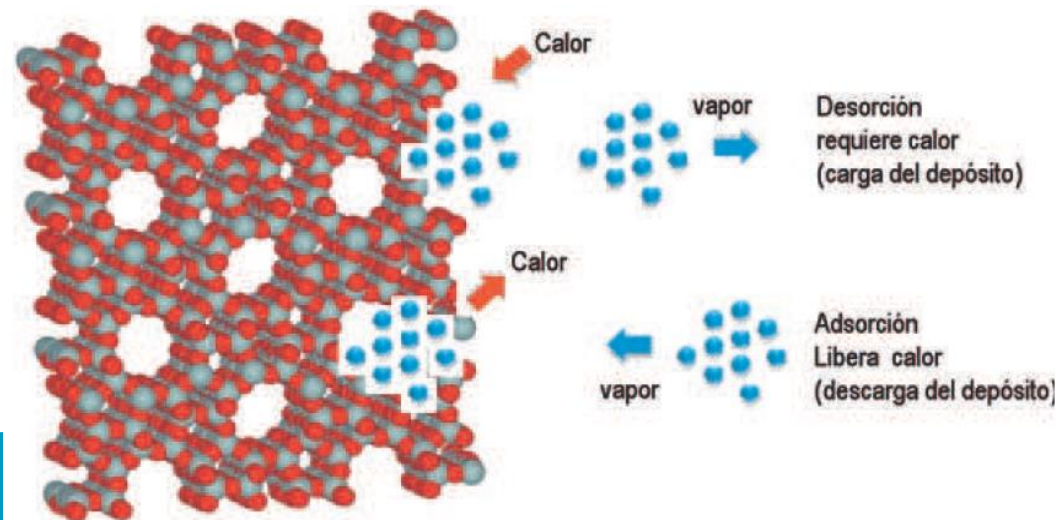
- Reactions physico-chimiques ou chimiques réversibles (Absorption, Adsorption, Réactions)

+	Défis
Densité 10 fois sup Stockage sensible	Mauvaise stabilité cyclique
0-300°C+ suivant zéolite ou réaction	
Pas d'auto décharge	Pauvre conductivité thermique des milieux Mauvais échange

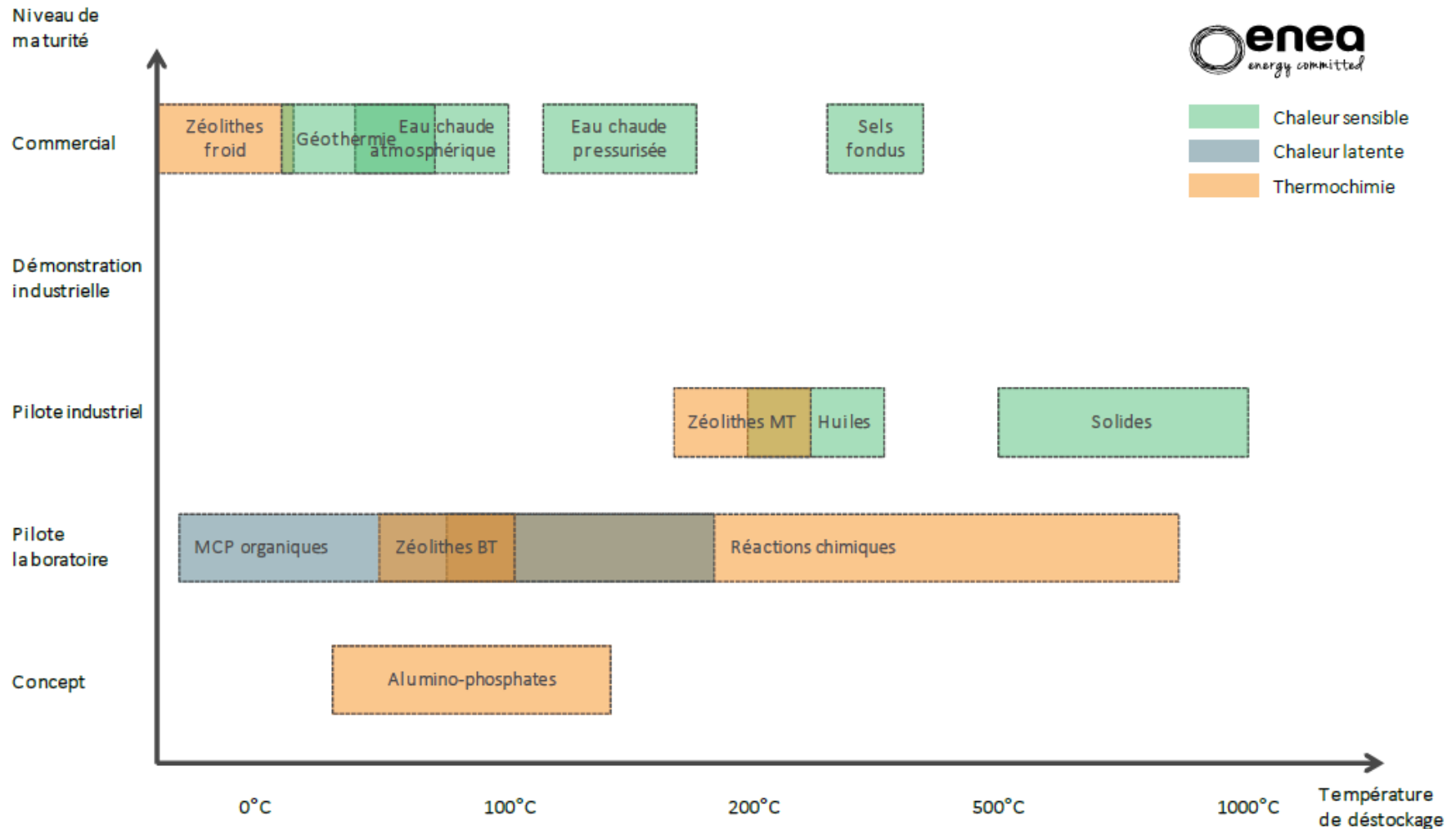


Adsorption et désorption
d'eau dans un réseau de
zéolite

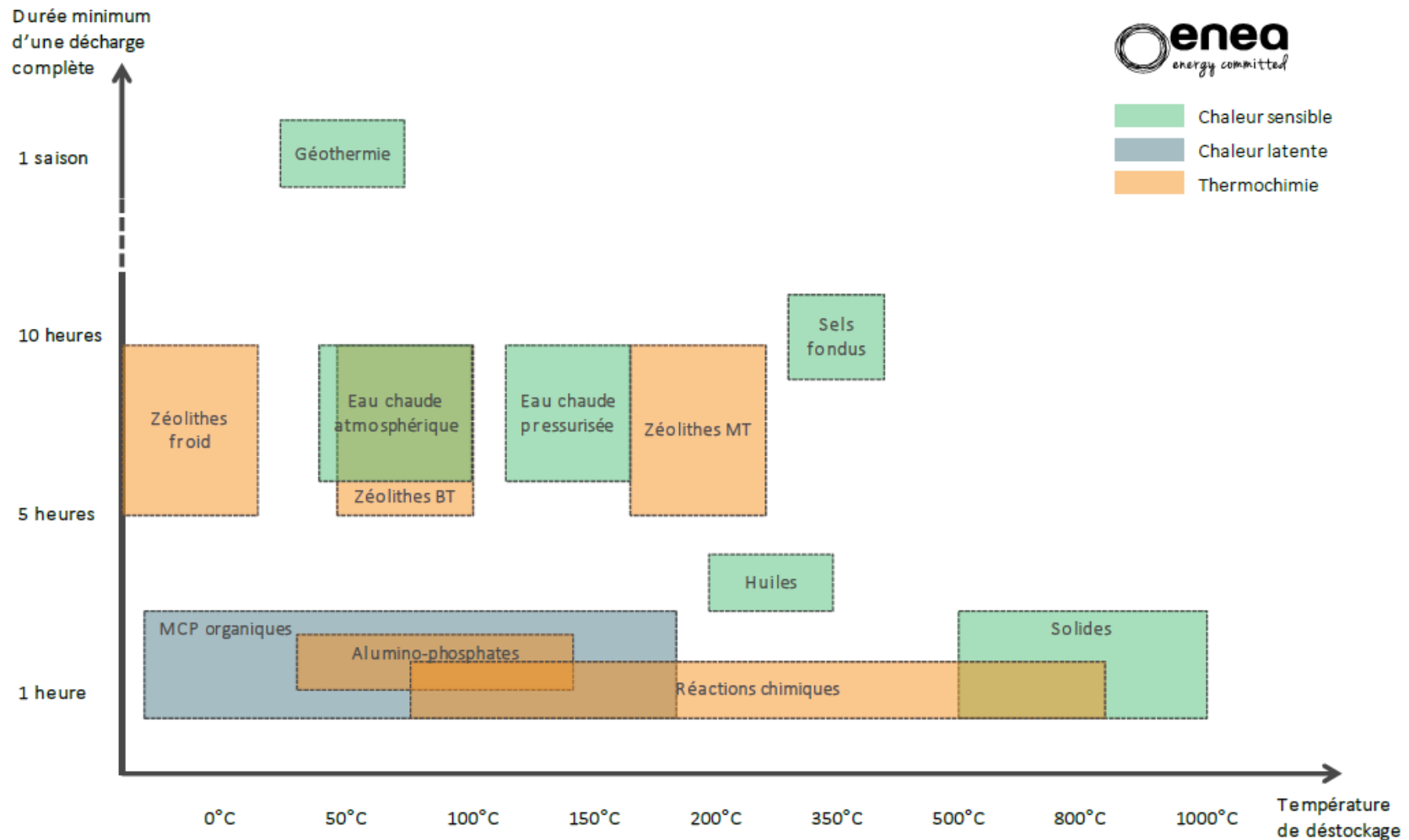
↓
Stockage
saisonnier
faible taille



Niveau de maturité vs température de stockage



Durée de décharge et température de stockage



Sommaire (25+5')

- Caractérisation du stockage thermique
- Technologies disponibles et applications
- Valeur économique du Stockage – Application aux Réseaux



Réservoir
d'eau chaude
Court terme

Coûts du stockage – réservoir eau chaude

• CAPEX :

- Coûts Stockage : Cuve, Sonde, Forage, terrassement et liner,.....
- Fondations (si besoin), terrassement et Génie Civil
- Connexion hydraulique et sous station (potentielle)
- Sécurité (rétention) / Embellissement (si besoin)

• OPEX :

- Prévention de la corrosion : faible



Le stockage en cuve = 100% de coûts fixes

Pour une Cuve simple installée de 1000 m³ retenir un CAPEX de 1M€ (hors aspects architecturaux)



DT Stockage °C	MWh
15	16
30	31
40	42

Cas ou le stockage peut avoir de la valeur.

Extension de réseau
Augmentation de la consommation



Risque Congestion

Stockage Permet



Report d'investissement
Pour éviter un
renforcement réseau en
cas d'extension

Augmentation contrainte ENR



Non Respect
Contrainte ENR

Stockage Permet



Taux ENR :
Stockage énergie ENR
vs Gaz ou fioul

ENR installée avec
faible nbre HPP* et
prix variable limité



Stockage Permet

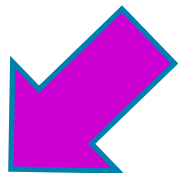


Arbitrage:
Faible coût marginal
ENR
Vs
Coûts gaz

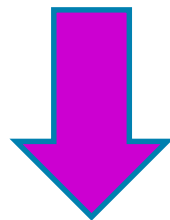
**Heure à Pleine Puissance*

Valeurs du stockage thermique

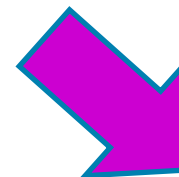
Valeurs Economique – O&M



Secours/ Maintenance
facilitée
Arrêt de matériel de
production (PAC cogé)



Récupération de chaleur
fatale intermittente
Pour y adjoindre une PAC



Lissage
Eviter les variations de
puissance
(i.e de température) sur
les matériels de
production et le réseau

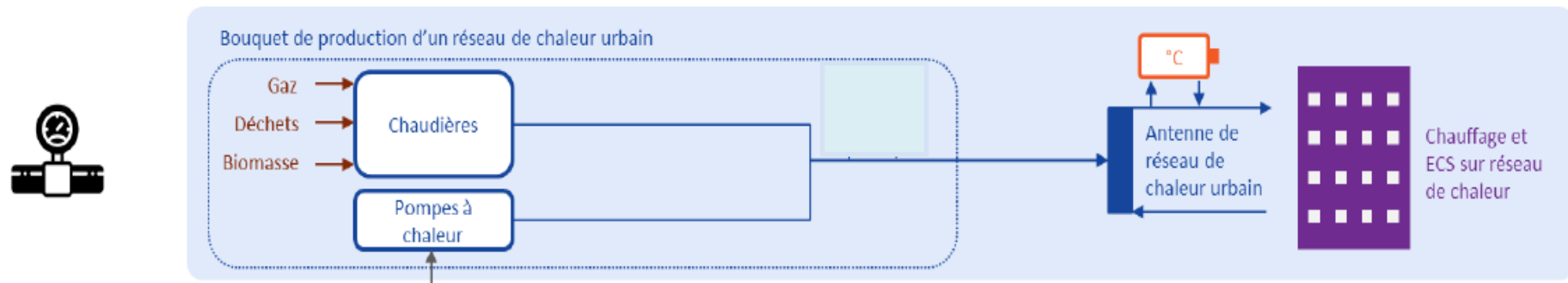
**Autre Valeur
Eco**



Service Systèmes Réseau Electrique
Effacement de PAC repris par stockage
(Allemagne – Sujet Européen)

Exemple issu de l'analyse PEPS 3 : Stockage en parade à des congestions du réseau de chaleur.

Applications sur les réseaux de chaleur urbains

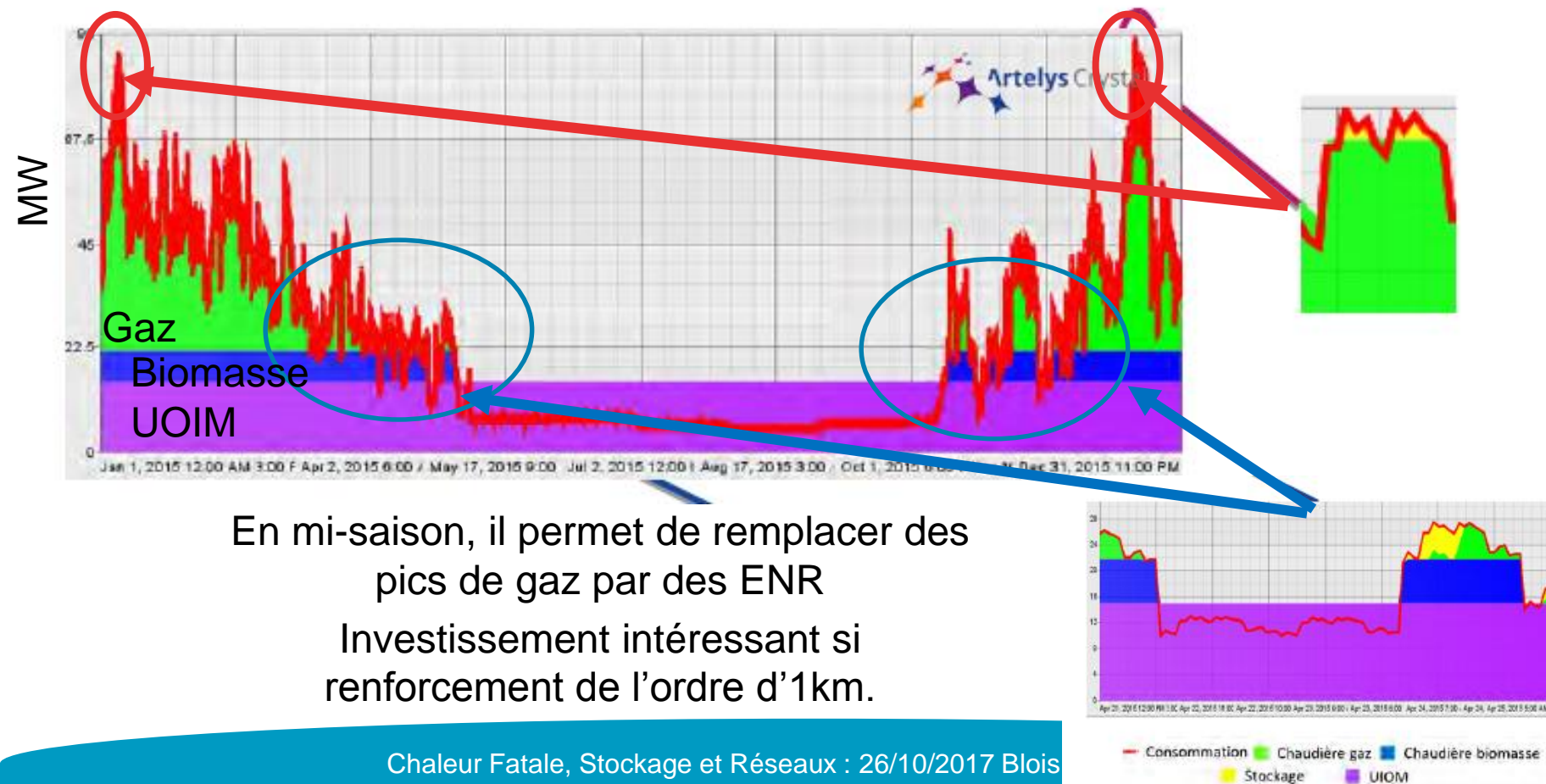


Un raccordement sur une branche réseau conduit à des pertes de confort sur des pics hivernaux qui nécessiteraient un renforcement du réseau de transport vers cette branche terminale.

L'alternative est un stockage positionné au pied de cette extension pour lisser les pics de puissance.

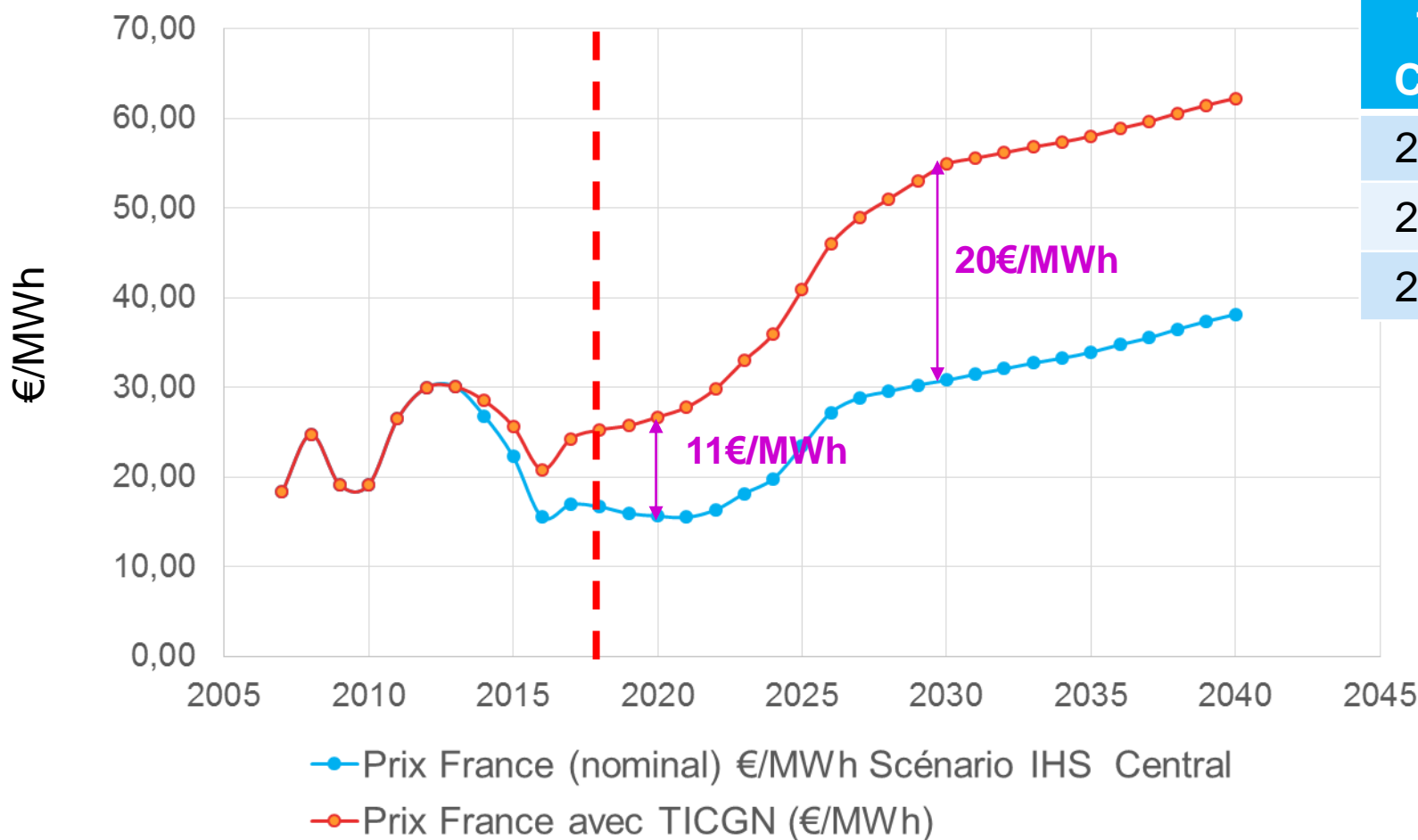
Risque de congestion – Report d'investissement

- Augmentation de 5% de la demande – Le stockage est dimensionné pour lisser la pointe de 4,3MWth
- Le stockage est utilisé à la pointe pour ne pas mettre en contrainte le tronçon du réseau en question. Dans ce cas, il déplace du gaz.



Perspective Arbitrage – La CCE si elle est maintenue aura un impact fort sur le prix du gaz

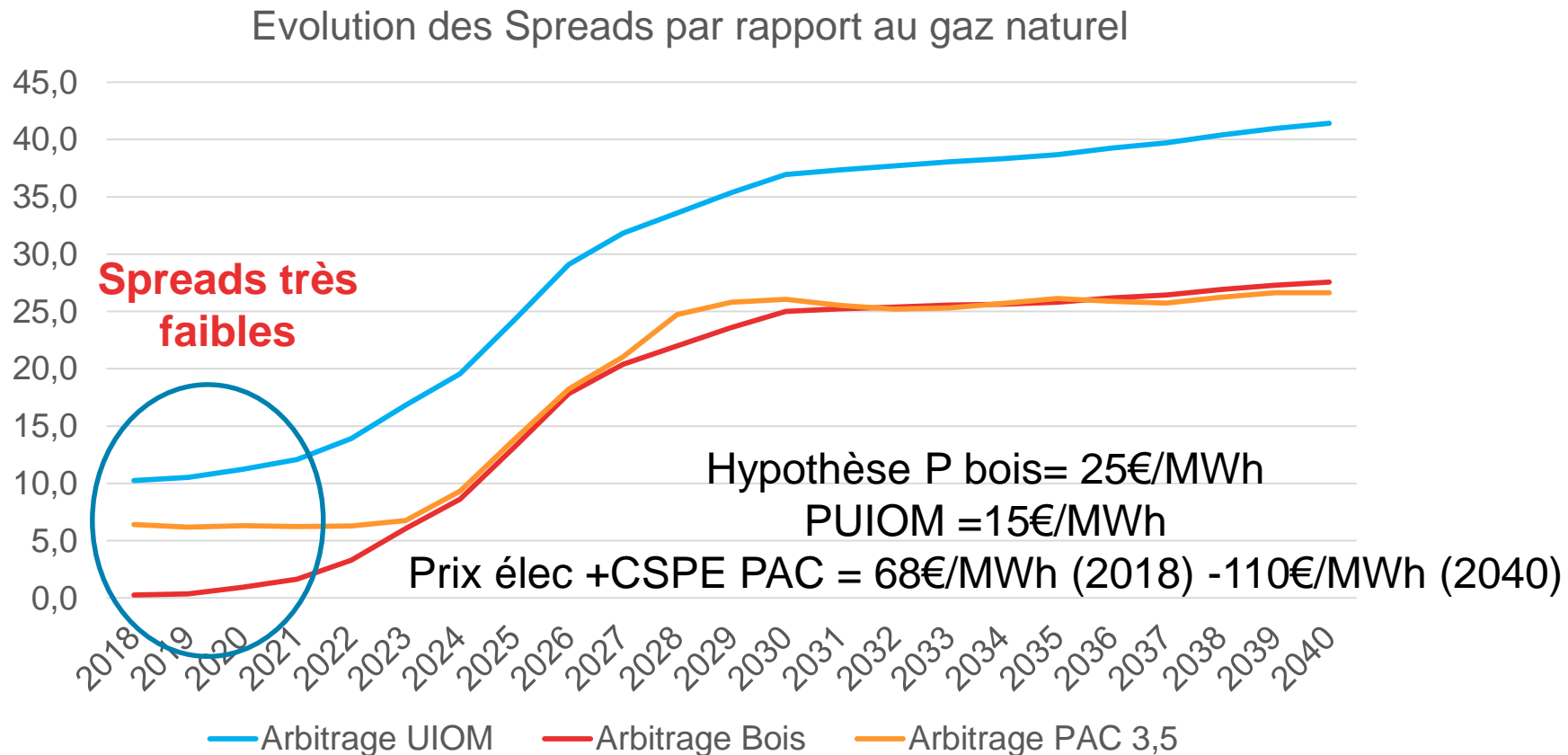
Evolution du prix du gaz naturel zone France



Trajectoire CCE (€/tCO₂)

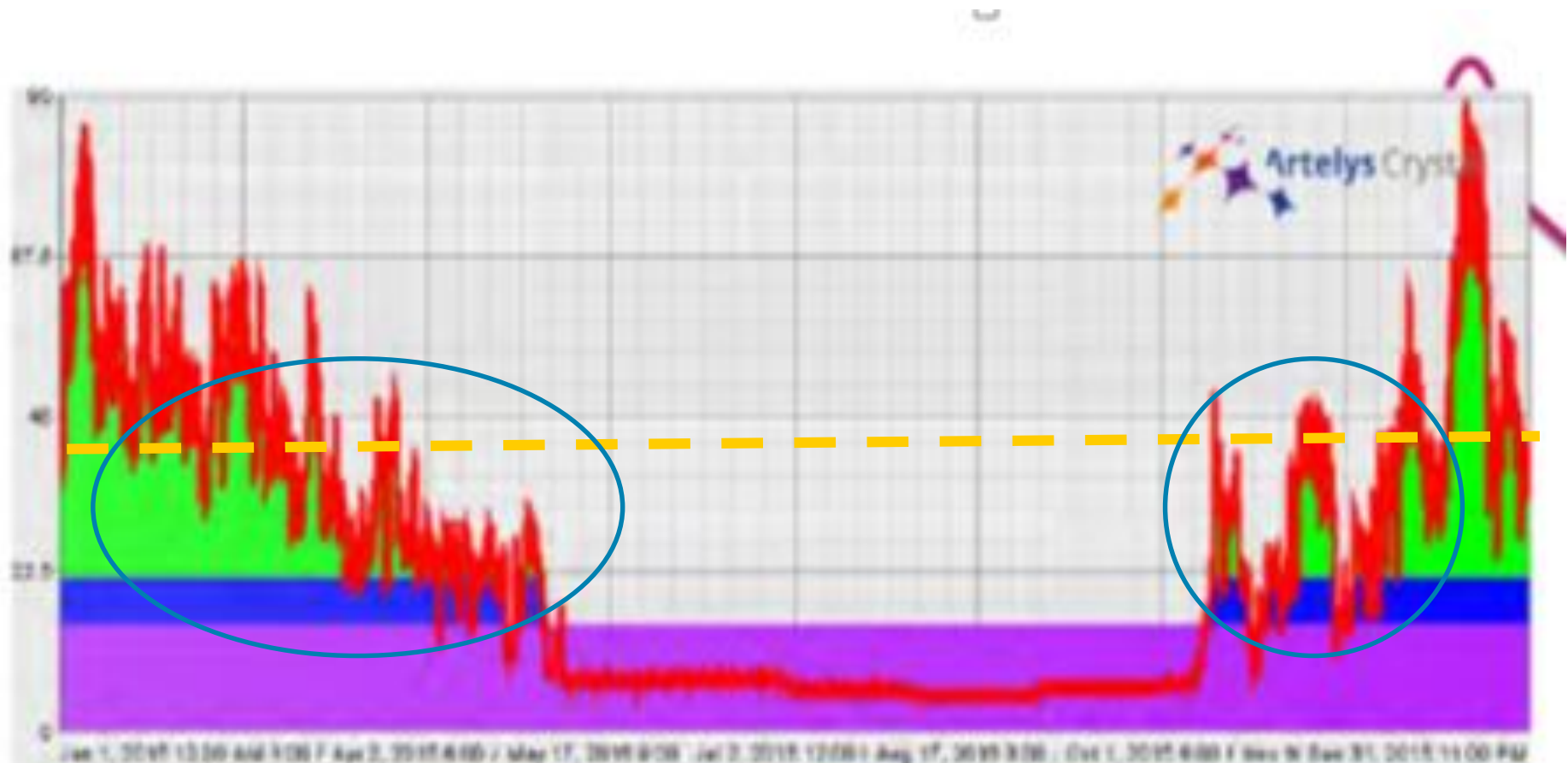
2016	22
2020	56
2030	100

Perspective Arbitrage – Les perspectives d'arbitrage très faibles aujourd'hui pourront devenir importantes demain.



Pour une centaine de cyclage par an et avec un delta T de 30°C on arrive à l'équilibre éco (WACC à 7%) pour l'UIOM

Arbitrage : Plus le taux d'ENR&R est important sur le réseau et plus le stockage à un sens économique
Plus le profil de conso est variant et plus l'intérêt économique est fort.



Conclusions

- **Les conditions d'arbitrage actuelles ne sont pas favorables au stockage thermique - des subventions sont encore nécessaires pour son émergence.**
- **La CCE (trajectoire actuelle) favorisera l'émergence du stockage de chaleur.**
- **Plus le tx d'ENR&R est élevé et plus le stockage à un sens économique. Les réseaux peu foisonnés (logement, tertiaire) sont à cibler en priorité.**
- **Aujourd'hui, d'autres contraintes opérationnelles sur le réseau (lissage production, découplage cogénération, congestion réseau) peuvent être intéressantes.**
- **Le DT du réseau a un impact important sur la rentabilité de la solution.**
- **Une autre voie de valorisation : Le couplage PAC + Stockage pourra rendre des services systèmes au réseau.**

Merci de votre attention

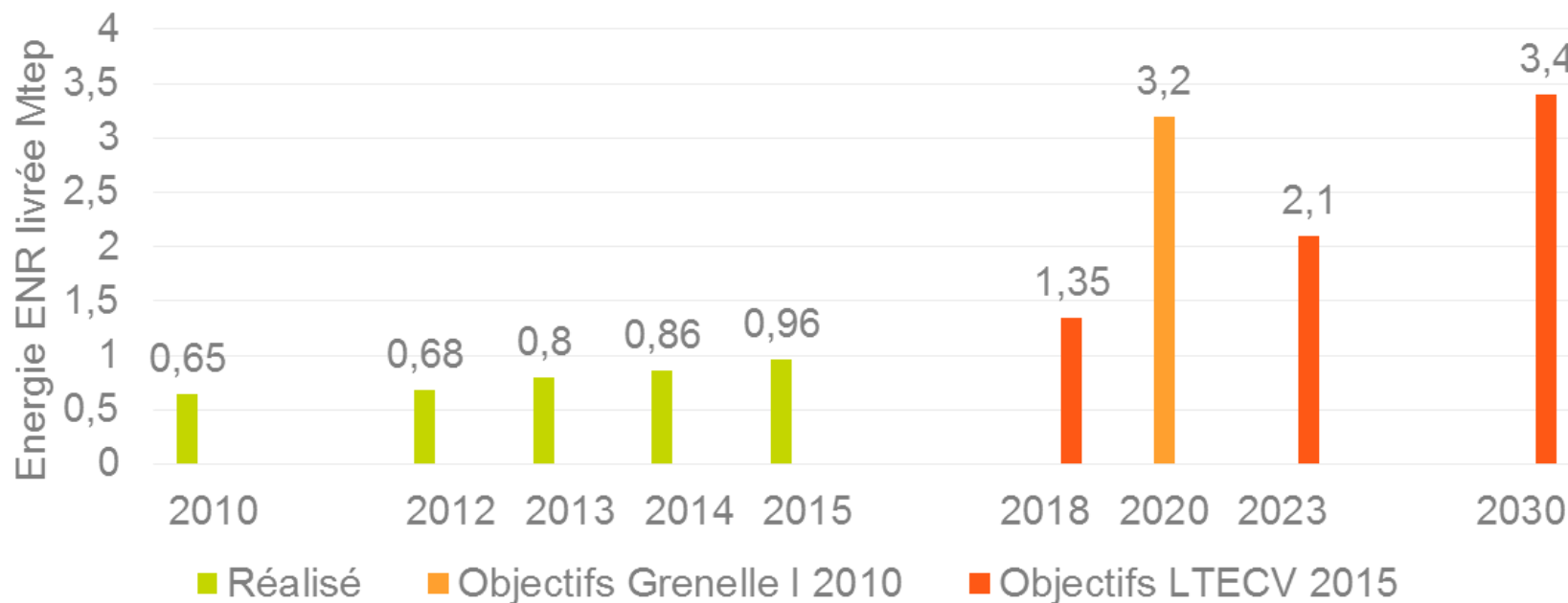
Partenaires de la journée :



Des objectifs ambitieux en terme d'ENR sur les réseaux



Objectifs de développement RDC ENR



Source : [SNCU](#) & [MEEM](#)