

#1

Dossier :  
**EFFICACITÉ  
ÉNERGÉTIQUE**

Extrait de LA REVUE **forge et fonderie** n° 24



**FEDERATION FORGE FONDERIE**

45, rue Louis Blanc - F-92400 COURBEVOIE

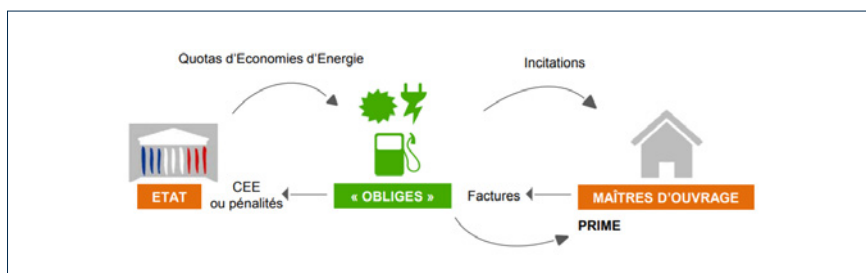
Adresse Postale : CS 30080 F-92038 LA DEFENSE Cedex

Téléphone : +33 (0)1 43 34 76 30 - [contact@forgefonderie.org](mailto:contact@forgefonderie.org) - [www.forgefonderie.org](http://www.forgefonderie.org)



Olivier VASSEUR  
Responsable territoire  
Fédération Forge Fonderie

## Optimisation de la récupération d'énergie sur une tour de refroidissement de cubilot vent chaud, exemple de la Fonderie FMGC



En 2002 la FMGC décidait le remplacement de ses 2 cubilots vents froid par un cubilot vent chaud de capacité 25 tonnes / heure, et mettait en place, afin de préparer cet investissement, un système de captage et de traitement des fumées réduisant drastiquement les émissions de monoxyde de carbone. Au-delà de l'amélioration de l'empreinte carbone, une première phase de récupération de la chaleur fatale résultante était également mise en place.

En 2020 la FMGC fait le choix de récupérer 100% de l'énergie disponible.

### L'installation de fusion FMGC

Dans son principe, le cubilot vent chaud, four vertical utilisant comme énergie la combustion de coke, permet de fondre en contact direct des vieilles fontes et aciers issues à 100% de la filière du recyclage (Divers pièces mécaniques, automobile, ferroviaire, bâtiment, chauffage,...)

Chargées par le haut du cubilot en continu, ces matières s'accumulent dans le fut du four et fondent dans la zone de fusion à environ 1700°C grâce à l'énergie produite par la combustion du coke et l'air insufflé (10000m<sup>3</sup>/h à 500°C) par l'intermédiaire des tuyères. La fonte liquide ruisselle sur le coke et s'accumule dans le bas du cubilot, et est évacuée en continu via l'avant creuset, à un débit ajustable en fonction du débit de vent à une température supérieure à 1400°C

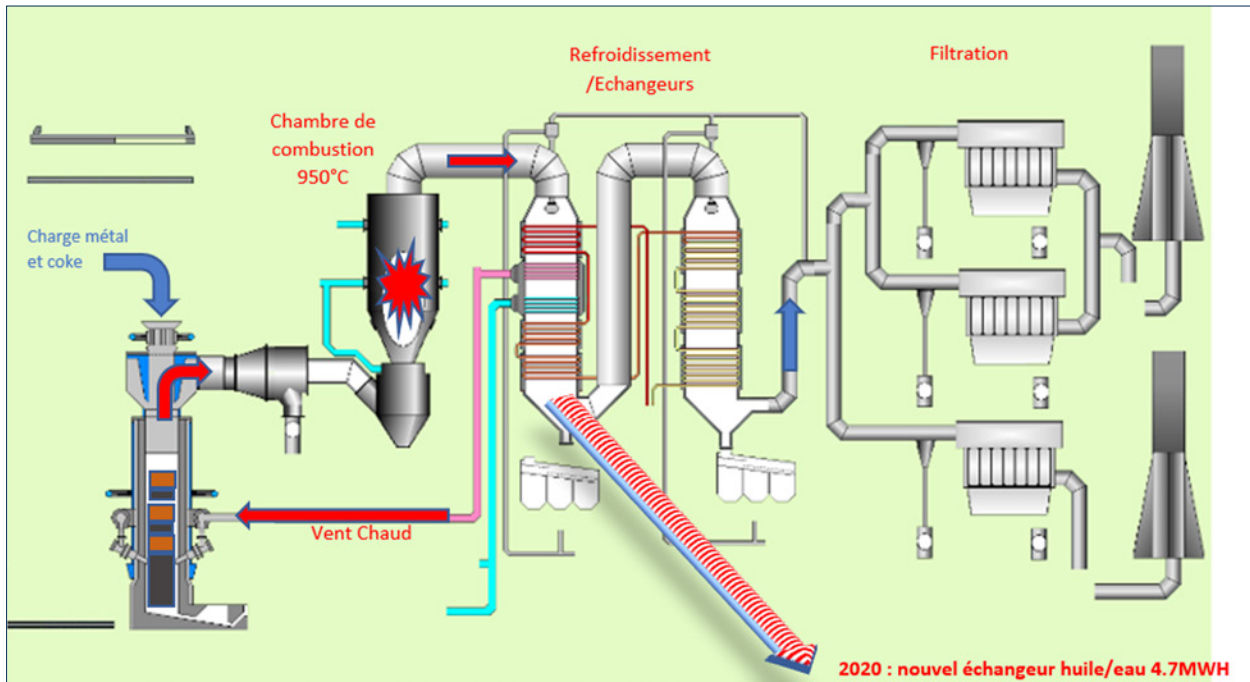


Figure 1 : Synoptique de l'installation de fusion cubilot vent chaud FMGC

La fonte produite est alors stockée dans des poches de coulée contenant environ 15 tonnes de métal liquide, et alimente 2 chantiers de moulage (« petites » et « grosses » pièces) pour la coulée des moules de contrepoids de grues et chariots élévateurs, de quilles de bateaux ou encore de lests utilisés dans le secteur des énergies marines renouvelables.

Les gaz issus de la fusion sont aspirés (figure 1), passent dans une chambre de combustion à une température de 950°C où le monoxyde de carbone est brûlé, et sont ensuite refroidis par échange thermique de calories. Une petite partie de l'énergie étant dédiée au chauffage du vent et retournant directement au cubilot.

Dès 2004, un échangeur huile /eau avait été installé et avait permis de récupérer 1.5MWH de puissance sous forme d'un réseau d'eau chaude dé-

dié au séchage de l'enduit des moules des petites et moyennes pièces, et au chauffage des ateliers de finition. Le reste de la chaleur étant évacuée par un aérorefroidisseur.

### Le projet 2020

Sur les 5MWH de capacité théorique de l'installation, seule une partie était récupérée, et le réseau existant ne permettait pas d'exploiter pleinement cette puissance. Un audit a été réalisé par la société GEA (leader sur le marché mondial des solutions complètes de transfert de chaleur, et également pour l'utilisation de ses technologies exclusives et uniques en matière d'échangeurs de chaleur). Ce qui a permis de faire un point sur la production et les consommations afin de concevoir l'évolution des utilités et de retenir la meilleure solution technique ré-

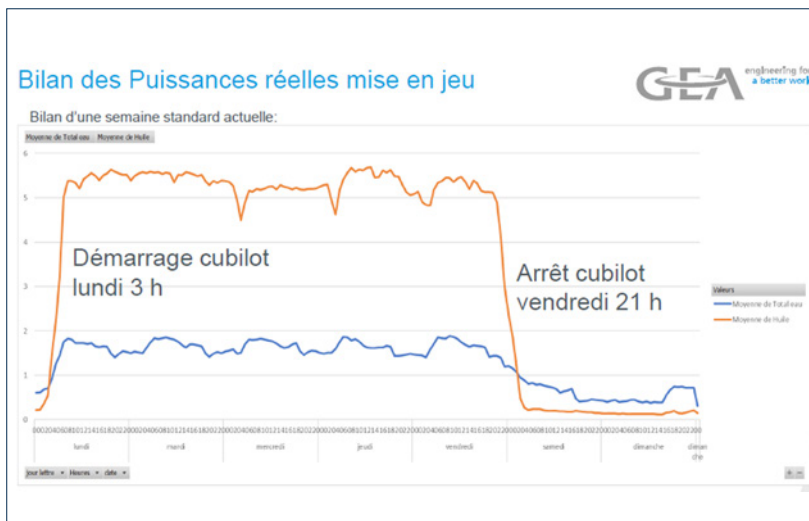
pondant aux futurs besoins des différents projets de la FMGC, à savoir :

- Réduire les consommations de gaz sur le site
- Améliorer les conditions de travail des salariés, chauffage des bâtiments le lundi matin
- Démarrer les lignes de production dès le lundi matin avec un stock d'eau chaude à disposition
- Améliorer la maintenabilité du réseau pour la maintenance
- Subvenir aux besoins futurs du site
  - Alimentation en eau chaude du nouvel atelier finition petites et moyennes pièces et remplacement de l'étuve électrique par une étuve eau chaude
  - Chauffage des ateliers non équipés
  - Projets divers
- Vendre de l'eau chaude aux entreprises de la zone industrielle, projet de 500MWH/an

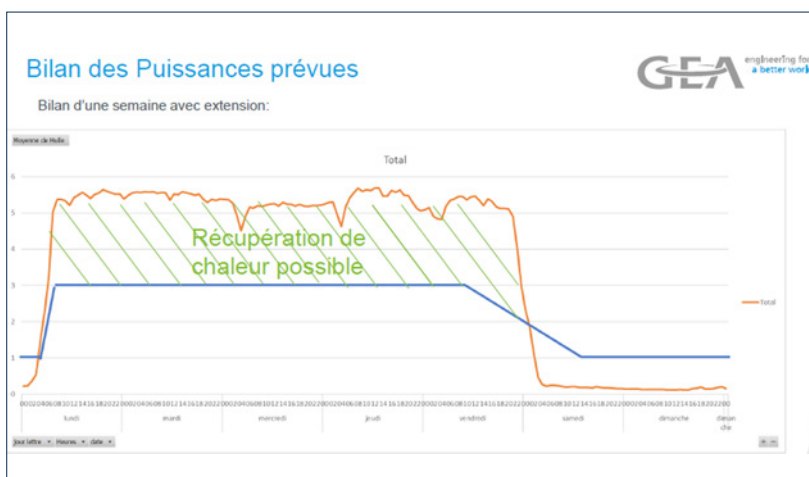
## État des lieux des équipements et du fonctionnement

Pour son état des lieux GEA s'est fixé comme objectifs de son étude :

- La réalisation des mesures comparatives des différents capteurs, débits et températures
- La détermination des profils de charges calorifiques appelés par l'usine
- La réalisation des mesures de débits/puissances sur les principaux éléments
- La détermination du coefficient de foisonnement
- L'évaluation du budget de la solution technique retenue



Dans la situation initiale, les puissances réelles mises en jeu (circuits huile et eau), ne sont disponibles que lors des phases de fonctionnement standard du cubilot, du lundi matin au vendredi soir.



L'objectif étant de déterminer la puissance disponible dans les plages de fonctionnement (Figure 2) actuelles et de dimensionner les volumes de stockage nécessaires pour une utilisation en production et lors des phases de démarrage.

La puissance nécessaire calculée à assurer est donc de 3MW pendant 3 heures lors de la mise en route de l'usine le lundi matin, ce qui a permis de déterminer la quantité d'eau chaude nécessaire à l'ensemble des besoins.



Cuves de stockage eau chaude



Circuit échangeur et alimentation cuves de stockage

## Bilan des cee sur le projet

Pour faciliter l'évaluation de certificats d'économie des fiches de calcul simplifiées ont été créés par action standard (par exemple variation de vitesse)

Les CEE sont exprimés en MWh cumac (MWh cumulés actualisés sur 10 ans)

Bilan des CEE sur le projet FMGC :

- Variation Electronique de vitesse : 1333MWh cumac
- Récupération d'énergie sur un aérorefroidisseur : 171080 MWh cumac
- Total CEE : 172413 MWh cumac

Grâce à la valorisation de ces CEE par le partenaire EDF, la participation a atteint 70 % du coût total du projet, aide sans laquelle celui-ci n'aurait pas vu le jour.

## Conclusion

La FMGC a optimisé sa récupération de chaleur fatale sur une installation existante, en améliorant sensiblement le rendement via le stockage de l'énergie, et agrandissant sa plage d'utilisation notamment sur les périodes de non-production.

La valorisation de la chaleur perdue des procédés industriels est un **gisement important d'économies d'énergie**, en particulier dans nos métiers de la forge et de la fonderie, elle est soutenue par les certificats d'économies d'énergie qui restent de très intéressants leviers de financement pour la performance énergétique, et soutiennent à ce titre la compétitivité et l'amélioration de l'empreinte carbone de nos entreprises.



Laurent LANTOINE  
Chef de Produits Industrie  
GRDF



Gregory VEBRUGGHE  
Chef de Marché Industrie  
GRDF

## Répondre à vos ambitions de compétitivité et de neutralité carbone : quelles solutions d'optimisation énergétique pour vos procédés thermiques gaz ?

Le développement durable de l'activité devient un enjeu économique dans l'industrie, et ce, que l'ambition de neutralité carbone soit motivée par une obligation législative, une facilité d'accès à des financements ou une volonté sociétale.

Les entreprises industrielles préparent leur feuille de route avec des ambitions et des échéances adaptées. Elles élaborent des démarches qui doivent être compatibles avec les possibilités d'adaptation des sites et les spécificités même de l'activité de l'entreprise : qualité, sécurité, emploi, compétitivité...

La démarche de neutralité carbone est dépendante de nombreux leviers, par exemple la conception même des produits (design, obsolescence), la formation des salariés, etc. Elle s'applique également au périmètre de toute l'activité (scope 1, 2, 3 au sens du bilan de GES) : optimisation du recyclage, gestion des déchets, mobilité et maîtrise énergétique au travers de ces différentes étapes : audit énergétique, mise en place d'actions d'efficacité énergétique, valorisation de la chaleur fatale, adaptation du mix énergétique (recours aux EnR : photovoltaïque, éolien, biométhane, ...), capture du CO<sub>2</sub> puis stockage ou valorisation. Les différents leviers ont des maturités différentes. Les acteurs de l'offre, les filières sectorielles, les pouvoirs publics en accompagnent le développement ou l'émergence.

### Le gaz répond à votre ambition de neutralité carbone et de compétitivité.

#### Différents leviers permettent d'améliorer l'efficacité énergétique des procédés industriels, notamment :

- Entretien, réglage des équipements, régulation, monitoring.
- Adaptation ou amélioration de votre installation ou choix de la technologie la mieux adaptée au besoin (technologie éprouvée ou de rupture).
- Mode d'utilisation des procédés (comportemental).

**Pour répondre à vos enjeux, les solutions performantes au gaz** permettent d'atteindre vos exigences spécifiques en maintenant en place vos équipements afin de préserver votre qualité de production, de capitaliser sur vos actions de maîtrises énergétiques déjà réalisées et également d'éviter de nouveaux capex.



Nous vous proposons un tour d’horizon d’actions de maîtrise énergétique déclinables sur vos installations : efficacité énergétique, mise en place de technologies éprouvées, présentation de nouvelles technologies, perspectives sur la valorisation de chaleur fatale et la capture du CO<sub>2</sub>, ...

**La maîtrise et la réduction de votre consommation énergétique vous permettra d’optimiser votre recours au gaz verts comme le biométhane et ainsi répondre à votre ambition de neutralité carbone et de compétitivité en y ayant recours de manière fine et progressive.**

### Les actions d’efficacité énergétique pour les procédés gaz

#### Les réglages des brûleurs

**Le réglage et le maintien en conditions opérationnelles des brûleurs d’un équipement thermique est une opération indispensable et souvent sous-estimée.** Le rapport Air / Gaz est un paramètre clef pour garantir une combustion optimale et un rendement le plus élevé possible.

De très nombreux éléments perturbateurs peuvent venir modifier des réglages initialement conformes aux spécificités fournisseur. L’encrassement d’un élément, des modifications de point de fonctionnement ou de taux de charge, des produits émettant des particules ou poussières venant impacter l’intégrité de l’équipement etc...

**Il est donc essentiel de veiller au maintien de vos équipement de chauffe dans leur condition de réglage et**

**de fonctionnement idéaux.** Pour exemple un brûleur encrassé fonctionnant avec un taux d’aération diminué de 5% peut entraîner (en fonction de la température de fonctionnement) une perte de rendement pouvant aller jusqu’à 15%.

Ces opérations périodiques de vérification et d’entretien sont peu consommatrices de CAPEX mais nécessitent des compétences en interne qu’il faut entretenir. Sinon il est possible de s’adjoindre les services de sociétés externes compétentes. Les fabricants d’équipements de chauffe peuvent également proposer des services de maintenance associés à leurs produits.

#### Mise en place de système de régulation :


L’objectif premier du système de régulation est d’assurer la sécurité des biens et des personnes travaillant sur un site industriel. En effet, la régulation de la combustion permet de respecter les valeurs limites d’émissions et ainsi respecter les normes.

De manière moins paroxystique mais tout aussi importante pour un chef d’entreprise, **une bonne régulation permet de garantir les meilleurs rendements et de maintenir la performance des procédés.**

Pour quelques procédés dits « sensibles aux variations de gaz », la prise en compte des potentielles variations de caractéristiques du gaz, grâce à un équipement spécifique, assurera une finesse de réglage importante tout en permettant de fixer un paramètre perturbateur.

Procédés thermiques	Variations de PCS ou d’indice de Wobbe		
	< à 3%	3 à 5%	5 à 10%
Chaudières à tubes de fumée			
Etuves et Séchoirs			
Chaudières à tubes d’eau			
Fusion des non ferreux			
Réchauffage des métaux			
Cuisson du verre, parachèvement			
Cuisson des tuiles et briques			
Traitement thermique sous atmosphère			
Fusion du verre creux et feeders			
Cuisson de la porcelaine			
Fours à chaux, calcination d’alumine			
Fusion du verre plat			
Travail à la flamme, plasturgie			

 Insensible

 Peu sensible

 Sensible

Si les variations de gaz sont souvent invoquées pour expliquer des perturbations sur le process et de potentielles non-conformités de produits, bien souvent d'autres grandeurs perturbatrices bien plus importantes agissent à votre insu sur le procédé.

En effet d'autres facteurs sont à prendre en compte : la température de l'air comburant, la pression de votre alimentation de combustible, les manipulations parfois intempesitives de certains personnels, le dérèglement d'un actionneur ou encore la dérive d'un transmetteur crucial pour votre process, etc...

**La régulation d'un procédé thermique industriel est un élément central et de premier ordre pour la performance de votre usine, il conviendra donc d'y être vigilant et cela sur la durée.**

**Il existe différentes stratégies et techniques de régulation.** Les plus communes sont des régulations à partir de PID simples sur la température et/ou les débits d'un procédé. On voit apparaître depuis quelques années des régulations dites « avancées » ou prédictives qui peuvent être très efficaces mais nécessitent des équipements et parfois la mise en place de modèles plus coûteux.

On peut y adjoindre une boucle ouverte ou fermée sur la régulation du taux d'oxygène dans certains cas.

Il convient d'avoir une régulation adaptée à votre besoin et de s'en assurer avec le fournisseur de l'équipement.

**Une bonne régulation de votre procédé**, avec des consignes bien choisies et un minimum de marge notamment sur les taux d'aération (en se rapprochant donc de la stœchiométrie), **peut vous faire gagner de 5 à 20% d'énergie consommée sur des procédés hautes températures.**

La qualité des produits finis est aussi tributaire de la maîtrise de la combustion. Un défaut de régulation n'est pas une fatalité. En prendre conscience ou lancer une réflexion sur le sujet est déjà un bon début. Faire appel à des spécialistes pouvant optimiser votre process est la suite logique à cette prise de conscience.

### Améliorer vos équipements avec des technologies performantes :

#### LES BRÛLEURS RÉGÉNÉRATIFS :

**Par rapport à des systèmes en air froid, l'utilisation de ces brûleurs permet une réduction de 40 à 50 % de la consommation en énergie.**

La récupération de calories contenues dans les fumées est un moyen de réduire la consommation d'énergie des équipements thermiques, et ainsi de diminuer l'empreinte carbone des industriels qui les utilisent.

Pour les procédés hautes températures ( $T^{\circ} > 700^{\circ}\text{C}$ ), les fabricants de brûleurs ont développé des systèmes efficaces permettant d'accroître de façon non négligeable le rendement des équipements thermiques : Les brûleurs régénératifs.

Ces équipements sont disponibles pour des puissances unitaires allant jusqu'à 8 MW.

#### Domaine d'applications :

**Secteurs :** automobile, métaux, matériaux de construction, verre, sidérurgie

**Usages :** procédés thermiques

#### ATOUTS DE LA SOLUTION :

##### Optimisation de la consommation d'énergie

Ce système de récupération de chaleur est particulièrement performant et permet d'atteindre des **rendements de combustion de l'ordre de 80 à 85 %**. Un tel rendement de combustion se traduit classiquement par une **réduction des consommations d'énergie de l'ordre de 40 % à 50 %** par rapport à un système à air froid et de 20 % par rapport à un système à récupération centralisée « classique ».

##### Régulation par modulation d'impulsion

Plusieurs fabricants de ce type de brûleurs proposent une régulation par modulation d'impulsion. Comparativement au mode « Tout ou Rien », cette technique est beaucoup plus souple et permet d'obtenir une précision tant en phase de montée en température qu'en phase de refroidissement.

##### Faible taux d'émissions d'oxydes d'azote

Dans leur version « Combustion sans flamme », les brûleurs régénératifs permettent de respecter les valeurs limites d'émissions les plus exigeantes.

##### Robustesse

Les brûleurs régénératifs acceptent des fumées chargées que l'on peut rencontrer dans le cas des fours de fusion de verre ou d'aluminium. En effet, les billes d'alumine constituant le régénérateur peuvent être « lavées ».

##### Équipement éligible aux certificats d'économie d'énergie

Pour des fours, neufs ou existants fonctionnant au gaz naturel et à une température des fumées à la sortie du four supérieure ou égale à 600°C, la mise en place de brûleurs régénératifs permet de bénéficier des Certificats d'Economie d'Énergie.

#### POUR ALLER PLUS LOIN :

Rendez-vous sur le site <https://cegibat.grdf.fr/solutions/industrie/bruleurs-regeneratifs> ou vous trouverez le principe de fonctionnement, les modalités de mise en œuvre et de maintenance, l'éligibilité aux certificats d'économie d'énergie, les normes et réglementations applicables, des exemples de réalisation et acteurs de l'offre.



### BRÛLEUR AUTO-RÉCUPÉRATEUR

La récupération de calories contenues dans les fumées est un moyen de réduire la consommation d'énergie des équipements thermiques, et ainsi de diminuer l'empreinte carbone des industriels qui les utilisent.

Pour les procédés hautes températures ( $T^{\circ} > 700^{\circ}\text{C}$ ), les fabricants de brûleurs ont développé des systèmes efficaces permettant d'accroître de façon non négligeable le rendement des équipements thermiques : Les brûleurs auto-récupérateurs.

La plage de puissance nominal de ce type de brûleur varie de 10 kW à 500 kW.



Brûleur auto récupérateur - source RG Industries

#### DOMAINE D'APPLICATIONS :

**Secteurs :** automobile, métaux, matériaux de construction, verre, sidérurgie, autres

**Usages :** procédés thermiques, autres

#### ATOUTS DE LA SOLUTION :

##### OPTIMISATION DE LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE

Le fait d'utiliser la chaleur des fumées pour préchauffer l'air de combustion permet de réduire considérablement les pertes de calories par les fumées, et donc la consommation d'énergie.

Exemple : Considérons un four de traitement thermique fonctionnant à  $1000^{\circ}\text{C}$ , avec un excès d'air de 20 %.

Selon le diagramme suivant, issu de la brochure « Combustibles gazeux et Principes de la combustion », les pertes par les fumées s'élèvent à 53 %/PCI.

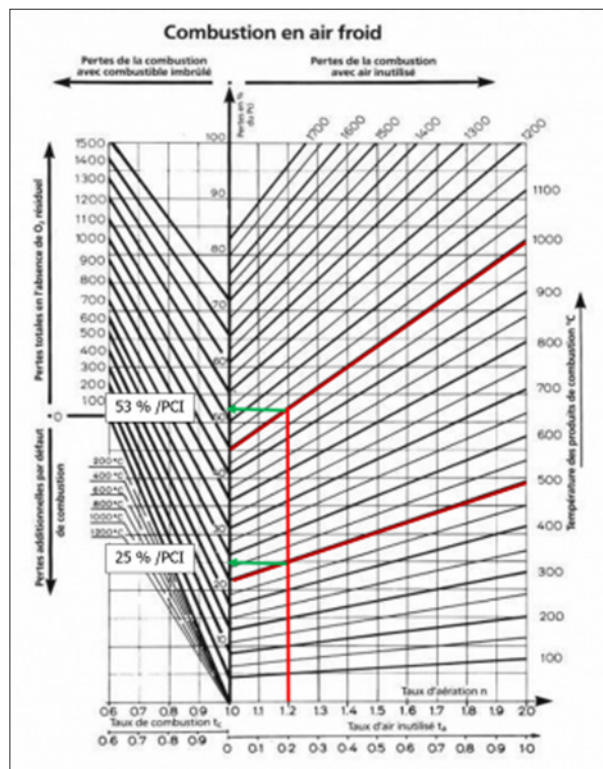
La mise en place de brûleurs auto-récupérateurs permet de réduire la température des fumées à  $500^{\circ}\text{C}$ . Les pertes aux fumées sont alors de 25 %/PCI.

Pertes aux fumées en fonction de la température des fumées et du taux d'aération (Gaz de France)

##### PAS DE RÉCUPÉRATEUR CENTRALISÉ

L'échangeur air de combustion/fumées est directement intégré au brûleur, et ce, quel que soit le nombre de brûleurs équipant le four.

Cela évite la mise en place d'un récupérateur centralisé, placé sur le conduit de cheminée, impliquant la mise en place de conduits de transport d'air chaud entre ce conduit et le (ou les) brûleur(s) du four.



##### EQUIPEMENT ÉLIGIBLE AUX CERTIFICATS D'ECONOMIE D'ÉNERGIE

Financement possible d'une partie de l'équipement grâce aux CEE, sous réserves d'éligibilité de la solution et du site. Pour des fours, neufs ou existants fonctionnant au gaz naturel et à une température des fumées à la sortie du four supérieure ou égale à  $600^{\circ}\text{C}$ , la mise en place d'un brûleur auto récupérateur permet de bénéficier des Certificats d'Economie d'Énergie.

## Pour aller plus loin :

Rendez-vous sur le site <https://cegibat.grdf.fr/solutions/industrie/bruleurs-auto-recuperateur> où vous trouverez le principe de fonctionnement, les modalités de mise en œuvre et de maintenance, l'éligibilité aux certificats d'économie d'énergie, les normes et réglementations applicables, des exemples de réalisation et acteurs de l'offre.

## Les nouvelles technologies :

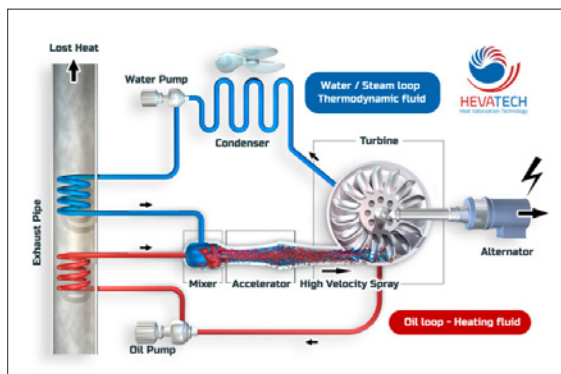
La **chaleur fatale** d'un procédé thermique reste l'une des principales sources d'optimisation énergétique et d'augmentation de la compétitivité d'un site industriel. :

**Aujourd'hui il existe des solutions à des niveaux de maturités variables** (avec des TRL plus ou moins élevés). Certaines expérimentations permettent de récupérer et valoriser des effluents gazeux notamment à des températures allant de 200 à plus de 1000°C.

Vous trouverez ci-dessous quelques exemples de sociétés qui développent aujourd'hui des solutions particulièrement séduisantes dans ce domaine :

### Le Procédé TURBOSOL de l'entreprise HEVATECH :

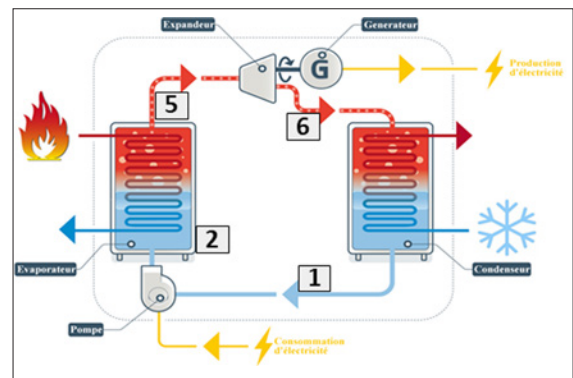
- Transformation énergie cinétique en énergie électrique via une turbine
- Possibilité de récupérer de la chaleur pour de l'ECS au niveau du condenseur
- 2 boucles de captage de la chaleur fatale dans les fumées : huile et eau
- Mélange des 2 fluides et transfert vers un accélérateur di phasique
- Détente et transmission de l'énergie thermique en énergie cinétique



### Le Procédé ORC grosse puissance de l'entreprise ENERTIME :

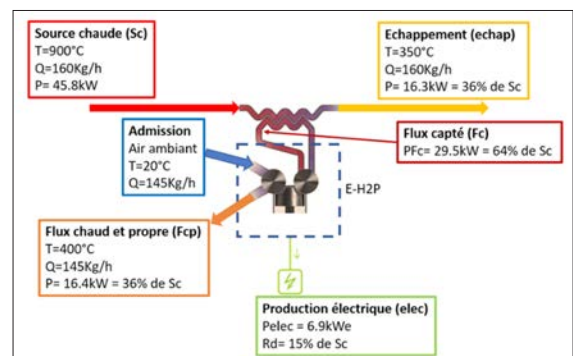
Fonctionnement d'un cycle organique de Rankine

- Récupération de chaleur fatale pour alimenter un évaporateur qui permet de vaporiser le fluide organique en circulation.
- Détente du fluide dans une turbine (générateur) et production d'électricité
- Le fluide est ensuite totalement condensé (refroidi par air ambiant) avant d'être « réinjecté » en direction de l'évaporateur
- Possibilité de récupération de chaleur sur les aéro-condenseurs



### Procédé de production d'Air Comprimé de l'entreprise H2P :

- Le système «heat to power engines» est un moteur à piston utilisant l'énergie d'une source chaude.
- La source chaude transfère la chaleur à un fluide circulant en boucle fermée dans un piston.
- A l'intérieur du piston, l'admission d'air ambiant se préchauffe au contact de la boucle, ce qui provoque son expansion et la création d'une énergie mécanique convertie en électricité ou en pression
- L'air chaud rejeté peut potentiellement être récupéré pour une autre transformation par un autre procédé



**LA MAITRISE ENERGITIQUE POUR LE PRECHAUFFAGE DE POCHE : UNE TECHNOLOGIE AU GAZ ADAPTEE AU BESOIN DES FONDEURS ALLIANT PERFORMANCES, ECONOMIES ET GAINS ENVIRONNEMENTAUX**

Afin de gagner en efficacité énergétique sur le poste de transport de la fonte, la Fonderie de Brousseval et Montreuil (FBM) a installé en septembre 2019 un **réchauffeur de poches de la marque promeos®**, doté d'un **brûleur sans flamme fonctionnant au gaz naturel**.

Une campagne de mesures réalisée par GRDF<sup>(1)</sup> a montré que cette technologie apporte au site de FBM un gain opérationnel conséquent. Grâce à **une durée de chauffe divisée par 4** et une utilisation optimale du système pour le préchauffage des poches, **les économies d'énergie peuvent atteindre 80% et réduire significativement l'empreinte environnementale** de ce poste de travail.



Fig.1

**Les atouts du préchauffeur de poche de promeos®**

La particularité de la technologie de ce préchauffeur repose sur son brûleur radiant poreux, fonctionnant au gaz naturel et conçu de telle manière que la stabilisation de la flamme à l'intérieur autorise une très haute modulation de la puissance de 1 à 20. Cette configuration permet de réduire la taille des corps de chauffe et de l'exploiter en condensation.

Un atout majeur de ce brûleur est aussi sa grande modularité de forme et de taille, permettant un grand choix de puissance.

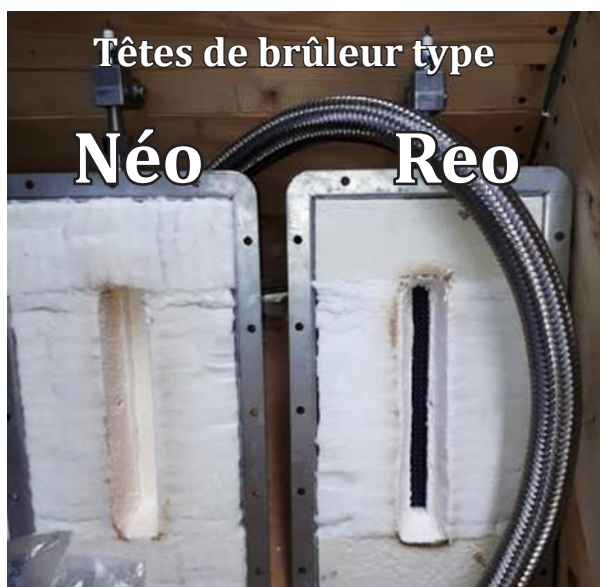
En connectant entre elles des cellules individuelles de brûleur de 1 kW, il est ainsi possible de construire des systèmes allant jusqu'à 1 MW : cette technologie se prête à un assemblage de type « Lego » pour s'adapter parfaitement au besoin défini.

La technologie du brûleur sans flamme, intégrée, dans un réchauffeur de poche haute gamme à très haute efficacité énergétique, est aussi utilisée dans d'autres procédés de chauffage et maintien au chaud des équipements de forges et fonderie : par exemple, le maintien au chaud du four de fusion à induction, le préchauffage de plancher incliné ou encore de goulottes de transport (voir article ci-après).

Vous trouverez une description complète de ce dispositif dans le numéro 22 de votre revue.

**L'INNOVATION DANS LES TECHNOLOGIES DE BRULEURS AU SERVICE DES FORGES ET FONDERIES : PERFORMANCES TECHNIQUES, ECONOMIQUES ET ENVIRONNEMENTALES**

Performante sur des préchauffeurs de poches (voir chapitre précédent), la gamme de brûleurs REO et sa déclinaison NEO sont également adaptés à d'autres usages dans le secteur de la métallurgie et notamment en forges et en fonderies puisqu'ils peuvent être installés dans des fours de fonderie ou même des générateurs d'air chaud de type Leister®.



Description des deux têtes de brûleurs possible:

Néo: brûleur à flammèches (matrice céramique blanche) à gauche sur la photo

Réo: brûleur radiant avec matrice noire (carbure de silicium) à droite sur la photo

Les brûleurs sont développés en module de 50kW et peuvent être assemblés pour constituer un équipement de chauffe de plus grande puissance.

**GRDF a fait réaliser des essais sur ces brûleurs par le CETIAT :**

Réo brûleur radiant : très forte puissance rayonnée fournie à la charge puissance transférée en champ libre de l'ordre de celle transférée à une pièce dans un four à 1100°C

**Synthèse des essais :**

Réo : bonne consommation spécifique en W transféré/ kW gaz injecté et gain de puissance transférée à la charge.

Néo : faible longueur de flamme ce qui permet un volume utile plus important du four. Fonctionne jusqu'à 1400°C en four.

Cette gamme de brûleurs respecte largement les valeurs limites d'émission de la réglementation environnementale !

Les émissions des brûleurs sont bien inférieures aux exigences réglementaires :

CO : 2,75mg/kWh PCS

No<sub>x</sub> : 5,25 mg/kWh PCS

**Contact GRDF**

Laurent LANTOINE  
Tel: +33 (0)6.32.74.48.62

Gregory VEBRUGGHE  
Tel : +33(0)7.88.15.70.66





Nicolas CREON  
Responsable  
Environnement- Hygiène-  
Sécurité  
Fédération Forge Fonderie

## Le comptage et l'analyse des consommations énergétiques : un outil indispensable et innovant pour renforcer la performance des sites

Face aux variations des prix de l'énergie, améliorer la performance énergétique de l'entreprise est l'un des moyens de maîtrise des coûts de production. Cela passe par la mise en place d'une stratégie structurée sur le long terme, stratégie qui peut s'appuyer sur l'audit énergétique réglementaire ou sur un système de management de l'énergie et qui requiert une bonne connaissance des principaux postes de consommation du site.

Le comptage de l'énergie consommée par les différentes installations d'un site industriel est une des clés pour en améliorer l'efficacité énergétique et ainsi réduire ses coûts de production. Mais bien compter les consommations d'énergie nécessite de définir au préalable une stratégie pour en retirer rapidement des fruits. Cette stratégie peut découler de l'audit réglementaire du site<sup>1</sup> ou de la certification ISO 50001.

Pour Etienne RIVOALEN, Chef de projets en efficacité énergétique chez Equinov, « l'audit réglementaire est un bon outil pour les entreprises qui n'ont pas encore amorcé de démarche d'efficacité énergétique car il permet de faire une cartographie des consommations et de mettre en place un premier plan d'action. »

En revanche, pour les entreprises qui ont déjà engagé une démarche d'efficacité énergétique, Etienne RIVOALEN recommande plutôt la mise en place de l'ISO 50001 qui « présente l'intérêt d'imposer à l'entreprise de se fixer des objectifs de résultats. Cela étend la démarche d'amélioration continue à l'énergie. De plus, cette norme met en place le cadre rigoureux d'un système de management et permet de s'assurer que l'énergie est prise en compte à tous les niveaux de l'entreprise. »

1 : Les entreprises de plus de 250 salariés ou réalisant un chiffre d'affaire de plus de 50 millions d'euros et un bilan total de plus de 43 millions d'euros doivent effectuer tous les quatre ans l'audit énergétique prévu à l'article L233-1 du code de l'énergie.

### Le comptage des consommations énergétiques :

Toutes les entreprises disposent *a minima* des données fournies par les compteurs généraux du site, mais ces données sont souvent sous-exploitées. Les sites raccordés au réseau de distribution d'électricité, par exemple, peuvent disposer sur simple demande à Enedis d'un accès à leur historique de consommations, enregistré avec un pas de temps de 8h, des puissances atteintes et des dépassements mensuels. De plus, certains compteurs permettent d'avoir accès à l'historique de la courbe de charge.

L'objectif du plan de comptage, désormais appelé *Plan de mesure et de surveillance de l'énergie* dans la version 2018 de la norme ISO 50001, a pour but de :

- Connaître la consommation des équipements les plus consommateurs du site et d'en identifier les dérives dans le temps, entre équipements similaires ou par rapport aux données constructeurs,
- D'identifier les équipements pour lesquels le potentiel de gain est le plus important,
- Identifier les talons de consommations résiduelles lorsque la production est à l'arrêt (équipements qui fonctionnent inutilement, fuites sur le circuit d'air comprimé, ...),
- Créer un historique des performances énergétiques de l'entreprise et de ses principales installations au travers d'indicateurs de performance énergétique,
- Quantifier les gains attendus pour chaque opération d'amélioration de l'efficacité énergétique,
- A partir de l'ensemble de ces connaissances, prévoir la consommation future en fonction des niveaux de production attendus ou des augmentations de capacités envisagées.

Le plan de comptage est donc à la fois une source d'informations indispensables pour définir un plan d'action et un outil d'aide à la décision pour prioriser ces actions.

Afin d'enrichir le plan de comptage, il peut être nécessaire d'ajouter des sous-compteurs au niveau des ateliers ou des équipements les plus consommateurs ainsi qu'au niveau des équipements pour lesquels un potentiel de gain important a été identifié.

### La collecte des données

La collecte des données est, encore aujourd'hui, souvent effectuée manuellement, directement au niveau des compteurs. La validation de la qualité de ces données et leur analyse est alors réalisée à l'aide de tableaux de type Excel par la personne en charge de l'efficacité énergétique dans l'entreprise. Toutes ces opérations sont chronophages et ne permettent pas de réagir rapidement en cas de dégradation des performances énergétiques de l'installation.

Le développement récent des technologies digitales facilite désormais grandement cette phase de collecte. En effet, les nouveaux équipements permettent de faire remonter les données automatiquement, en continu ou avec une fréquence définie, à un logiciel qui vérifie la qualité des datas à l'aide de règles automatisées. Ces données sont à la fois les informations provenant des compteurs et toutes les données pertinentes contenues dans le logiciel de gestion de la production (volume et référence des produits par exemple).

Ainsi, comme l'explique Victor NICOLAS, Directeur commercial chez METRON, « *ce type de logiciel a pour première fonction d'automatiser les tâches à basse valeur ajoutée de collecte et de vérification de la fiabilité des datas, comme la détection des valeurs aberrantes. Ainsi débarrassé des tâches chronophages, le Responsable Energie du site peut se focaliser sur le choix et la mise en œuvre des actions d'efficacité énergétique.* »

### L'analyse des données

L'analyse des données collectées permet, dans un premier temps, de réaliser l'état des lieux énergétique du site industriel, de quantifier son potentiel d'amélioration et de définir un plan d'action d'amélioration de l'efficacité énergétique. Dans un second temps, « *l'analyse des données et le suivi des indicateurs de performance énergétique permettront d'identifier les éventuelles dérives de consommation, de s'assurer que les actions conduites ont eu l'efficacité escomptée et de pérenniser les gains réalisés* » comme nous le rappelle Etienne RIVOALEN.



Si cela s'avère nécessaire à ce stade, le plan de comptage pourra être enrichi pour améliorer la connaissance des installations et décider des futures actions à conduire. L'amélioration de l'efficacité énergétique est un processus itératif qui s'inscrit complètement dans la démarche d'amélioration continue de l'entreprise.

Les outils les plus avancés d'analyse des données passent par la construction d'un jumeau numérique ou *digital twin*. « Cette méthode permet de contextualiser les données et de dire à la plateforme que telles données correspondent à un équipement précis, qui présente telles caractéristiques techniques. De cette manière, les bases de connaissances et de bonnes pratiques déjà acquises pour chaque type d'équipement peuvent être exploitées, ce qui accélère le déploiement des optimisations identifiées grâce à l'outil » détaille Victor NICOLAS.

La digitalisation de la collecte des données a également fait émerger l'analyse en temps réel par comparaison des nouvelles données de consommation avec un modèle fondé sur les données historiques. Ce modèle de référence est généralement construit à partir de régressions linéaires ou, s'il s'avère pertinent de décrire plus finement le fonctionnement de l'installation, il peut s'agir d'un modèle multicritère.

Ainsi, comme l'explique Victor NICOLAS, « l'analyse en temps réel permet d'identifier et de signaler les dérives au bon interlocuteur du site qui peut ainsi réagir très rapidement. La force de ce type d'outil est de permettre de corriger une situation en quelques jours voire quelques heures, alors que la relève manuelle des données des compteurs ne permet d'identifier les dérives qu'en fin de semaine ou fin de mois. »

Autre atout du recours à un *digital twin*, il peut également, si les données historiques le permettent, tenir compte de la charge de production et rester pertinent lorsque le site fonctionne à charge réduite.

## Le développement de l'intelligence artificielle au service de l'efficacité énergétique

Enfin, des solutions utilisant l'intelligence artificielle sont désormais disponibles pour améliorer l'efficacité énergétique d'un site industriel. Ces technologies, fondées sur

des arbres de décisions ou d'autres modèles avancés de Data science, permettent d'accélérer les phases d'analyse pour détecter et mettre en évidence les dernières pistes d'amélioration. Elles sont donc plutôt réservées aux sites matures en matière d'efficacité énergétique.

Quelques entreprises confient également le pilotage de certaines de leurs utilités à l'intelligence artificielle pour optimiser la consommation énergétique, mais cela est encore rare.

Si vous souhaitez en savoir davantage sur les technologies de l'intelligence artificielle, nous vous invitons à lire l'article de Patrick HAIRY sur *Les technologies de l'intelligence artificielle. Perspectives en fonderies*, publié dans le numéro 23 de cette revue.

## Les facteurs de réussite d'une stratégie d'efficacité énergétique

Le succès de la démarche passe avant tout par le soutien de la direction et par la nomination d'un chef de projet. Cependant, l'implication de toutes les équipes concernées dans l'entreprise est essentielle : production, maintenance, informatique, ... Ces facteurs de succès sont même des exigences de la norme ISO 50001.

La formation et la communication, des opérateurs aux managers, sont également indispensables pour assurer la réussite des actions entreprises. Pour cela, la plupart des logiciels de suivi de la performance énergétique existants permettent de créer des tableaux de bord adaptés à chaque interlocuteur.

Bien sûr, la mise en œuvre d'un plan de comptage et d'un dispositif efficace d'analyse des données a un coût mais il peut être partiellement financé par les certificats d'économie d'énergie et il sera à l'origine d'économies d'énergie, et donc d'économies financières. Dans les entreprises qui n'ont pas encore mis en place de démarche d'efficacité énergétique structurée, la rentabilité de l'opération est généralement élevée.

Enfin, l'installation de compteurs, de la supervision de la performance énergétique du site et de la certification ISO 50001 font l'objet de subventions. Certaines d'entre elles ont été décrites dans un article du numéro 20 (décembre 2019) de cette revue.

## Une brique de compétitivité

### Source :

CETIM avec l'appui de la Fédération des industries mécaniques (FIM), la Fédération Forg Fonderie et les syndicats professionnels Artema, Cisma et Profluid (tous deux réunis aujourd'hui au sein d'Evolis)

Replacer sur le devant de la scène des bonnes pratiques énergétiques permettant aux industriels de réaliser à court terme des économies à moindre coût et réduire les impacts environnementaux... Leitmotiv de la collaboration entre l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Ademe) et le Cetim, ce partenariat a abouti à l'édition d'un guide de « Maîtrise de l'énergie dans l'industrie mécanique » (Réf. 6A3A). Sa raison d'être : permettre aux industriels d'identifier des voies de progrès dans leurs entreprises, d'estimer l'intérêt relatif de ces voies dans leur contexte et de pouvoir choisir les bons partenaires pour leurs projets.

Cet ouvrage retrace ainsi les contextes réglementaire et normatif, les différents postes de consommation dans une entreprise mécanique et développe les méthodes d'économies d'énergies sur les procédés mécaniciens les plus courants. Un panorama complété d'un exposé de bonnes pratiques à mettre en œuvre.

### Coût de l'énergie et efficacité énergétique

La transformation et le développement du tissu industriel passe nécessairement par l'amélioration de

Favoriser la compétitivité des entreprises, c'est également replacer l'efficacité énergétique au cœur de la dynamique industrielle. L'Ademe apporte son soutien au développement et à la diffusion des technologies et de bonnes pratiques permettant de réduire les consommations énergétiques dans l'industrie. Dernière action en date, un partenariat avec le Cetim pour identifier des voies de progrès...

sa compétitivité. Plusieurs facteurs y contribuent, dont le coût des matières premières et celui de l'énergie.

L'importance et le rôle de la transition énergétique vis-à-vis de la compétitivité de l'industrie ne se démentent plus et la question de l'efficacité énergétique prend en effet une place prépondérante dans le secteur industriel.

Une gageure tant le contexte énergétique a évolué. En témoignent la déréglementation des marchés couplée à une demande croissante des besoins en matière d'énergie, l'augmentation des coûts connue ces dernières années, l'instabilité du prix, etc.

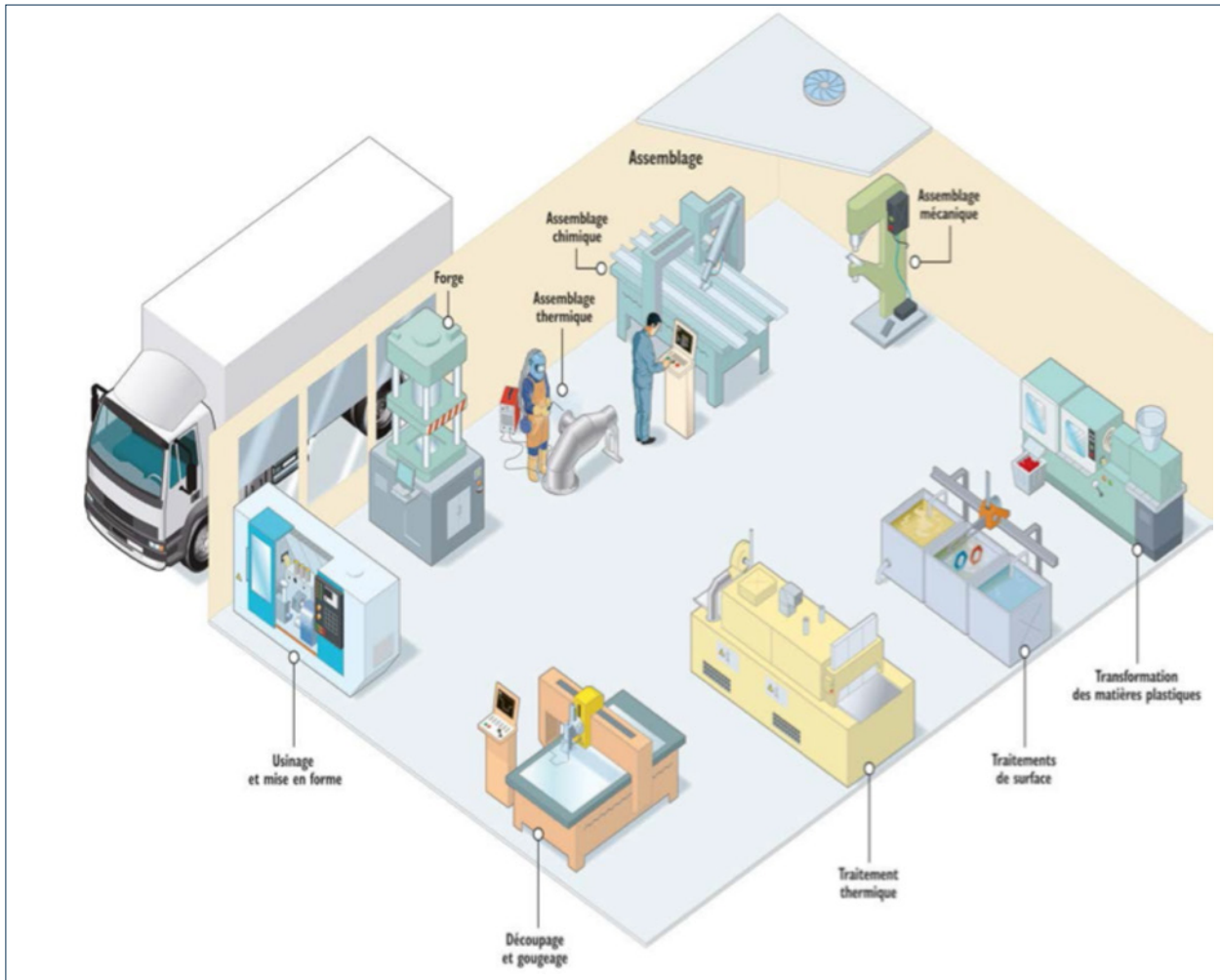
Avec rarement plus de 5 % du chiffre d'affaires consacrés aux achats d'énergie, les enjeux financiers semblent mineurs, pourtant des gains de l'ordre de 10% des coûts énergétiques sont atteignables. Un fait significatif en regard des résultats des entreprises.

Les études réalisées en 2013 par le Centre d'études et de recherches économiques sur l'énergie (Ceren) montrent en effet que l'industrie mécanique a consommé sur une année de référence 5 491 GWh avec en particulier 2752 GWh d'électricité, 2369 GWh de gaz naturel et 223 GWh de propane.

Au travers des différentes études menées par le Cetim depuis 2003, il s'avère qu'il existe un potentiel de 155 GWh d'économie dont près de 20 % avec un temps de retour sur investissement inférieur à un an.

L'Ademe quant à elle a évalué des gains d'efficacité énergétique de 30 % spécifiquement pour les entreprises de mécanique atteignables d'ici à 2030.

Comme le démontre le renouveau industriel observé dans certains pays dont les États-Unis, suite au développement des hydrocarbures non conventionnels, le coût de l'énergie constitue un facteur important dans la compétition économique internationale. Néanmoins, les performances en matière d'efficacité énergétique d'une industrie sont toutes aussi importantes et peuvent réduire voire contrebalancer un écart de compétitivité lié au coût de l'énergie. En Allemagne, le coût de l'énergie livrée aux entreprises a subi une augmentation depuis 2010 de près de 15% pour le gaz et de 10% pour l'électricité. Les indices des prix à la production restent eux sur un trend similaire à ceux des États-Unis, soit +10% depuis 2010. Sur la même période, les prix à l'exportation ont augmenté de 8% en Allemagne et de 12% aux États-Unis.



Infographie de l'ouvrage édité par l'Ademe et le Cetim présentant les métiers de la mécanique étudiés.

## Revenir à des bonnes pratiques

La maîtrise des consommations d'énergie constitue une voie à développer si l'on veut répondre au défi de la transition énergétique et préserver l'avantage compétitif dont bénéficie l'industrie française en matière de coût de l'électricité. Et ce, d'autant plus que l'industrie française reste fortement dépendante des combustibles fossiles et donc des approvisionnements étrangers.

Dans ce contexte, les industriels de la mécanique sont des acteurs

importants à double titre : en tant que fournisseurs d'équipements utilisant de l'énergie et également comme utilisateurs d'équipements de production.

A preuve, si l'industrie doit se féliciter d'une baisse des émissions de dioxyde de carbone de 40 % depuis 1990, malgré cela elle avoisine un quart de la consommation globale d'énergie et un tiers de la consommation d'électricité dans notre pays.

Une réalité qui motive en particulier ce partenariat entre l'Ademe et

le Cetim pour la mise à disposition d'un recueil dédié à l'identification de voies de progrès.

Tous ces chiffres montrent bien l'importance du potentiel de gains au sein de l'industrie mécanicienne. D'autant, que l'impact énergétique de certains équipements et de leur coût total de possession sur leur durée de vie est souvent sous-estimé. Ce guide de bonnes pratiques constitue une première étape pour une réalisation rapide d'économies à moindre coût et une réduction des impacts environnementaux.



Le guide a aussi pour but de remettre au goût du jour des bonnes actions et des gestes de bonnes pratiques.

Management et gestion de l'énergie, présentation des technologies élémentaires, présentation des procédés types, récupération d'énergie, énergies renouvelables, pistes technologiques, etc., sont quelques-uns des sujets notamment abordés au travers de l'ouvrage réalisé avec l'appui de la Fédération des industries mécaniques (FIM) et les syndicats professionnels Artema, FFF, Cisma et Profluid (tous deux réunis aujourd'hui au sein d'Evolis)...

Un travail qui a d'ailleurs été présenté à l'occasion du colloque national Énergie et Industrie organisé par l'Ademe (25-27 septembre 2017) au cours duquel son président, Bruno Lechevin, a notamment rappelé l'importance et le rôle de la transition énergétique vis-à-vis de la compétitivité de l'industrie : « L'efficacité énergétique, un élément clé de la performance de l'industrie de demain... La 4<sup>e</sup> révolution industrielle mêle transition numérique et transition écologique vers un modèle plus sobre, plus circulaire... ».

## Au-delà de la mécanique

Dans le cadre de ses missions, l'Ademe apporte un soutien au développement et à la diffusion de technologies ou de bonnes pratiques permettant de réduire les consommations énergétiques dans l'industrie. L'action réalisée avec le Cetim s'inscrit dans un cadre plus global mené sous la coordination du Réseau CTI où les Centres techniques industriels (CTI) ont rassemblé une large information pour la maîtrise de l'énergie et l'efficacité énergétique à retrouver dans des ouvrages disponibles via l'Ademe. Les secteurs de la fonderie et du papier possèdent ainsi leur guide : « Maîtrise de l'énergie dans l'industrie de la fonderie » et « Maîtrise de l'énergie dans l'industrie des pâtes, papiers et cartons ».