

» ENVIRONNEMENT

LE STOCKAGE THERMIQUE VALORISE LA CHALEUR FATALE

Des accumulateurs récupèrent la chaleur et forment une réserve qui diminue la consommation énergétique. Le stockage sensible est arrivé à la maturité commerciale.

Emmagasiner la chaleur perdue par les procédés de fabrication, puis la réinjecter ultérieurement dans le cycle de production : le stockage d'énergie thermique contribue à réduire la facture énergétique et les émissions de CO₂. Il est d'autant plus intéressant quand le procédé émettant la chaleur - la source - et celui la recevant - le puits - sont déphasés. L'industriel se constitue une réserve de chaleur disponible en différé et issue d'une énergie qu'il a déjà payée.

Le gisement est vaste : la chaleur fatale rejetée par l'industrie française représente un total de 109,5 térawattheures (TWh), dont près de la moitié est à plus de 100°C, d'après l'estimation de l'Ademe en 2017. Sa valorisation est un enjeu essentiel pour décarboner la production industrielle. Dans cette optique, l'efficacité énergétique se place en priorité, devant l'utilisation des énergies renouvelables, le recyclage ou encore la captation du carbone. Le stockage thermique peut s'inscrire dans cette démarche.

Voilà une idée ancienne que des fabriques artisanales pratiquaient au siècle dernier et que l'industrie lourde met parfois en place, à l'échelle de la centaine de mégawattheures (MWh). Aujourd'hui, et c'est la nouveauté, une offre commerciale inter-

médiaire et spécialisée se développe, de quelques MWh à quelques dizaines de MWh. En France, la société d'ingénierie Eco-Tech Ceram, fondée en 2014, propose l'Eco-Stock, qui peut accumuler 2 MWh de chaleur à plusieurs centaines de degrés Celsius. Le premier exemplaire commercial a été livré en 2019 chez Tegulys, un fabricant de tuiles implanté en Corrèze. Eco-Tech Ceram prospecte les consommateurs de gaz naturel pour la cuisson à haute température - verre, céramique... - et la filière métallurgique. Sa solution répond aux consommations intermittentes, sinon un échangeur thermique standard fait l'affaire pour récupérer la chaleur en direct et en continu.

Toujours en France, l'entreprise Idhelio commercialise HelioStore, qui peut être couplé à la centrale solaire HelioSmart. L'un et l'autre participent au séchage des fruits chez Fruit Gourmet, dans le Lot-et-Garonne. À l'étranger, l'allemand Kraftblock a équipé un fabricant de céramiques. « La chaleur récupérée sert à préchauffer le four et l'air des brûleurs, détaille Martin Schichtel, le dirigeant de Kraftblock. L'économie d'énergie primaire

avoisine les 17% et les émissions de CO₂ baissent de 330 tonnes par an. » L'américain Alumina Energy et le norvégien EnergyNest proposent aussi des solutions, le second ayant livré sa première batterie thermique à Eni, en octobre 2020. Ces systèmes peuvent servir à stocker et déstocker de l'électricité (power to heat-heat to power). Eco-Tech Ceram travaille sur le sujet avec un fournisseur français de gaz industriel, qui utilise de la chaleur pour produire son électricité.

« La batterie thermique pourrait être l'intermédiaire entre la batterie électrochimique et le barrage hydro-électrique », indique Antoine Meffre, le président d'Eco-Tech Ceram.

Les calories sont emmagasinées grâce au principe de la chaleur sensible : la température du matériau croît à mesure de l'apport de calories, sans changement d'état. Selon l'échelle TRL (Technology readiness level)

17%

D'ÉNERGIE PRIMAIRE
EST ÉCONOMISÉE GRÂCE AU STOCKAGE
THERMIQUE DÉVELOPPÉ PAR L'ENTREPRISE
ALLEMANDE KRAFTBLOCK



Sur le site de Tegulys en Corrèze, les deux accumulateurs Eco-Stock récupèrent la chaleur de cuisson pour alimenter le cycle de séchage des tuiles.

exprimant le degré de maturité d'une technologie, cette technique est la plus avancée, ayant abouti aux offres commerciales susmentionnées. Et pour cause : elle n'est pas très complexe, s'adapte à une gamme de températures de 80°C à plusieurs centaines de degrés Celsius et fait appel à des matériaux de stockage peu onéreux et presque inusables. Idhelio exploite de la roche naturelle, qui peut être excavée à proximité du site, et EnergyNest des cylindres de béton.

Matériaux conventionnels

Auteur d'une thèse sur l'élaboration de matériaux de stockage à partir des déchets d'amiante, Antoine Meffre a opté pour des céramiques achetées auprès de vendeurs de matériaux conventionnels : « La valorisation des déchets, même inertes, pose des difficultés réglementaires et économiques pour ce type de production industrielle. Ces matériaux conventionnels ne représentent que 5 à 10% du coût total de la solution en fin de compte. » De façon générale, la densité énergétique de ces systèmes de

stockage sensible est proportionnelle à la différence de température entre les niveaux de charge et de décharge. Elle atteint 213 kWh/m³ pour l'Eco-Stock. Kraftblock annonce une densité de 1,2 MWh/m³, grâce au laitier d'acier.

Bien qu'il puisse s'effectuer par rayonnement, le transfert de chaleur est majoritairement réalisé par convection. Son efficacité dépend du type de fluide caloporteur (le plus souvent de l'air) et de sa vitesse de circulation. Elle augmente avec la surface du matériau de stockage et avec la différence de température entre le fluide caloporteur et la surface de ce matériau. Il est tentant d'augmenter la surface des matériaux, mais les pertes de charge s'intensifient. De même pour la température du fluide : si les matériaux de stockage peuvent tolérer des températures de plus de 1.000°C, la déperdition thermique à haute



NICOLAS DUCROT
DIRIGEANT
DE TEGULYS

« Une consommation de gaz réduite de 25% »

« Depuis 2000, Tegulys fabrique des tuiles pour le bâtiment. Sensibilisé au stockage thermique par mon grand-père céramiste, j'avais la volonté d'engager des travaux similaires pour réaliser des économies d'énergie et raccourcir le temps de séchage. La prise de contact avec Eco-Tech Ceram s'est faite par l'intermédiaire de la chambre de commerce et d'industrie de la Corrèze. Opérationnels depuis l'été 2019, les deux accumulateurs Eco-Stock, d'une capacité totale de 2 MWh, emmagasinent la chaleur fatale dégagée par la cheminée du four et montent à 500°C. Les calories sont ensuite transférées au séchoir, où la température est régulée à 95°C. Les deux piles Eco-Stock se chargeant et se déchargeant automatiquement à tour de rôle, nous disposons toujours d'un important gisement de chaleur. L'opération de séchage gagne en finesse et en régularité. Dans les conditions optimales, nous économisons 25% de gaz pour la cuisson et le séchage, ce qui équivaut à 100 tonnes de CO₂ par an. L'installation sera amortie en 2024. »

température devient telle que le coût de l'isolant est excessif.

Le stockage latent et le stockage thermochimique sont les deux autres techniques envisageables. Elles donnent lieu essentiellement à des prototypes, pour le moment. Le premier implique un matériau à changement de phase, de la paraffine par exemple. La chaleur est absorbée quand le matériau passe de l'état solide à l'état liquide, puis restituée dans le sens inverse. La densité énergétique est assez élevée (137 kWh/m³ pour l'érythritol) mais le matériau est cher. Les offres commerciales existantes de Fafco et Thermofin (Cristopia) sont dédiées au stockage et aux réseaux de froid. Le stockage thermochimique, quant à lui, est fondé sur une réaction chimique endothermique dans un sens et exothermique dans l'autre. S'il est complexe à mettre en œuvre, il bénéficie d'une bonne densité énergétique (150 kWh/m³ et plus) et la durée de stockage, en l'absence de déperdition, peut être illimitée. Le suédois SaltX emploie de la chaux vive, réagissant avec l'eau, et a raccordé un démonstrateur au réseau de chaleur de Berlin.

Appel au tiers investissement

En France, le semiremorque de Water Horizon, contenant une solution saline, récupérera la chaleur fatale entre 100 et 200 °C chez les industriels pour la stocker sous forme thermochimique et la redistribuer à 50 kilomètres à la ronde. « Contrairement à la chaleur à 600-800 °C, la chaleur à 100-200 °C n'est pas chère à produire, donc l'intérêt économique de la réutiliser sur place est moindre, justifie Jean-Emmanuel Faure, le président de Water Horizon, créée en 2017. Notre système produit du chaud, du froid ou les deux, à une température comprise entre -10 et 80 °C et avec une régulation précise. » Water Horizon vise d'abord le marché du froid, trois fois plus coûteux que le chaud : entrepôts frigorifiques, tertiaire, datacenters... Un pilote de 10 kW a été déployé à Toulouse, en partenariat avec Dalkia, et une offre commerciale de 1 MW est prévue pour fin 2022.

Cependant, quand il s'agit de convaincre les clients de souscrire à un tel projet, l'aspect technique s'éclipse devant l'aspect économique. Le budget s'élève à plusieurs centaines de milliers d'euros, incluant le ou les accumulateurs, le raccordement au process (conduites, vannes, automatismes...) et l'ingénierie. Certains facteurs sont incitatifs, comme la taxe carbone en hausse régulière - plus de 50 euros aujourd'hui - et les diverses subventions accordées par les Régions et l'Ademe notamment. Mais le faible prix du gaz naturel, de l'ordre de 30 euros le MWh, signifie qu'un accumulateur de 2 MWh ne stocke que 60 euros d'énergie. « Compte tenu de ce prix et des objectifs de rentabilité, nous cherchons à valoriser au moins 1,5 GWh/an par Eco-Stock », commente Antoine Meffre. C'est l'équivalent de deux cycles de charge et décharge toutes les vingt-quatre heures. L'amortissement sera donc supérieur à trois ans, à moins que le prix du gaz ne s'envole.

Pour motiver les industriels, Eco-Tech Ceram - de même que ses concurrents - met sur la table le tiers investissement, s'ajoutant aux modèles commerciaux classiques de la vente « sèche » et du crédit-bail. L'entreprise et les investisseurs fondent une société intermédiaire qui signe un contrat de service énergétique avec le client industriel. Un pur modèle Opex (dépenses d'exploitation) : l'industriel n'investit aucuns fonds au début et s'engage sur un volume de chaleur et sur une durée de huit à quinze ans. Les fournisseurs de stockage thermique ne peuvent pas faire l'impasse sur ce modèle de vente, selon Antoine Meffre : « Sans cela, on est morts. » >>> **FRÉDÉRIC MONFLIER**

TROIS BATTERIES THERMIQUES À BASE DE STOCKAGE SENSIBLE

LES SCORIES D'ACIER DU T10 DE KRAFTBLOCK



D.R.

Long de trois mètres, le T10 de Kraftblock contient des scories d'acier agglomérées par un liant spécifique. La capacité est modulable, chaque unité pouvant accumuler 30 à 60 MWh de chaleur. La densité est élevée (1,2 MWh/m³) de même que la température maximale (1 300 °C). Le fluide caloporteur peut être de l'air, de l'huile ou le gaz de combustion. Kraftblock peut aussi stocker de l'électricité sous forme thermique.

LE LIT DE ROCHE DE L'HELIOSTORE D'IDHELIO



D.R.

L'HelioStore utilise un lit de roche granulaire, cette roche pouvant être extraite des carrières avoisinantes, et de l'air en guise

de fluide caloporteur. La gamme de températures s'étend de 150 à 600 °C et la capacité de stockage atteint 200 kWh/m³ en fonction du type de roche et du niveau de température. Plusieurs volumes sont proposés, de 10 à 1 000 m³. L'HelioStore peut fonctionner avec ou sans la centrale solaire HelioSmart.

LA CÉRAMIQUE DE L'ECO-STOCK D'ECO-TECH CERAM

Cet accumulateur est rempli de 20 tonnes de petites sphères de céramiques réfractaires conventionnelles. Il stocke jusqu'à 2 MWh de

chaleur à 600 °C, mais la température maximale peut grimper jusqu'à 1 200 °C si besoin. Eco-Stock permet aussi de convertir de l'électricité fatale en chaleur et peut fournir ces calories décarbonées plus tard dans la journée.



D.R.