

Les systèmes de stockage de chaleur dans l'industrie jouent un rôle crucial en permettant de réduire les contraintes dues à l'utilisation des sources d'énergies instantanées, et contribuent ainsi à la construction d'un avenir plus durable.

Stocker l'énergie devient nécessaire avec le développement des énergies renouvelables dont la production n'est pas constante. Le stockage de chaleur a notamment pour objectif d'absorber les pics de production pour fournir un approvisionnement constant en énergie (figure 1). Cette forme de stockage présente un avantage incontestable, offrant une efficacité thermodynamique souvent supérieure et une durabilité accrue par rapport aux solutions basées sur des batteries.

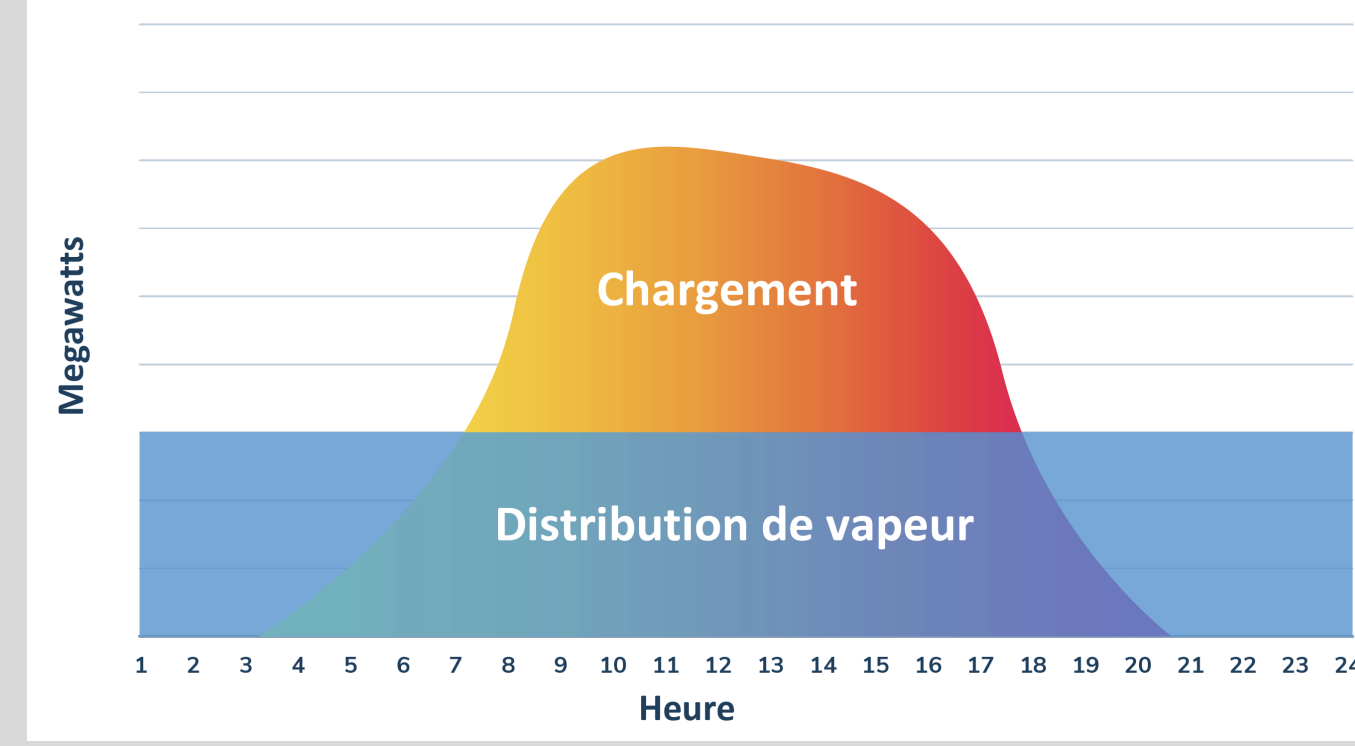


Fig. 1 : Répartition de l'offre pour répondre à la demande

En outre, on observe que 74 % de l'énergie finale consommée dans l'industrie est sous forme thermique (figure 2). On y voit alors l'intérêt de stocker le surplus d'énergie sous forme de chaleur pour simplifier son utilisation ultérieure par les industriels.

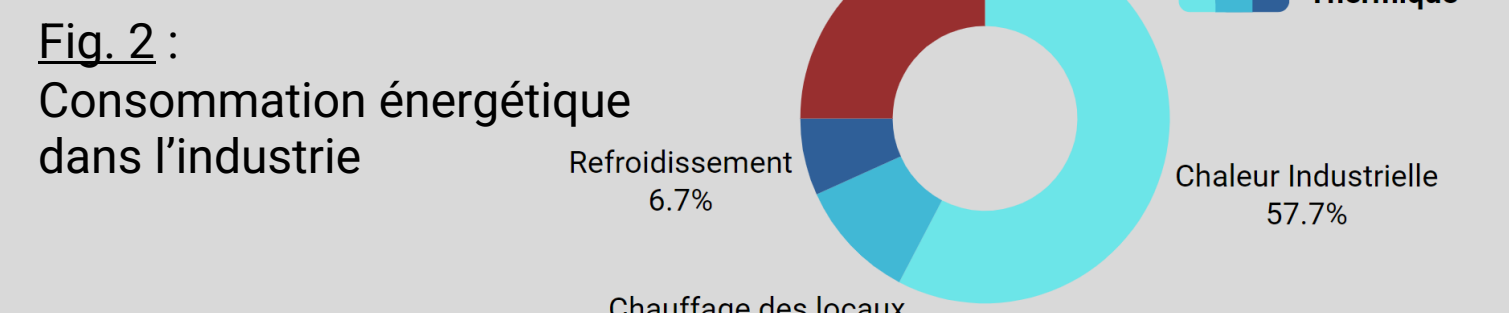


Fig. 2 : Consommation énergétique dans l'industrie

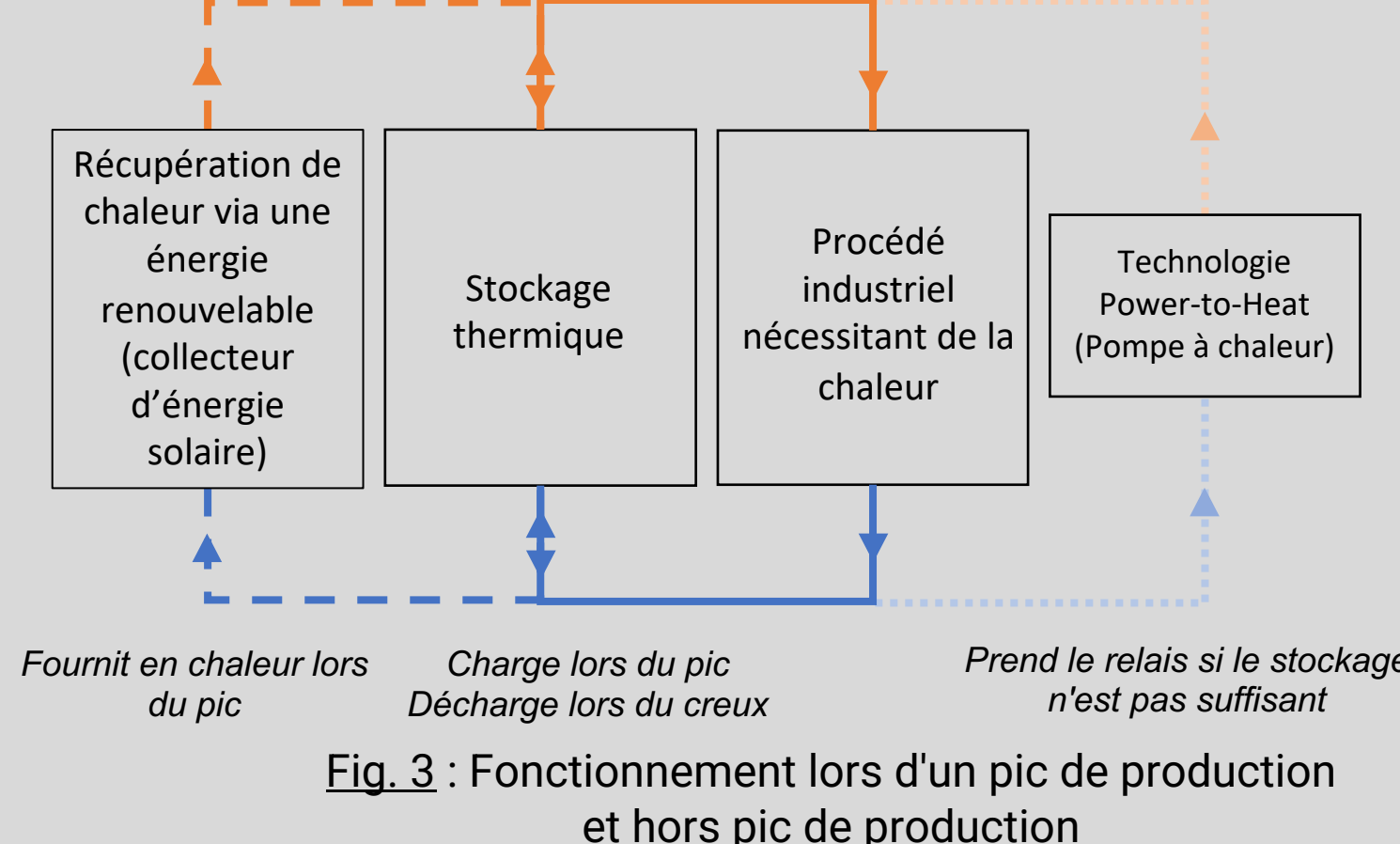


Fig. 3 : Fonctionnement lors d'un pic de production et hors pic de production

SOURCES	TECHNOLOGIES	APPLICATIONS
<p><b>Soleil</b> Source surtout utilisée en-dessous de 150° Collecteurs : centrale solaire ou installation de moindre puissance Fluides caloporteurs (par ordre de températures de fonctionnement) : air, eau, dioxyde de carbone supercritique, huiles thermiques Permet de prolonger la durée de production des centrales solaires pendant la nuit : jusqu'à 16 heures d'autonomie pour la centrale Solar Tres en Espagne.</p> <p><b>Chaudières électriques</b></p> <p><b>Machines de réfrigération</b></p> <p><b>Pompes à chaleur</b></p> <p><b>Chaleur fatale issue de centrales nucléaires</b></p> <p><b>Fours tunnels : (2 MW<sub>th</sub>)</b></p> <p><b>Fours verriers ou torchères (50 MW<sub>th</sub>)</b></p>	<p><b>Stockage d'eau glacée</b></p> <p><b>Stockage de froid par MCP eau-glace</b></p> <p><b>Eau chaude à pression atmosphérique</b></p> <p><b>Eau chaude pressurisée</b></p> <p><b>Géothermie</b></p> <p><b>Stockage en fosse (pit-storage)</b></p> <p><b>Matériaux organiques à Changement de Phase (MCP)</b></p> <p><b>Adsorption d'eau sur zéolithes et gel de silice</b></p> <p><b>Sels fondus</b></p> <p><b>Stockage air - solide</b></p> <p><b>Chaleur sensible</b></p> <p><b>Chaleur latente</b></p> <p><b>Thermo-chimie</b></p>	<p>Applications non industrielles : chaîne et réseaux de froid</p> <p>Séchage de fruits</p> <p>Horticulture</p> <p>Brasseries</p> <p>Fonctionnement (nocturne notamment) de Centrales Solaires Thermodynamiques (CSP)</p> <p>Sidérurgie : préchauffage</p> <p>Stockage électrique (heat-to-power : ORC, turbines à vapeur)</p>

## ETUDES DE CAS

### TANKS D'EAU

Stockage de la chaleur dans de l'eau chaude à pression atmosphérique située dans un réservoir

**Avantages :** volume au choix, prix, technologie mature même si l'importance de la stratification nécessite une étude au cas par cas (vitesses d'écoulement, taille...)

**Inconvénients :** encombrement, l'efficacité dépend du ΔT entre l'aller et le retour, capacité thermique limitée, température restreinte à 100°C.

**Coûts :** 6 €/kWh d'investissement (durée de vie : 30 ans)  
0,06 €/kWh de coûts opératoires

**Rendement :** 95%

**Application :** Brasserie à Göss :  
Tank de 200 m<sup>3</sup> de stockage d'eau chaude relié à des collecteurs d'énergie solaire  
Densité énergétique : 35 kW<sub>th</sub>/m<sup>3</sup>  
Fonctionnement : Le brassage de la bière nécessite une température allant de 58°C à 78°C. Si l'eau stockée est plus froide que la température requise, une centrale biomasse prend le relais.  
40% de l'énergie du procédé vient de l'énergie solaire, 1570 MWh produits par combustion de gaz naturel et 38 kt de CO<sub>2</sub> économisés par an

### LITS DE MATERIAUX EMPILES

Stockage de chaleur dans de la matière solide en grains entre lesquels de l'air circulant joue le rôle de fluide caloporteur. Matériaux employés : galets, béton, métaux, céramiques.

**Avantages :** simplicité de l'installation, faibles coûts, écologique, échangeur thermique inclus (air circulant entre les couches empilées), faible encombrement, stockage à haute température (jusqu'à 1700°C).

**Inconvénients :** temps de charge ou de décharge important dû à une puissance de décharge via l'air assez faible.

**Coûts :** 47,5 €/kWh d'investissement (durée de vie : 20 ans)  
0,5 €/kWh/an de maintenance  
3 fois moins cher que le stockage d'énergie par batteries

**Rendement :** 90%

**Applications :**  
Séchage de fruits solaire (en Turquie) : Le temps de séchage a été augmenté de 6 heures pour 2 m<sup>3</sup> de système de stockage par lits empilés. Ceci représente 56 kWh d'énergie thermique stockée, pour une densité énergétique de 28 kW<sub>th</sub>/m<sup>3</sup>  
Distillation : L'intégration d'un TES à un distillateur solaire à bassin traditionnel a amélioré les performances du distillateur solaire en augmentant son rendement en distillat jusqu'à 80 % tout en améliorant l'efficacité de plus de 70 %.

### APPLICATION FUTURE : L'INDUSTRIE CIMENTIERE

Aujourd'hui, la chaleur fatale est seulement valorisée directement pour le préchauffage, et ne remplace pas la combustion pour le procédé de cuisson.

Possibilités d'amélioration :  
- utiliser les lits de roche empilés pour stocker l'énergie nécessaire à la cuisson  
- ajouter un dispositif de stockage la chaleur fatale pour la valorisation de l'énergie dans le cas peu probable où il y a un arrêt temporaire de la production

**MISE EN PERSPECTIVE** Le potentiel de chaleur fatale valorisable sous forme d'électricité représente 10% de la consommation électrique française. L'étude montre que cette valorisation est particulièrement intéressante, que ce soit d'un point de vue économique ou environnemental : du point de vue environnemental, un gisement thermique d'une puissance de 1MW représente 2000 t de CO<sub>2</sub> non émis par an. Découpler l'offre et la demande permet enfin de gagner en flexibilité pour une utilisation optimale de l'énergie.