

12^{ÈME} COLLOQUE ANNUEL DU CLUB STOCKAGE



Le stockage thermique : état de l'art technologique et scientifique

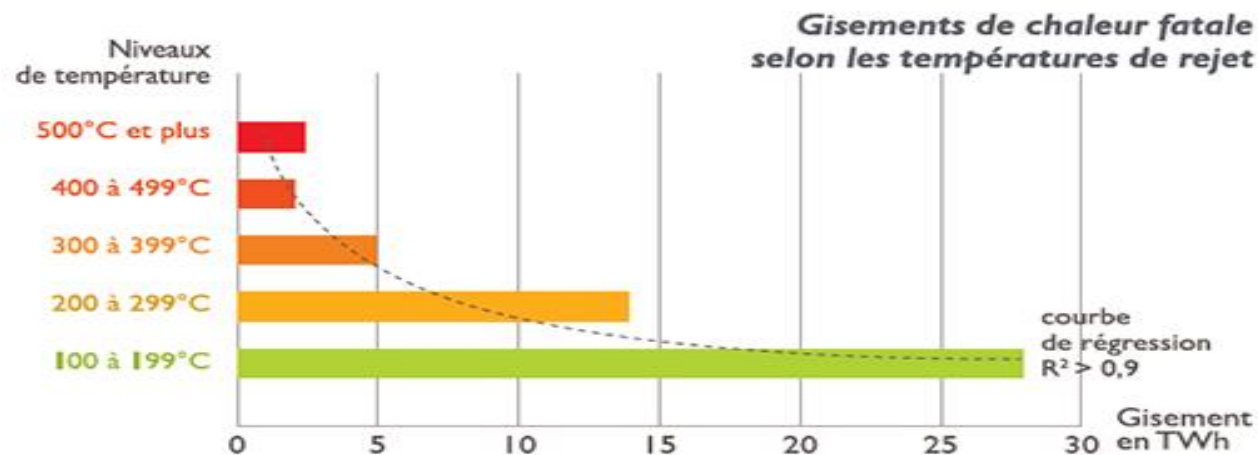
Arnaud Bruch

Jean-François Fourmigué

CONTEXTE : POURQUOI/OÙ LE STOCKAGE THERMIQUE ?

- Le stockage de chaleur permet de flexibiliser l'usage de la chaleur par rapport à sa production :
 - Récupération/valorisation de la chaleur fatale industrielle
 - Production de chaleur par énergie renouvelable intermittente (principalement réseaux)
- Il peut aussi servir pour du stockage massif d'électricité (Power to Heat to Power ou batteries de Carnot)

Gisements de chaleur fatale en France (ADEME 2017)

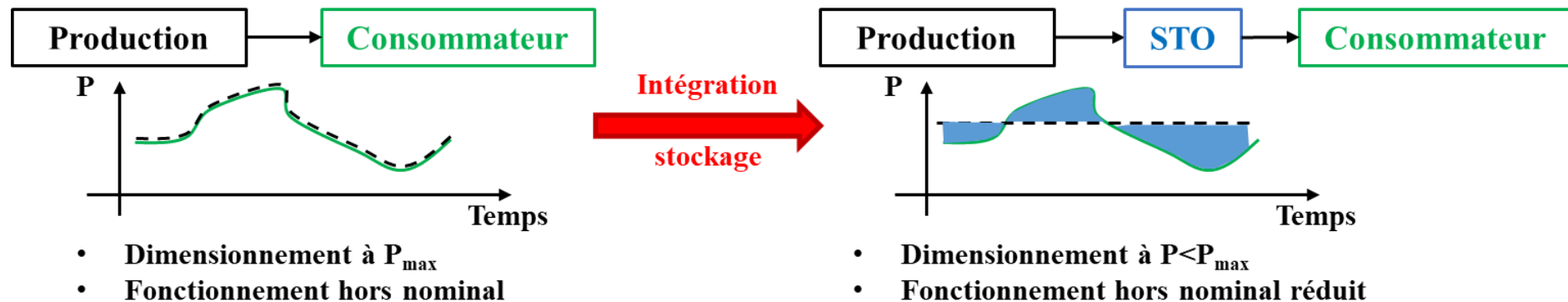


12^{ème} colloque annuel du Club Stockage – 05/10/2023



CONTEXTE : POURQUOI/OÙ LE STOCKAGE THERMIQUE ?

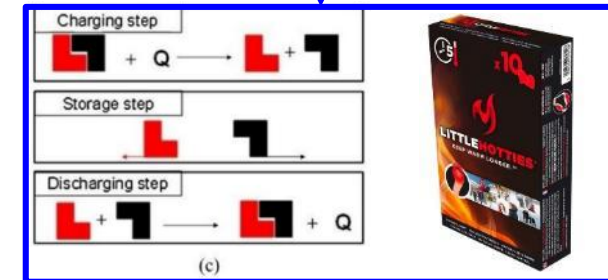
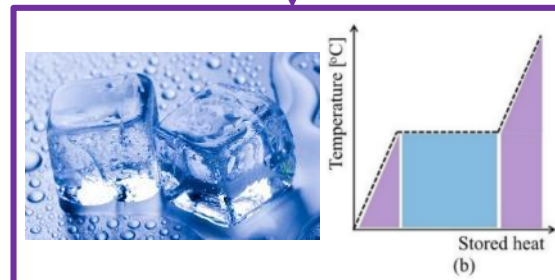
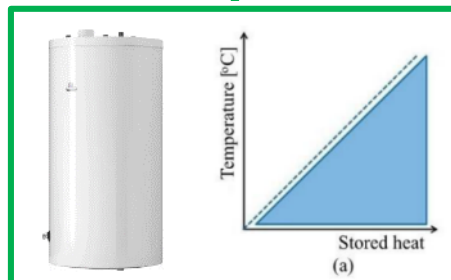
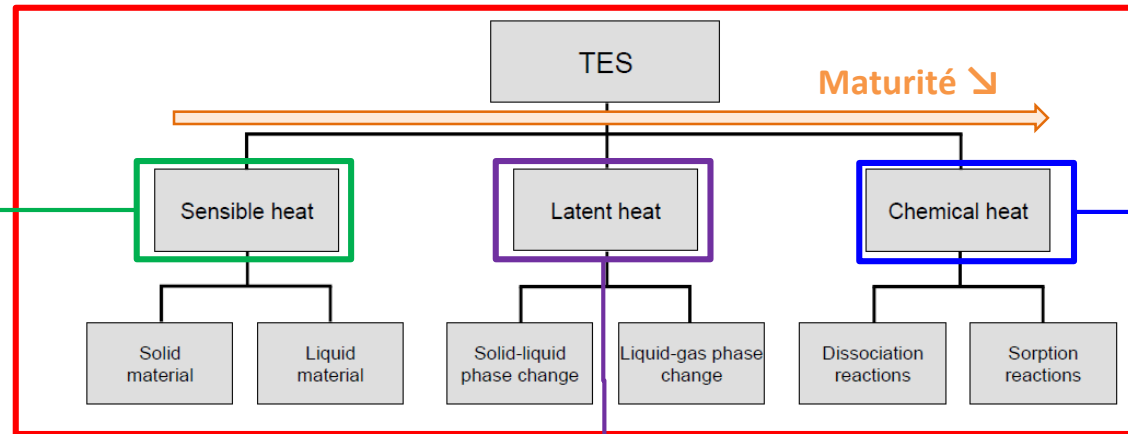
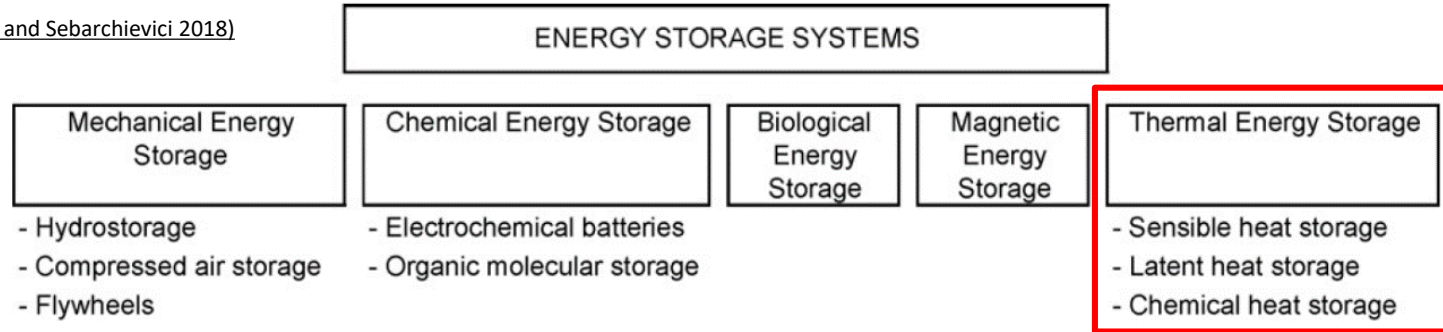
Le stockage de chaleur permet à un moyen de production de fonctionner de manière stable tout en répondant à des variations de consommation



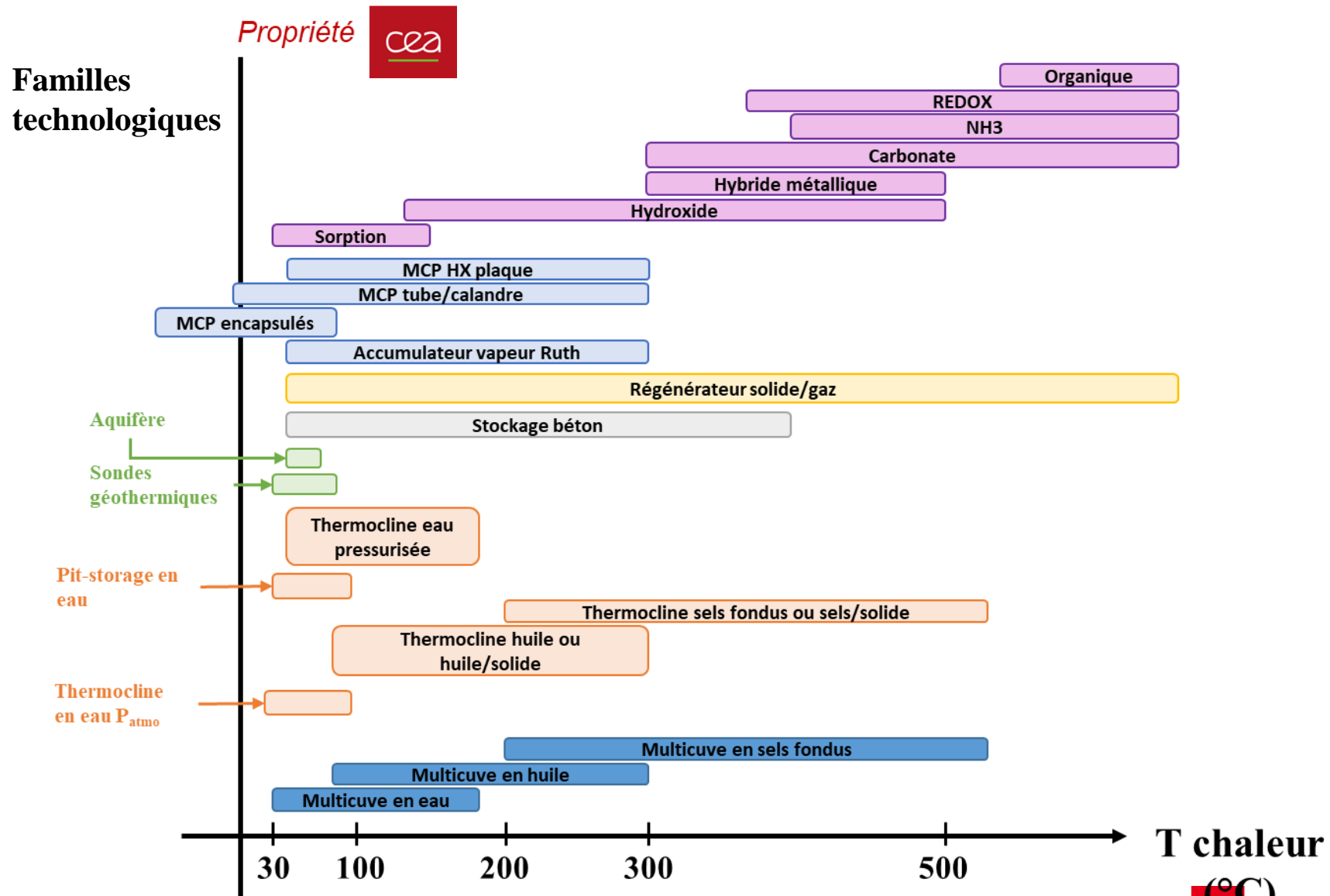
Pour de la récupération de chaleur fatale il permet de gérer des intermittences du process ou de la valorisation

LES DIFFERENTS TYPES DE STOCKAGE THERMIQUE

(Sarbu and Sebarchievici 2018)



PANORAMA DES TECHNOLOGIES DE STOCKAGE THERMIQUE AVEC LA TEMPÉRATURE



STOCKAGE THERMIQUE SENSIBLE LIQUIDE



Source : Steriflow

Système multi-cuve pour stérilisation

- Multi-cuve à T donnée
- Eau < 100°C
- Récupération chaleur procédé, lissage procédé



Source : Gemasolar

Système multi-cuve pour centrale CSP

- Multi-cuve à T donnée
- Sel fondus < 400°C
- Stockage surplus d'énergie



Source : Dalkia

Source : CCIAG

Thermocline eau atmosphérique & pressurisée

- Cuve unique thermocline
- Eau <180°C
- Réseau de chaleur Brest et Grenoble
- Lissage, stabilisation etc...



Source : Sunstore 3 Dronninglund

Thermocline en pit-storage

- Thermocline en config enterrée
- Stockage intersaisonnier réseau urbain
- Eau <90°C



Source : Eggenstein-Leopoldshafen

Thermocline en pit-storage

- Thermocline en config enterrée
- Stockage intersaisonnier réseau urbain
Eggenstein-Leopoldshafen
- Eau/roches <90°C

STOCKAGE THERMIQUE SENSIBLE SOLIDE

Stockage EcoTechCeram

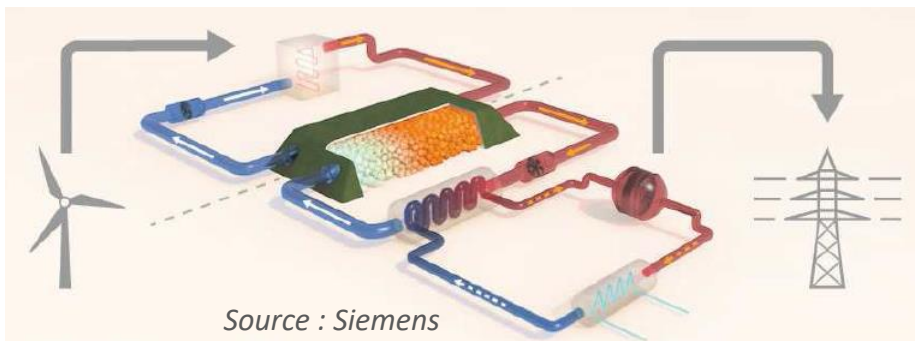
- Régénérateur gaz/solide horizontal; $<500^{\circ}\text{C}$
- Récupération chaleur fatale procédé
- Proto de 750 kW / 2 MWh sur le site de Tegulyys



Source : EcotechCeram

Stockage Siemens-Gamesa

- Régénérateur gaz/roches horizontal; $<750^{\circ}\text{C}$
- Power-to-heat sur base renouvelable
- Proto de 120MWh à Hambourg



Source : Siemens

Stockage Idhelio

- Régénérateur gaz/solide horizontal, $T < 600^{\circ}\text{C}$
- Stockage chaleur solaire d'un CSP Fresnel
- Proto installé chez « Fruit Gourmet »



Source : Idelhio

Stockage ZBG

- Double régénérateur vertical gaz/solide
- $T < 1000^{\circ}\text{C}$
- Récupération de chaleur four de verrerie



Source : ZBGboiler

STOCKAGE DE CHALEUR LATENTE (MCP) : CONCEPTIONS EN FROID ET TRANSPORT

Solution ICEBAT (FAFCO)

- Commercialisée
- -10°C / 50°C
- Tubes PP / calandre
- Implantations très nombreuses



Source : FAFCO



Stockage eau/glace de la Défense (Enertherm)



Solution Hokkaido

- Peu d'info
- <120°C
- **Stockage mobile** de chaleur fatale industrielle

Source : Kaizawa et al. 2008, Hokkaido University

Solution PCM Products

- Commercialisée
- -10°C / 50°C



STOCKAGE DE CHALEUR LATENTE (MCP): DÉMONSTRATEURS CHAUDS DANS L'INDUSTRIE

Centrale de cogénération à Saarland

- 1.5 MWh, 6MW
- Continuité de production de vapeur procédé



(Johnson et al. 2018)

Réseau de chaleur de Nice Meridia

- 1.2 MWh, 800kW
- $T_{\text{fusion}}=60^{\circ}\text{C}$
- Couplé à la centrale de production



Réseau de chaleur de Grenoble



- 180 kWh, 80kW
- $T_{\text{fusion}}=70^{\circ}\text{C}$
- Sous-station

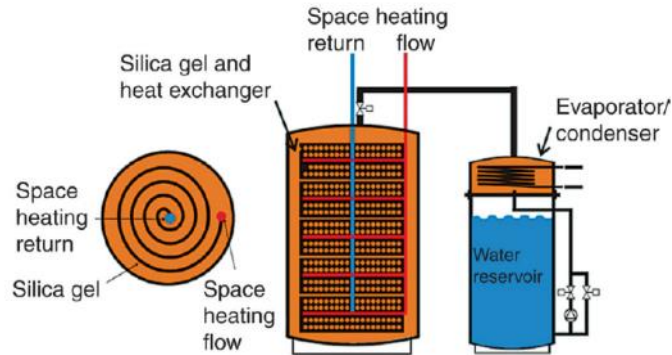
(Bentivoglio et al. 2020)



STOCKAGE THERMOCHIMIQUE POUR LE RÉSIDENTIEL

PROJET MODESTORE

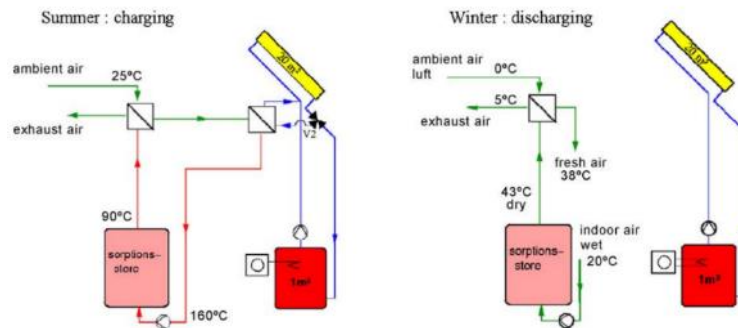
- Adsorption eau/gel silice
- Stockage inter-saisonnier habitat



Source : Project MODESTORE

PROJET MONOSORP

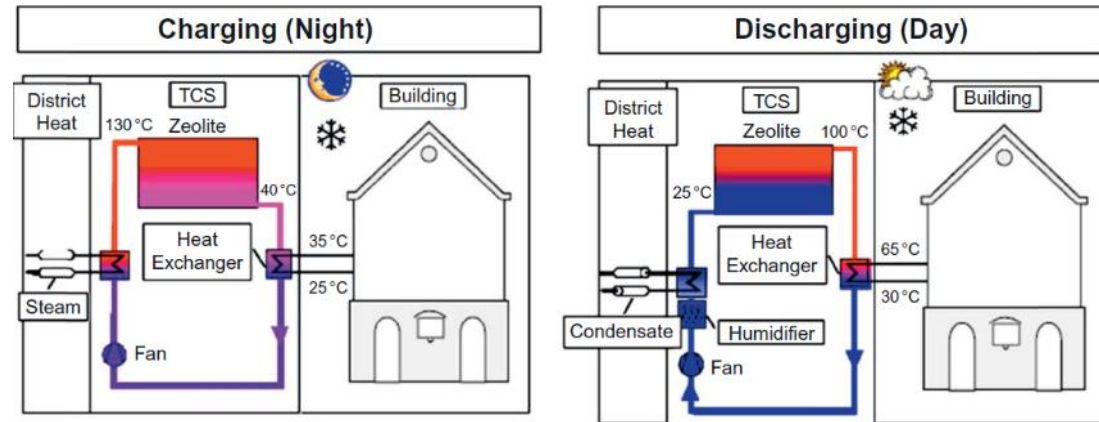
- Adsorption eau/ZÉOLITE 4A
- Stockage inter-saisonnier habitat



Source : Project MONOSORP

ZAE Bayern

- Adsorption eau/zéolite 13X
- 1.3 MWh, buffer jour/nuit DH Munich



Source : ZAE BAYERN

- Des réactions de sorption (ad ou ab)
- Gel de silice ou zéolite majoritaire
- $T < 80-150^{\circ}\text{C}$
- Stockage intersaisonnier
- Buffer thermique

STOCKAGE THERMOCHIMIQUE POUR L'INDUSTRIE

ZAE Bayern

- Accumulateur mobile eau/zéolite 13X
- 13 T de zéolite 13X



Source : ZAE BAYERN

SaltX (démonstrateur)

- Cogénération, power-to-heat
- Proto de 10 MWh
- Centrale Reuter (Berlin)
- (des)hydratation de la chaux



Source : SaltX

CEA (pilote)

- Power-to-heat, chaleur procédé etc...
- Démonstration de 10 kW (350°C)
- (des)hydratation de la chaux
- Fonctionnement en continu



Source : CEA

SYNTHÈSE ET PERSPECTIVES

Beaucoup de technologies de stockage de chaleur à des niveaux de maturité variés (avec beaucoup de recherches en cours) mais l'intégration d'un stockage au sein d'un procédé donné suppose TOUJOURS une analyse spécifique du procédé, de ses contraintes, de son fonctionnement ...

- Contraintes d'occupation, de coût
- Contraintes réglementaires matériaux
- Contraintes de modification du procédé pour l'intégration

Il est avant tout indispensable de réaliser une bonne évaluation de l'utilisation potentielle du stockage : le nombre de cycles par an conditionne la rentabilité

Enerstock 2024 will be organized at Lyon Convention Centre, Lyon, France, 5–7 June 2024
Therefore, Enerstock 2024 will include invited speeches, keynotes, plenary sessions, oral and poster presentations on several topics involving energy storage:

- Thermal energy storage
- Electrical energy storage
- Chemical energy storage
- Power-to-X technologies
- Energy storage in energy systems
- Materials and components
- Technology improvements

<https://enerstock2024.org/>



enerstock