

Procédé innovant TURBOSOL de conversion de chaleur fatale en électricité proposé par la société HEVATECH

La valorisation de la chaleur fatale est une opération d'efficacité énergétique proposée de nos jours presque systématiquement dans le cadre d'un diagnostic ou d'un projet énergétique, dès lors que la possibilité se présente. Le Fonds chaleur, dispositif de soutien financier depuis 2008, a permis un déploiement national de différentes techniques de récupération et valorisation de la chaleur contenue dans les effluents issus d'une combustion. Ces techniques sont pour la plupart matures.

Aujourd'hui, le département Maîtrise de l'Energie de l'ATEE vous propose un coup de projecteur sur une innovation technologique, encore en cours de développement et de premières réalisations, proposée par HEVATECH, jeune société drômoise spécialisée dans la valorisation de la chaleur fatale. Cette innovation technologique pourrait bien trouver sa place dans de nombreuses industries en recherche d'amélioration de leur performance énergétique et soucieuses de leur impact environnemental.

HEVATECH est une société spécialisée dans les procédés et technologies de valorisation de la chaleur perdue, elle propose notamment la conversion de cette chaleur en électricité (**voir encadré**). Comme le rappelle Patrick BOUCHARD, Président de la jeune pousse : « dès sa création en 2011 la raison d'être de la société était de concevoir un équipement qui puisse valoriser la chaleur perdue des installations industrielles, et dont les coûts d'investissement et de fonctionnement soient suffisamment réduits pour rendre favorable le développement et l'appropriation de la technologie auprès des industriels ». Le procédé TURBOSOL est donc à la fois un dispositif innovant et reposant sur des technologies réputées pour leur robustesse mécanique, simples et de maintenance facile.

Le potentiel de valorisation de la chaleur fatale

Le potentiel de valorisation de la chaleur fatale représente, à l'échelle nationale, 109,5 TWh, soit 36 % de la consommation de combustibles de l'industrie, dont 52,9 TWh rejetés à plus de 100°C (source ADEME 2017). La technologie TURBOSOL se positionne sur une partie de ce gisement de récupération de la chaleur fatale, restreint par le besoin d'une température des fumées supérieure à 300°C, et une gamme de puissance électrique nette comprise entre quelques dizaines de kWélec et quelques centaines de kWélec (développements en cours pour atteindre 1 MWélec). Dans ces conditions, le procédé développé vise trois grands marchés :

- Industrie de transformation (sidérurgie, verrerie, cimenterie, céramique...);
- Incinérateur de déchets et combustion de biomasse (incinération des boues de STEP, déchets ménagers, industriels, biomasse...);
- Moteur à combustion interne (groupe électrogène, moteur embarqué > 5 MWth).

Les deux premiers marchés sont bien connus des porteurs de projet en charge de valoriser la chaleur fatale, ils constituent les marchés principaux où les dispositifs de récupération de chaleur sont relativement plus simples à implanter.

Le troisième marché des groupes électrogènes est quant à lui un peu plus complexe en terme d'intégration et d'automatisation des technologies de récupération de chaleur, puisqu'à l'inverse des

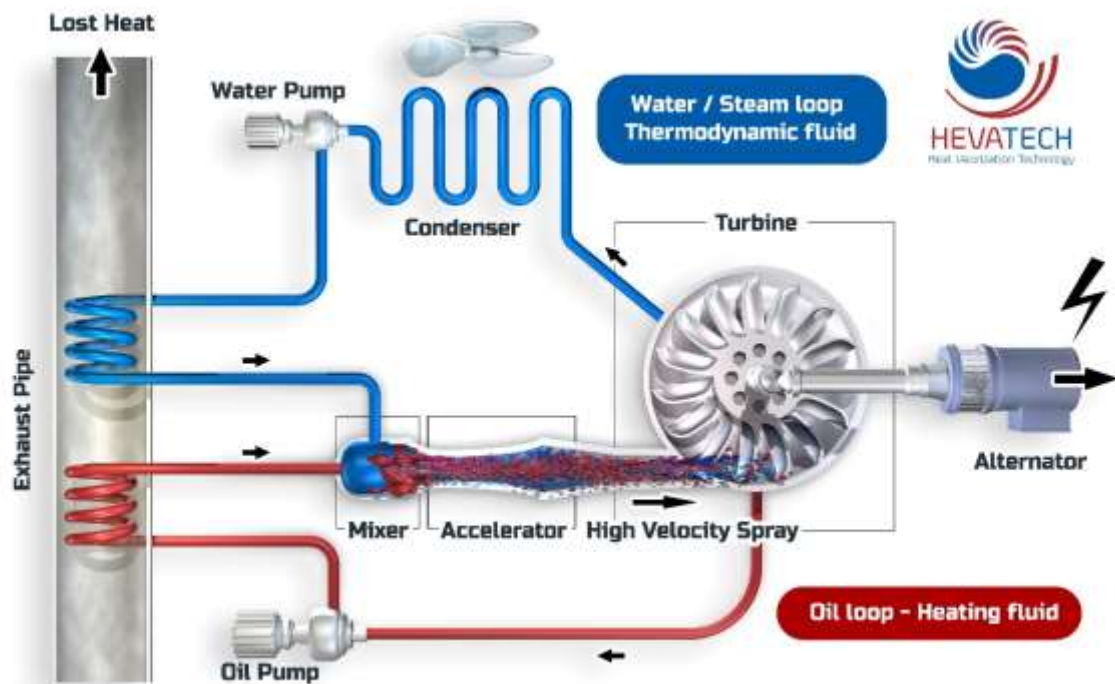
deux premiers marchés, il n'y a pas toujours de présence humaine permanente ni d'opérateur sur les sites concernés.

Principe de la technologie

Le procédé TURBOSOL est basé sur une double conversion, de l'énergie thermique en énergie cinétique puis de l'énergie cinétique en énergie mécanique.

Sa mise en œuvre repose sur 3 techniques :

- 1) **Une captation de la chaleur fatale par 2 fluides** : une huile végétale comme fluide caloporteur et de la vapeur d'eau comme fluide thermodynamique ;
- 2) **Une accélération du mélange diphasique des 2 fluides par détente quasi-isotherme** dans un dispositif spécifique ;
- 3) **Une conversion de l'énergie cinétique en électricité par une turbine à action** de type Pelton fonctionnant à basse vitesse.



Synoptique du procédé TURBOSOL avec les principaux équipements le constituant et les deux boucles des fluides caloporteurs, huile végétale (en rouge) et vapeur d'eau (en bleu)

1-) Captation de la chaleur

La technologie requiert deux échangeurs dans le circuit des fumées, l'un pour l'élévation en température de l'huile, et l'autre pour la génération de la vapeur d'eau. L'échangeur huile/fumées est l'échangeur positionné en amont dans le circuit des fumées (hautes températures), l'échangeur eau/fumées est positionné en aval (fumées refroidies).

Les échangeurs de récupération de la chaleur fatale sont un point de vigilance.

Il y a un compromis économique à trouver entre le coût d'achat et la résistance dans le temps pour rendre la technologie acceptable économiquement. En effet, les deux échangeurs constituent un poste de coût important dans la solution proposée, leurs technologies dépendent notamment des installations industrielles, de la température maximale des fumées (environ 600°C), de l'encrassement des surfaces d'échange (poussières), de l'ambiance corrosive, des contraintes mécaniques, etc... Les échangeurs de récupération de la chaleur fatale peuvent être by-passés pour des raisons de maintenance de l'installation et de sécurité.

Le procédé TURBOSOL fonctionne avec des fluides 100% naturels, ce qui est une des caractéristiques de la technologie. La nature de l'huile, qui est un mélange de différentes huiles, est tenue secrète. Les fluides circulent en boucle fermée et l'on prévoit de vidanger les circuits tous les six mois. On ne dépasse pas la température de 300°C côté huile afin de ne pas dégrader les caractéristiques physiques.

2)- Accélération diphasique

L'huile et la vapeur d'eau circulent vers une rampe d'injecteurs où l'énergie interne des fluides (pression et température) est transformée en énergie cinétique par la détente quasi isotherme de la vapeur jusqu'à la pression atmosphérique de la capacité. Cette détente entraîne en vitesse les gouttelettes d'huile.

A la sortie des injecteurs, l'énergie cinétique du jet diphasique est portée par la masse et la vitesse des gouttelettes d'huile.

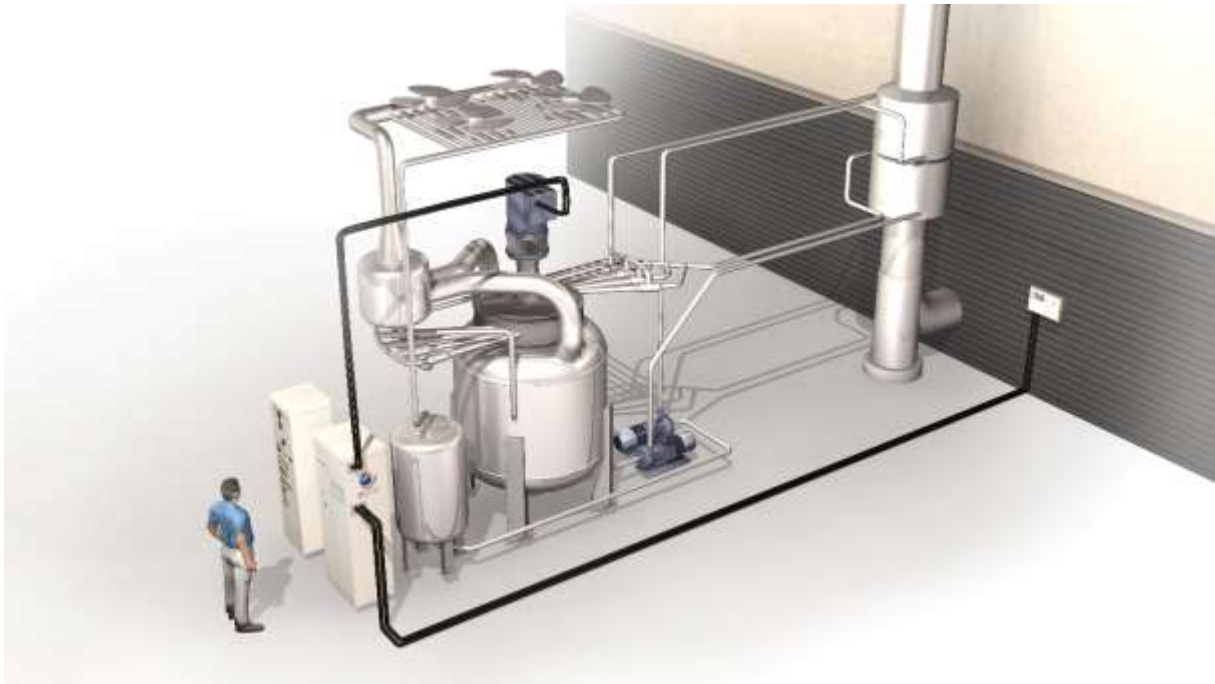
C'est le nombre d'injecteurs qui va déterminer la puissance de la turbine. Un injecteur est conçu pour fournir une puissance électrique unitaire de l'ordre de 25 kW_{élec.} Il y a autant d'injecteurs que nécessaire autour de la turbine pour atteindre la puissance cible pouvant atteindre 1 MW_{élec.} Ces injecteurs dont la conception est tenue confidentielle ont fait l'objet de nombreux travaux théoriques, de modélisations et d'essais ; ils sont dimensionnés par HEVATECH.

3)- Conversion de l'énergie cinétique en électricité

Le mélange diphasique (vapeur d'eau et gouttelettes d'huile) est dirigé sous forme de jet vers les aubes de la turbine. Il impacte les aubes à la vitesse de 200 m/s. La turbine qui est à action hydraulique est apparentée aux turbines des types Pelton et Laval. L'énergie cinétique du mélange met en rotation la turbine à une vitesse de 1 500 t/min. La vitesse de rotation, faible comparée aux turbines à gaz, est un gage d'une plus grande robustesse mécanique et d'une maintenance prévisible moindre par rapport aux vitesses plus élevées. Puis classiquement, la rotation de la turbine actionne un alternateur qui transforme l'énergie mécanique en énergie électrique.

Le dessin des aubages, qui est propre à HEVATECH, contribue à la bonne séparation de l'huile et de l'eau en aval de la turbine. La séparation du mélange diphasique se fait ensuite suivant trois actions : i) grâce à la turbine elle-même, ii) à un effet cyclonique, iii) et la décantation dans la capacité.

La capacité de séparation correspond à une simple cuve à pression atmosphérique où l'huile et la vapeur sont collectées. C'est un équipement essentiel pour la récupération des fluides caloporteurs. Une bonne séparation par effet gravitaire des fluides gazeux et liquide nécessite une ample surface libre d'échange, et donc un volume important est requis. Pour une machine d'une puissance électrique comprise entre 100 et 200 kWe, l'encombrement au sol est équivalent à un container de 20 pieds (environ 6m x 2,4m).



Vue du procédé TURBOSOL, avec la capacité de séparation des fluides (au centre) et la turbine au-dessus

Néanmoins, bien que la turbine et le séparateur travaillent à la pression atmosphérique et présentent une contrainte d'encombrement, c'est aussi un avantage d'un point de vue des coûts de fabrication. Les équipements ne fonctionnent pas sous pression, leur conception est donc moins exigeante tant d'un point de vue de la construction mécanique que des contrôles réglementaires, il en va de même pour les dispositifs d'étanchéité.

Il y a un autre avantage. Le condenseur de la vapeur d'eau fonctionne à la pression atmosphérique, ce qui induit une source froide à une température aux alentours de 80°C, et donc une gamme de température propice à une cogénération grâce à une valorisation thermique vers un réseau d'eau chaude sanitaire ou de chauffage, voire une production de froid. Cette source froide à température relativement élevée permet également une installation dans des zones où une source froide naturelle ne serait pas disponible.

Robustesse et autoconsommation de l'électricité

Le dispositif TURBOSOL s'affiche ouvertement *low-tech et low-cost*, robuste et simple, fonctionnant à la pression atmosphérique et basse vitesse de rotation, respectueux de l'environnement avec des fluides comme l'huile végétale et l'eau. Côté administratif, l'installation qui ne présente pas de graves dangers ou nuisances est une installation classée protection de l'environnement (ICPE) soumise à une simple déclaration en ligne ; elle n'est pas soumise à autorisation (quantité d'huile végétale). C'est un dispositif qui offre la possibilité de faire de la cogénération, production d'électricité et de chaleur à un niveau de température plus bas, à partir de la chaleur fatale.

Le dispositif est prévu pour fournir une électricité qui sera autoconsommée sur le site industriel. L'injection de l'électricité sur le réseau public n'est pas visée. « Une injection sur le réseau électrique, basée sur une vente de l'électricité à des tarifs incitatifs de type solaire ou éolien, n'est pas notre priorité. D'abord parce que ces tarifs incitatifs n'existent pas aujourd'hui et surtout parce que nous privilégions l'autoconsommation qui permet l'approche directe de l'industriel consommateur auquel

nous apportons une réduction de sa facture énergétique et de son empreinte carbone » rappelle P. Bouchard. « De plus les systèmes d'achat/vente de l'électricité sur le réseau sont variables au cours du temps et spécifiques selon les pays, or la solution TURBOSOL est pensée pour être déployée partout où l'on dispose de chaleur fatale et tout particulièrement à l'export, d'où le choix de l'autoconsommation de l'électricité produite ».

La consommation d'énergie des équipements auxiliaires est essentiellement due aux deux pompes qui mettent en circulation l'huile et l'eau. Le rendement global de l'installation, à savoir le ratio entre la production nette d'électricité fournie par le procédé (toute consommation électrique des auxiliaires déduite) et la quantité de chaleur captée aux échangeurs en régime thermique établi, est compris entre 8 et 13%. Ce rendement global évolue en fonction de la puissance du module. Plus la puissance du module est élevée, meilleur est le rendement global, puisque les postes fixes consommateurs d'électricité prennent une part relative moins importante. De même, plus la source de chaleur fatale est disponible en permanence (3x8 7j/7), meilleur est le temps de retour sur investissement.

Par exemple, une cogénération complémentaire au condenseur permettra d'augmenter le rendement global de l'installation. L'installation TURBOSOL cible une récupération de chaleur fatale d'une puissance thermique comprise entre 400 kW_{th} et 10 MW_{th}. La turbine actuelle couvre la plage basse et la turbine en développement couvrira la plage haute des puissances. Le séparateur est lui aussi de conception différente en fonction des puissances.

Une solution en attente de démonstration sur site

Aujourd'hui, il existe une installation représentative du procédé TURBOSOL dans les locaux de la société HEVATECH, mais il n'y a pas encore de réalisation sur site industriel. L'étape prochaine est la recherche de sites industriels partenaires permettant l'installation de démonstrateurs dans des puissances de 40 kWe à 400 kWe. D'autres expérimentations sont en cours sur le banc d'essai dans les locaux de Malataverne dans la Drôme.



Vue d'ensemble du prototype TURBOSOL, monté sur skid, dans les ateliers à Malataverne (26), la capacité de séparation et la turbine sont à droite.

En résumé, la solution TURBOSOL de la société HEVATECH s'inscrit pleinement dans les projets de décarbonation de l'industrie. Tout d'abord, la valorisation de la chaleur fatale en électricité conduit à une réduction des émissions de gaz à effet de serre grâce aux réductions de consommation d'énergie primaire. Aussi, l'emploi de fluides caloporteurs d'origine végétale permet la réduction des émissions non énergétiques des gaz à effet de serre. En outre, la solution est en phase avec une réflexion sur une plus grande résilience de l'autonomie énergétique des industries, notamment grâce à **l'autoconsommation de l'électricité décarbonée produite**, indépendante du réseau d'acheminement et de production.

La société HEVATECH a été plusieurs fois primée et lauréate de plusieurs concours régionaux et nationaux (AMI Efficacité énergétique dans l'industrie TOTAL-ADEME, dispositifs de l'ADEME IPME et l'NOV). Souhaitons que le plan de relance pour la décarbonation de l'industrie apporte des opportunités de démonstration in situ et de premières réalisations de la technologie TURBOSOL en 2021.

Article de Jean-Marc PIATEK, Chef du département Maîtrise de l'Energie & de la Communauté des Référents Energie à l'ATEE, à partir de l'Interview de Patrick BOUCHARD, Président de la société HEVATECH, propos recueillis le 21 décembre 2021.

Encadré

HEVATECH

Créée en 2010, la société HEVATECH est spécialisée dans les procédés et technologies de valorisation de chaleur perdue, notamment par sa conversion en électricité. Elle développe un procédé innovant, capable de valoriser des chaleurs allant de 250 à 600 °C, à travers sa gamme de produits TURBOSOL dont les puissances se situent entre 20 et bientôt 1 000 kWe. La technologie HEVATECH a été plusieurs fois primée et lauréate de projets aidés.

www.hevatech.fr

Activités

Fournisseur de produit et de service

- Conception du procédé TURBOSOL
- Ingénierie et études techniques

Secteurs ciblés

- Marchés Europe et Monde
- Industrie de transformation (sidérurgie, verrerie, cimenterie, céramiste...)
- Incinérateur de déchets ou la combustion de biomasse (incinération des boues de STEP, déchets ménagers, industriels, biomasse...)
- Moteur à combustion interne (groupe électrogène, moteur embarqué > 5 MWth)

Effectifs

- 10 salariés

Localisation

- Atelier et bureaux : 145 Chemin de la Roche du Guide RN 7 - Espace Combelière Sud - 26780 Malataverne – FRANCE

Mots-clefs

Chaleur fatale - Autoconsommation d'électricité – Turbine – Industrie – Incinérateur de déchets – Groupe électrogène.



Une partie de l'équipe HEVATECH,
avec Patrick BOUCHARD, le Président, au centre de la photo