

## Tour d'horizon des solutions d'économies d'énergie et de décarbonation pour l'industrie

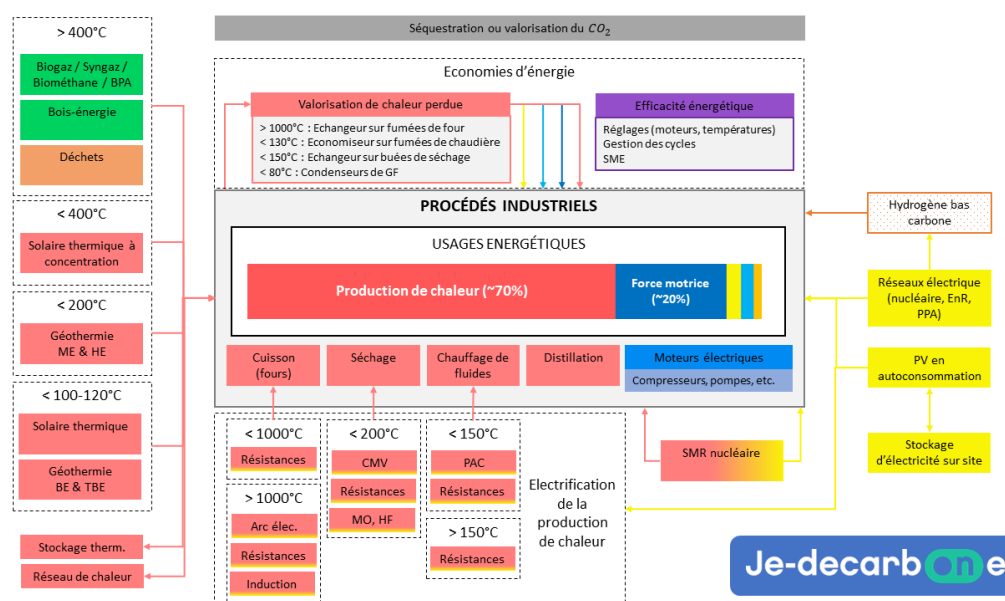
En France, 70% de la consommation d'énergie dans l'industrie est dédiée à la production de chaleur. Les 30% restants servent à comprimer, former, mettre en mouvement des pièces mécaniques à l'aide de moteurs électriques (~20%), à produire du froid (<5%), à éclairer les bâtiments (<5%) ou à des procédés électriques bien spécifiques comme l'électrolyse (<5%). Dans le prolongement des leviers de sobriété (matérielle et énergétique) et d'efficacité énergétique, **la décarbonation des scopes 1 et 2 de l'industrie française repose dès lors sur deux piliers principaux : la décarbonation de la production de la chaleur et la production massive d'électrons décarbonés et compétitifs.** Le schéma présenté dans cet article synthétise les principaux leviers technologiques à disposition des industriels pour réaliser des économies d'énergie et décarboner leurs procédés industriels.

### 19% des émissions nationales de CO<sub>2</sub>

En 2021, l'industrie française a consommé un total de ~470 TWh d'énergie dont ~315 TWh à usage énergétique et ~155 TWh sous forme de matière première (principalement des produits pétroliers pour la pétrochimie). La totalité représente plus de 25% de la consommation énergétique française et pèse pour 19% des émissions nationales de CO<sub>2</sub><sup>1</sup>.

En particulier, environ ~230 TWh de l'énergie sollicitée - soit plus de 70% des usages énergétiques - est dédiée à la production de chaleur, dont ~1/3 pour des basses températures (<100°C), ~1/3 pour des niveaux de températures compris entre 100°C et 400°C et ~1/3 dépassant les 400°C. Quelques procédés font appel à de la chaleur à plus de 1000°C, par exemple dans la sidérurgie ou la construction (production de clinker, fabrication de briques en terre cuite).

### Une large gamme de solutions techniques



Synthèse des leviers technologiques de décarbonation pour l'industrie

<sup>1</sup> Secrétariat Général à la Planification Ecologique, La planification écologique dans l'énergie, Juin 2023

Partant de ce constat, une manière alternative de présenter les différentes solutions d'économie d'énergie et de décarbonation est donc de partir des usages, en particulier des usages thermiques que l'on peut classer en 4 grandes familles : la cuisson (augmenter la température d'un produit dans une enceinte fermée), le séchage (réduire la concentration en eau d'un produit par évaporation), le chauffage de fluides (eau liquide, vapeur, huile – pour utilisation en vecteur de chaleur) et la distillation (séparation des composants d'un mélange liquide par évaporation). En y incluant les moteurs électriques, ces 5 grands procédés (encadré gris dans le schéma) sollicitent plus de 90% de la consommation d'énergie de l'industrie.

La partie supérieure du schéma représente les familles de solutions d'économie d'énergie (gestion des cycles, pilotage numérique, réglages des machines – températures, moteurs) et de valorisation de chaleur fatale dont on chiffre le gisement annuel en France à 90-100 TWh. La chaleur récupérée, principalement par le biais d'échangeurs sur fumées de four, d'économiseurs sur fumées de chaudières, d'échangeurs sur buées de séchage ou de condenseurs sur groupes froids, peut être valorisée telle quelle après un éventuel rehaussement du niveau de température (Pompes à chaleur, CMV, éjecto-compresseur) ou transformée en énergie mécanique, électricité et/ou froid.

Exemples anonymisés d'intégrations de technologies de décarbonation sur des sites industriels :

- Dans un atelier mécanique, l'installation d'un variateur de vitesse sur un moteur électrique a permis d'économiser 20% de la consommation d'énergie.
- Dans une petite fonderie, la baisse de température de mise en repli des fours a permis d'économiser plus de 120 MWh d'énergie sur un an.
- Dans une brasserie, la valorisation de chaleur fatale sur les groupes froids a permis de réduire de 25% la consommation d'énergie du site.
- Sur un site d'agroalimentaire, l'installation d'un système de récupération de chaleur fatale a permis d'économiser 2 GWh d'énergie en un an.
- Sur un autre site agroalimentaire, l'adoption d'une chaudière biomasse a permis d'effacer 85% de la consommation de gaz pour la production de vapeur.

La partie gauche du schéma regroupe les leviers de production de chaleur renouvelable et bas carbone, par gamme de température<sup>2</sup>, hors électrification. On retrouve les systèmes solaires thermiques (capteurs plans ou à concentration) et la géothermie, ainsi que les combustibles qui permettent de dépasser les 400°C (CSR - combustibles solides de récupération, bois, biogaz et gaz bas carbone produits sur site ou acheminés par le réseau). Il existe également une offre complète de solutions d'électrification de la production de chaleur, présentée sur la partie inférieure du schéma, pour toutes gammes de températures : chauffage par induction, résistances, PAC, etc. On notera l'importance de briques unitaires comme les solutions de stockage thermique ou les pompes à chaleur pour l'intégration des systèmes EnR thermiques dans l'industrie ainsi que le rôle des réseaux de distribution de chaleur.

On retrouve sur la partie droite du schéma les sources d'approvisionnement électrique bas carbone, depuis les réseaux électriques ou en local (autoconsommation, contrats d'achat). Trois briques unitaires se distinguent enfin des solutions chaleur / électricité :

- L'hydrogène bas carbone, que la France envisage de produire majoritairement par électrolyse de l'eau et qui devrait servir essentiellement en tant que matière première.
- Les SMR (Small Modular Reactor) nucléaires, pour une production de chaleur (jusqu'à 80-100 MW) et d'électricité (jusqu'à 30-40 MW) sur site.
- La capture et la valorisation du  $CO_2$ , qui devraient être réservées aux émissions « fatales » ne pouvant être évitées autrement, par exemple issues de réactions chimiques.

<sup>2</sup> Bien qu'utile et lié aux propriétés physiques des ressources énergétiques, le niveau de température n'est pas le seul critère technique à prendre en compte pour évaluer la pertinence d'une solution thermique, qui se mesure également à la puissance, à l'emprise au sol, à l'approvisionnement énergétique du site, à la géométrie du site et des fours, etc.)