

Chaleur en réaction : les promesses du stockage thermochimique

Jean-Baptiste Dupin, Directeur scientifique de Zenon

Le stockage de chaleur est un levier important pour décarboner les systèmes énergétiques. Parmi les trois familles de stockage thermique, sensible, latent et thermochimique (TCES), ce dernier se distingue par des densités énergétiques théoriques de 140 à 560 kWh/m³, contre 15–50 kWh/m³ pour le stockage sensible et 55–110 kWh/m³ pour le stockage latent. Il permet en outre un stockage sans pertes à température ambiante, ouvrant la voie à un stockage saisonnier, mais il reste largement en phase de R&D

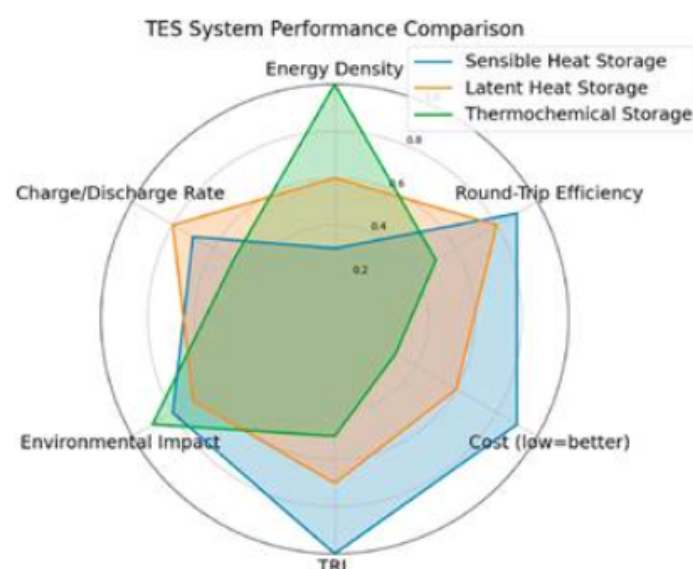


Figure 1 – Comparaison des performances des trois familles stockage thermique (Kwasi-Effah et al., 2025)

Lors de la charge, un apport de chaleur dissocie un matériau en deux produits stockés séparément à température ambiante, sans aucune perte thermique, à l'image d'une éponge que l'on essore et que l'on peut restocker indéfiniment au sec. La décharge est déclenchée par la recombinaison des deux produits, libérant la chaleur sous forme d'une réaction exothermique. On distingue la sorption, où la vapeur d'eau se fixe physiquement sur un solide poreux, des réactions chimiques proprement dites impliquant la transformation de liaisons moléculaires.

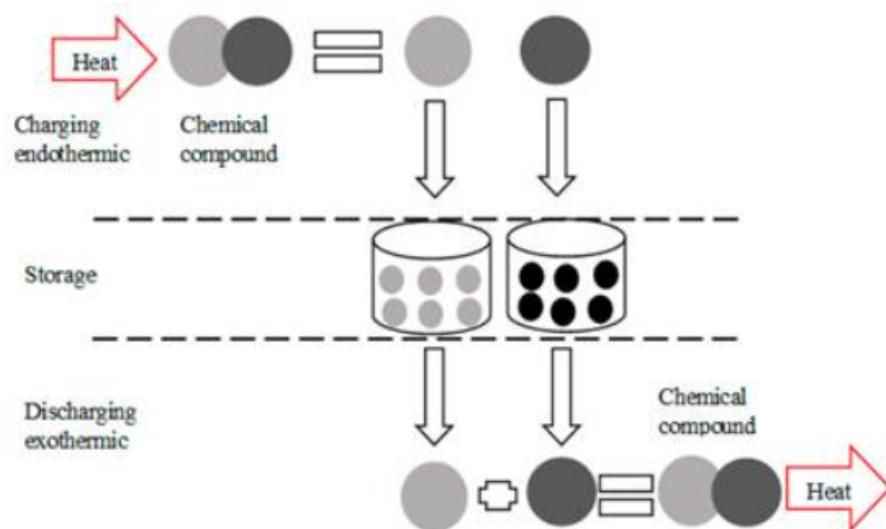


Figure 2 – Principe du TCES (Gbenou et al., 2021)

Les **systèmes à sorption** sont adaptés pour les basses températures (<200 °C) (TRL 5–7). Ils reposent sur un principe simple : certaines sels minéraux absorbent spontanément la vapeur d'eau en dégageant de la chaleur, et peuvent être régénérés en les chauffant modérément. Le sulfate de magnésium, le chlorure de calcium et le carbonate de potassium sont les plus étudiés. Leur rechargement s'effectuerait à des températures accessibles par la chaleur fatale industrielle (80–150 °C), et leur décharge libérerait 42 à 110 kWh/m³. Ces matériaux sont peu coûteux et pourraient théoriquement stocker la chaleur de l'été pour la restituer en hiver. Les zéolithes et les nouveaux matériaux poreux à base de structures organo-métalliques (MOFs) (TRL 3–5), concevables sur mesure, offrent des performances cinétiques supérieures mais à des coûts encore élevés.

Les **hydroxydes et carbonates** permettraient de stocker des températures moyennes (200–650 °C) (TRL 4–5). La déshydratation de l'hydroxyde de calcium en oxyde de calcium vers 450–550 °C peut libérer de l'ordre 130 kWh/m³ de manière entièrement réversible. Le couple carbonate de calcium/oxyde de calcium (~700–900 °C) offre des densités encore plus élevées, mais souffre d'une dégradation par frittage lors de cycles répétés.

Enfin les **oxydes métalliques redox** pourraient stocker de hautes températures (750–1 050 °C) (TRL 3–4). Les couples oxyde de cobalt, oxyde de manganèse et oxyde de cuivre utilisent l'air comme réactif et fluide caloporteur, simplifiant l'intégration aux tours solaires. L'oxyde de cobalt atteint ~220 kWh/m³ théoriques. L'agglomération et la faible conductivité thermique nécessitent des architectures en lit fluidisé ou un dopage aux nanoparticules.

Aucun déploiement commercial n'existe encore, mais les niches d'application se précisent. L'UE a mobilisé plus de 95 M€ via Horizon Europe depuis 2021, et des pilotes de 1–10 MW sont anticipés avant 2028. Le TCES cible en premier lieu la chaleur industrielle haute température pour des secteurs comme le ciment et l'acier. Il représente également une solution pour valoriser la chaleur fatale des datacenters, dont la consommation électrique mondiale devrait doubler d'ici 2030 : le projet européen THUNDER explore précisément le stockage saisonnier thermochimique de la chaleur rejetée par ces infrastructures pour alimenter des réseaux de chaleur urbains. Sa densité énergétique jusqu'à dix fois supérieure au stockage sensible en fait une option structurelle pour la transition, à condition de franchir le cap de la démonstration pilote avant 2030.