GUIDE DE BONNES PRATIQUES ÉNERGÉTIQUES ET DE DÉCARBONATION DANS L'INDUSTRIE TEXTILE

Décarboner à moindre coût et gagner en performance

ALLICE · GRDF · natran · Techtera · UNITEX

REMERCIEMENTS

Les partenaires du projet tiennent à remercier les experts Frédéric FOURNIER (YAMANA RSE), Serge CRUTEL (TEXTEL), Jérôme PASQUET (ENVENEO) et Bernard AUROUSSEAU (INFRATEX) pour la réalisation de ce document, leur apport d'expertise et leurs échanges avec les acteurs industriels.

Les partenaires du projet remercient également chaleureusement les entreprises ayant accepté d'échanger avec nos experts, voire de leur ouvrir les portes de leur usine. Ce guide n'aurait pu voir le jour sans elles :

- Hugotag, Balbigny
- Lacoste, Troyes
- Maille Verte des Vosges, Saint-Nabord
- Teinture et impressions de Lyon, Villefranche-sur-Saône
- Teinture et Apprêts Danjoux, Le Coteau
- Teinture et Apprêts de la Trambouze, Sevelinges
- TDV Industrie, Laval
- UTT Yarns, Tourcoing

Nous remercions la Région Auvergne-Rhône-Alpes pour son soutien à ce projet.

La Région
Auvergne-Rhône-Alpes

ÉDITO

La capacité à produire en France, avec des procédés maîtrisés et sobres en énergie, constitue un levier essentiel pour réduire nos dépendances et inscrire durablement le pays dans une trajectoire de décarbonation. Dans un contexte de hausse structurelle des prix de l'énergie, qui impacte fortement les coûts de production, la décarbonation devient incontournable : elle permet de réaliser des économies, de répondre aux attentes croissantes des clients sensibles aux critères environnementaux et de diminuer la dépendance aux énergies fossiles.

Face à la montée en puissance de ces enjeux de maîtrise énergétique et de réduction des émissions, la profession textile s'est activement engagée dans la décarbonation. L'industrie textile française dispose de nombreux atouts - capacité d'innovation, résilience, agilité – qui renforcent sa capacité à relever ces défis. Elle doit néanmoins composer avec un environnement réglementaire exigeant et parfois insuffisamment protecteur face à la concurrence internationale. Les enjeux énergétiques de la filière textile se situent aujourd'hui au croisement d'outils industriels parfois surdimensionnés et d'exigences environnementales toujours plus élevées. Dans ce contexte, il est indispensable de proposer des solutions concrètes pour accompagner la transition vers des pratiques plus durables tout en préservant la compétitivité des entreprises.

Si des investissements importants sont mobilisés pour soutenir les innovations nécessaires à la transition énergétique, une part significative des économies d'énergie peut néanmoins être obtenue rapidement et à moindre coût grâce à la généralisation des bonnes pratiques. C'est dans cette perspective que, dans le cadre de l'axe 4 « Sobriété énergétique et hydrique » de l'accord de filière en faveur de l'économie circulaire soutenu par la Région Auvergne-Rhône-Alpes, la branche textile représentée par UNITEX, en collaboration avec Techtera et le consortium piloté par ALLICE (alliance industrielle dédiée à la décarbonation de l'industrie) avec GRDF et NaTran, a élaboré ce guide. Il présente des actions concrètes, à investissement faible ou nul, permettant de décarboner à moindre coût et gagner en performance.

Ce guide a vocation à jouer un rôle de catalyseur, en mettant en lumière des bonnes pratiques éprouvées, des leviers immédiatement mobilisables et des retours d'expérience transposables. Nous vous invitons à vous en inspirer pour identifier des pistes d'amélioration adaptées à vos réalités industrielles, et engager durablement des démarches de sobriété énergétique et de décarbonation.

Céline PARDON,
Secrétaire générale d'UNITEX

Julie RAFTON-JOLIVET,
Déléguée générale de TECHTERA

Ce guide est composé de 18 fiches-actions, consultables indépendamment les unes des autres, et réparties en trois thématiques :

1. Actions sur les équipements de la chaufferie et des réseaux de distribution des utilités : 8 actions
2. Actions sur les équipements des ateliers de séchage et de teinture : 8 actions
3. Actions sur le management et l'organisation des sites : 2 fiches

Ces fiches-actions sont conçues pour être très opérationnelles et sont pensées à la fois pour les équipes présentes sur le terrain (production, maintenance, ...) et pour les équipes de direction (décideurs, responsables d'études travaux, ...).

Elles sont structurées de la manière suivante :

- **Contexte et enjeux :** brève présentation des objectifs visés dans la fiche,
- **Avantages de l'action**
- **Pour passer à l'action :** description de l'action à mettre en œuvre,
- **Intérêt technico-économique de l'action**, illustré par un cas d'étude chiffré
- **Financement :** répertoire des éventuels dispositifs publics d'aide au financement correspondant à l'action
- **Retour d'expérience :** dans la mesure du possible, verbatim d'un site textile ayant mis en œuvre l'action

SOMMAIRE

Glossaire **P.06**

UTILITÉS : CHAUFFERIE ET DISTRIBUTION

1. Optimisation de la combustion en chaudière de production de vapeur **P.06**
2. Suivi de la qualité d'eau alimentaire en chaufferie vapeur **P.12**
3. Isolation des réseaux de fluides caloporteurs **P.15**
4. Contrôle et fiabilisation des purgeurs de retour de condensats **P.18**
5. Comptage de l'énergie thermique **P.20**
6. Vérification des vannes de chauffage vapeur **P.24**
7. Vérification des vannes de chauffage trois voies pour fluide thermique **P.26**
8. Vérification des vannes de refroidissement en teinture **P.28**

ATELIERS : SÉCHAGE ET TEINTURE

9. Entretien des échangeurs de chaleur pour limiter l'encrassement **P.31**
10. Entretien des brûleurs process (hors chaudières) **P.34**
11. Vérification des sondes de régulation de température **P.37**
12. Vérification de l'étanchéité des portes de sécheurs, étuves, et rames **P.39**
13. Vérification des trappes de déviation des flux d'air dans les fours **P.42**
14. Maintien d'une pression appropriée dans les fours et rames en thermo-fixation ..**P.44**
15. Pilotage de l'extraction d'air des rames de séchage par mesure d'hygrométrie en temps réel **P.48**
16. Adoption de colorants tri-réactifs **P.50**

MANAGEMENT ET ORGANISATION

17. Planification des opérations par type de traitement **P.55**
18. Formation des équipes **P.57**

Principales aides au financement des actions d'efficacité énergétique **P.60**

GLOSSAIRE

Ce glossaire regroupe les principaux termes techniques liés à la gestion et à l'efficacité énergétique, tels qu'ils apparaissent dans les fiches de ce guide de bonnes pratiques.

Aéraulique : étude et maîtrise des écoulements d'air et de leurs applications.

Bâche alimentaire : réservoir d'eau sécurisant l'approvisionnement d'eau d'une chaudière. Elle peut être alimentée en eau neuve, mais aussi par les retours du réseau de distribution d'eau chaude ou de vapeur.

Brûleur : élément qui mélange combustible et comburant pour produire une combustion, au sein d'une chaudière ou d'un sécheur par exemple.

Calorifugeage : isolation thermique des parois d'équipements et canalisations pour limiter les pertes de chaleur.

Comburant : agent (généralement de l'air ou de l'oxygène) qui permet la combustion du combustible.

Combustible : matière (gaz, fioul, biomasse...) utilisée pour produire de la chaleur.

Combustion à la stœchiométrie : combustion d'un mélange en proportions exactes de combustible et comburant. S'approcher de la stœchiométrie réduit l'excès de comburant (air) à réchauffer, donc améliore le rendement énergétique de la combustion.

Condensat : eau issue de la condensation de vapeur, une fois que celle-ci a fourni sa chaleur au procédé alimenté. Ces condensats sont généralement réacheminés vers la bâche alimentaire de la chaudière pour être réutilisés, on parle alors de « retour de condensat ».

Détendeur : aussi appelé régulateur de pression, mécanisme qui réduit la pression d'un fluide sur l'aval du circuit sur lequel il est installé.

Échangeur de chaleur : équipement qui transfère la chaleur d'un fluide à l'autre sans les mélanger. Un radiateur traditionnel est un échangeur entre un circuit d'eau chaude et l'air de la pièce à réchauffer.

Énergie thermique : énergie sous forme de chaleur, transférable par conduction, convection ou rayonnement.

Fluide caloporteur, fluide thermique : fluide sélectionné pour ses capacités à emmagasiner de la chaleur et la transférer à d'autres fluides. L'eau et la vapeur sont les fluides caloporteurs les plus courants, mais on peut en utiliser d'autres, tels que des huiles thermiques pour les hautes températures.

Gestion numérique de la combustion : technologies de pilotage numérique du brûleur par microprocesseur permettant de contrôler ses paramètres, de surveiller son fonctionnement et de réaliser des diagnostics. Ces outils permettent aussi l'intégration du pilotage du brûleur dans un système de gestion numérique centralisé.

Primage : transfert néfaste de gouttelettes d'eau dans la vapeur produite par une chaudière, sous la forme de mousse ou de brume, du fait de la contamination de l'eau par des sels minéraux ou des matières en suspension, pouvant affecter le fonctionnement et réduire la durée de vie du réseau.

Purge continue de surface : enlèvement constant des impuretés flottantes en surface d'un liquide.

Purge intermittente de fond : évacuation ponctuelle des dépôts au fond d'un réservoir de liquide.

Purgeur : mécanisme qui permet de retirer (purger) un fluide indésirable, liquide ou gazeux, d'un circuit ou d'un réservoir contenant un autre type de fluide. Un purgeur vapeur élimine l'eau condensée qui se forme dans un réseau de vapeur.

Purgeur mécanique : catégorie de purgeur utilisant l'écart de densité entre deux fluides, par exemple la vapeur et le condensat, pour les séparer. Insensible aux variations de pression et de température.

Purgeur thermodynamique : catégorie de purgeur utilisant les variations de pression d'un fluide pour ouvrir et fermer un clapet. Par exemple, la présence de condensat diminue la température, donc la pression de la vapeur, et déclenche l'ouverture du clapet évacuant les condensats.

Purgeur thermostatique : catégorie de purgeur utilisant un matériau se dilatant/réfractant en fonction de la température, permettant d'ouvrir un clapet pour évacuer du fluide lorsque la température dépasse un seuil donné.

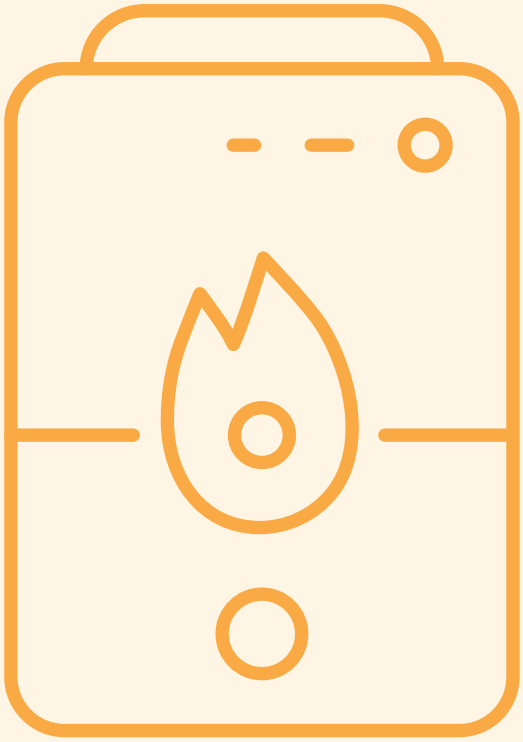
Registre : élément équipé de volets à l'ouverture ajustable, permettant de réguler les débits d'air.

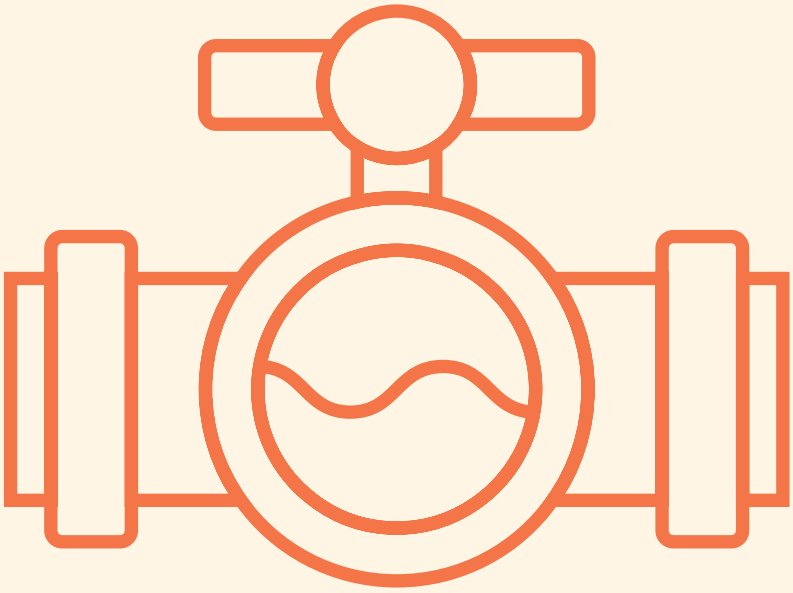
Vanne : organe de tuyauterie permettant de régler le débit d'un fluide.

Ventilateur d'extraction : ventilateur utilisé pour évacuer l'air d'un procédé

Ventilateur de soufflage : ventilateur utilisé pour propulser l'air dans un procédé

UTILITÉS : CHAUFFERIE ET DISTRIBUTION





OPTIMISATION DE LA COMBUSTION EN CHAUDIÈRE DE PRODUCTION DE VAPEUR

CONTEXTE ET ENJEUX

La filière ennoblissement (teinture, apprêt, enduction) consomme intensivement de la vapeur, généralement produite par des chaudières à gaz. L'usage de ces chaudières représente environ 60–80 % de l'énergie consommée sur le site.

Dans une chaudière à gaz, le rendement global dépend à la fois de l'excès d'air entrant (air comburant) dans le brûleur et de l'écart de température entre l'air entrant et l'air sortant (fumées de combustion). On appelle ***combustion stœchiométrique*** une combustion où l'air comburant est présent en quantité exactement suffisante, sans excès ni défaut, pour oxyder totalement le combustible. Dans ces conditions, les fumées ne contiennent ni oxygène, ni combustible.

Du fait des variations de demande de vapeur, des variations saisonnières du pouvoir calorifique du gaz et des potentielles dérives des brûleurs, les chaudières fonctionnent soient à forte charge, soit à faible charge, mais rarement à la stœchiométrie. Les brûleurs gaz fortement sollicités peuvent comporter des dérives non décelables immédiatement. Ces dérives conduisent à un défaut ou un excès d'air comburant :

- Un défaut d'air entraîne une combustion incomplète avec production d'imbrûlés : suies, monoxyde de carbone (CO), oxydes d'azote (NO_X)
- Un excès d'air dilue les fumées et augmente la consommation de combustible

LES AVANTAGES D'UNE COMBUSTION OPTIMISÉE

L'optimisation de la combustion consiste à piloter finement le brûleur gaz en agissant sur la régulation de l'air comburant et du combustible. Elle a pour avantages :

- Une réduction des consommations d'énergie et une amélioration du rendement global
- Une diminution de pertes de combustible, grâce à une combustion plus complète
- Une réduction des émissions de NO_X et une amélioration de la qualité des fumées
- Un meilleur pilotage de la chaudière en fonction des besoins

Note : Dans les cas de brûleurs micro-modulants, l'optimisation de la combustion peut être effectuée à l'aide d'outils de « gestion numérique de la combustion »

PASSER À L'ACTION

1. Évaluer et équiper le brûleur

La première étape consiste à demander à son fournisseur ou à un prestataire spécialisé de réaliser un diagnostic du brûleur.

- **S'il s'agit d'un brûleur micro-modulant « prêt régulation O_2 »**, il est possible d'installer directement des sondes d'oxygène (et éventuellement de CO et NO_X) dans le conduit de fumées, reliées à un régulateur d'oxygène qui ajuste en continu le ratio air/combustible, garantissant une combustion optimale quelles que soient les conditions de fonctionnement.
- **Si le brûleur est trop ancien ou trop rustique,** deux options s'offrent à l'industriel :
  - Remplacer le brûleur par un modèle modulant équipé d'une régulation O_2, ce qui permet d'obtenir un pilotage automatique et performant. Cette opération n'est recommandée que sur des chaudières vapeur d'au moins 5 T/h pour que les gains soient significatifs.
  - Maintenir le brûleur existant, mais réaliser un réglage manuel lors de chaque opération de maintenance. Cette dernière solution est moins efficace, car les paramètres de combustion restent fixes entre deux interventions et ne s'adaptent pas aux variations de charge ou de qualité du gaz.

2. Assurer un suivi opérationnel régulier

Un suivi des données de fonctionnement doit être mis en place pour détecter rapidement toute dérive. Les paramètres à suivre sont :

- **Consommation de gaz :** indicateur direct du rendement global.
- **Volume d'eau injecté dans la chaudière :** permet de relier la production de vapeur à la consommation de gaz. Le ratio m^3 gaz / m^3 eau est un indicateur de rendement de la chaudière. Lorsqu'il dépasse 85 – 90 m^3 gaz / m^3 eau, cela signifie que la combustion est dégradée et que les réglages du brûleur doivent être optimisés.
- **Température des fumées :** une température élevée traduit une perte d'énergie par la cheminée.
- **Volume d'eau alimentant la bâche alimentaire :** utile pour repérer d'éventuelles pertes de vapeur dans le réseau (ex. purgeurs défaillants).
- **Composition des fumées de combustion :** faire intervenir régulièrement un prestataire spécialisé pour mesurer les paramètres des fumées (O_2, CO, NO_X, température). Ces analyses permettent de vérifier la qualité de la combustion et d'ajuster les réglages pour rester au rendement optimal.

CONSIDÉRATIONS COMPLÉMENTAIRES

- Dans le cas d'une chaudière surdimensionnée pour les besoins actuels et futurs du site, le meilleur levier de gain énergétique consiste à la remplacer par une chaudière plus adaptée. L'investissement étant important, il peut être judicieux d'attendre la fin de vie de la chaudière existante.
- Une autre manière relativement simple de gagner quelques points supplémentaires de rendement de combustion (jusqu'à 2,5 %) est d'augmenter la température de l'air comburant en installant une cheminée aspirant l'air près du plafond de la chaufferie.

INTÉRÊT TECHNICO-ÉCONOMIQUE

Prenons le cas d'une chaudière dans les conditions de fonctionnement suivantes :

Débit vapeur (t/h)	Durée de fonctionnement (h/an)	Pression de vapeur (bar)	Production de vapeur (t/an)	Puissance du brûleur (kW)	Consommation gaz (MWh PCI/an)
3	4 800	15	14 400	4 100	11 804

L'optimisation de la combustion permet d'économiser du gaz :

Rendement chaudière (%)	Pertes énergie distribution (%)	Gain optimisation combustion stœchiométrique (%)	Temp. bâche alimentaire (°C)	Production annuelle de vapeur (t)	Économie de gaz	
					MWh PCI / an	MWh PCS /an
85	5	5	100	14 400	590,2	649,2

En supposant un prix du gaz à **60€ HT/MWh PCS** et un impact carbone du gaz à **239 g CO_2/kWh PCI**, l'opération génère :

Économie (€ HT/an)	Réduction CO_2 (t/an)
38 952	141

Niveau de complexité

Niveau de risque/process

Niveau d'investissement

FINANCEMENTS / AIDES FINANCIÈRES POSSIBLES

- Fiche CEE IND-UT-105 « *Brûleur micro-modulant sur chaudière industrielle* »
- Fiche CEE IND-UT-102 « *Système de variation électronique de vitesse sur un moteur asynchrone* »
- Prêt Économie d'Énergie de la BPI France : https://www.bpifrance.fr/catalogue-offres/pret-economies-denergies

SUIVI DE LA QUALITE D'EAU ALIMENTAIRE EN CHAUFFERIE VAPEUR

CONTEXTE ET ENJEUX

Dans l'industrie textile, la vapeur est un fluide indispensable pour une bonne maitrise des procédés de teinture et de traitement des fibres textiles. La consommation de gaz pour la production de vapeur peut représenter 60 % à 80 % des consommations d'un site. Par conséquent, la maitrise de la qualité de la vapeur et de l'efficacité de la chaudière sont des points clés pour garantir la production et les performances énergétiques de l'usine.

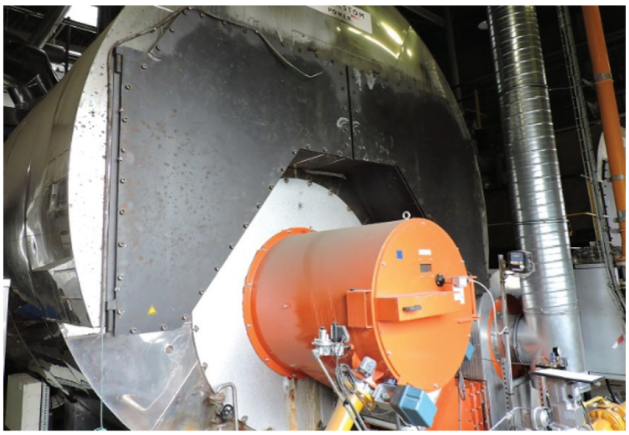


Figure 1 : Chaudière gaz de production vapeur

Figure 2 : Système complémentaire de traitement d'eau par osmose inverse

La qualité de l'eau d'alimentation de la chaudière joue sur ses performances, et il est donc important de la traiter en amont. Selon la qualité d'eau de puisage (en nappe phréatique, en rivière ou sur eau de ville), le traitement d'eau sera plus ou moins sophistiqué : si l'eau a une dureté bicarbonate élevée, il sera au préalable nécessaire d'éliminer le calcium et le magnésium (certaines teintureries ont toujours un procédé de décarbonatation à la chaux tandis que d'autres utilisent des résines de décarbonatation échangeuses d'ion). Le traitement final sera un adoucissement de l'eau sur résine, avec en complément éventuel un traitement par osmose inverse.

En complément du traitement d'eau général, des « produits de vaccination » sont injectés dans l'eau alimentaire de la chaudière par pompe doseuse afin de protéger la chaudière :

- Protection de la chaudière contre la corrosion par élimination de l'oxygène dissous (réduction chimique de l'O_2
- Dispersion et séquestration de sels insolubles
- Remise en suspension de certaines incrustations
- Protection des circuits vapeur et condensats contre le dépôt de sels volatilisés et contre le primage (entraînement de gouttelettes d'eau par la vapeur), pouvant endommager le réseau

LES AVANTAGES D'ASSURER UN SUIVI DE LA QUALITÉ DE L'EAU

- **Garantie d'une vapeur de bonne qualité :** la vapeur n'est pas constituée uniquement de molécules d'eau pure. Elle peut contenir des gouttelettes d'eau (primage), des gaz dissous (comme le CO_2 issu de la décomposition des carbonates) et, sous pression, des sels volatils entraînés (chlorures, silice). Si l'eau de chaudière est mal contrôlée, ces impuretés sont transportées avec la vapeur, ce qui dégrade la qualité des traitements thermiques et peut encrasser ou endommager les échangeurs.
- **Limitation de la corrosion et protection des réseaux :** la présence d'incondensables (air, O_2, CO_2) dans la vapeur et la concentration d'impuretés dans l'eau de chaudière augmentent fortement les risques de corrosion des parois et des réseaux vapeur-condensats. Un suivi régulier de la qualité de l'eau et des purges adaptées permettent de maintenir une eau alimentaire correcte et de prolonger la durée de vie des installations.
- **Maintien de l'efficacité par l'optimisation de la gestion des purges :** sans purge régulière, les impuretés se concentrent dans l'eau de chaudière, provoquant incrustations et baisse d'efficacité. Des purges bien réglées – purge continue de surface pour limiter l'entraînement d'impuretés et purge intermittente de fond pour extraire les boues – permettent de conserver une eau propre tout en évitant les pertes excessives d'eau chaude et d'énergie.
- **Amélioration du rendement global de la chaufferie :** une eau bien traitée limite les dépôts et incrustations dans la chaudière et dans les réseaux, favorise une transmission thermique optimale et réduit les consommations de gaz. Cela se traduit par une baisse des coûts énergétiques et une meilleure fiabilité de l'approvisionnement en vapeur pour les ateliers.

POUR PASSER À L'ACTION

- **Former et habiliter le personnel en charge de la conduite de la chaudière :** une bonne maîtrise des paramètres de combustion, du traitement d'eau et des consignes de sécurité est indispensable pour limiter les dérives de fonctionnement et éviter les risques d'incident.
- **Équiper la chaufferie d'outils d'analyse simples et fiables :** pH-mètre, conductimètre, kits de mesure d'oxygène dissous... Ces contrôles quotidiens permettent de détecter rapidement toute anomalie dans l'eau alimentaire ou dans la chaudière avant qu'elle ne génère des dépôts, de la corrosion ou une baisse de rendement.
- **Mettre en place un cahier de chaufferie et un suivi rigoureux des indicateurs :** consigner chaque jour les relevés (pression, température, consommation de gaz, qualité de l'eau, résultats de purge). Ce suivi permet de repérer les dérives et de déclencher des actions correctives sans attendre.
- **Planifier un programme de maintenance préventive :** inclure la vérification régulière des brûleurs, des régulateurs, des purgeurs de fond et de surface, ainsi que l'inspection des échangeurs. Un entretien préventif évite la baisse de performance et réduit le risque de panne coûteuse.

- **Surveiller les retours condensats et les réseaux associés :** contrôler la température et la propreté des condensats pour s'assurer qu'ils sont correctement récupérés et réinjectés dans la bâche alimentaire. Des condensats contaminés ou refroidis pénalisent directement le rendement de la chaufferie.
- **Sous-traiter certaines opérations spécialisées à une entreprise experte :** analyses chimiques approfondies, réglages fins des brûleurs, inspection réglementaire des équipements sous pression... Ces interventions externes complètent le travail interne et sécurisent le bon fonctionnement global.

INTÉRÊT TECHNICO ECONOMIQUE

Pour un prix du gaz à **60 €HT/MWh PCS** et un impact carbone du gaz à **239 g CO_2/kWh PCI**, l'opération génère, selon les scénarios, entre 2 et 6 % d'économies de gaz :

Conso d'énergie primaire (MWh PCI/an)	Scénario de gain (% conso)	Gain énergétique apporté par le traitement d'eau		Gain économique apporté par le traitement d'eau (€/an)	Coût de l'optimisation du traitement d'eau (€/an)	TRI (ans)	Économie de GES (t CO_2/an)
		MWh PCI/an	MWh PCS/an				
9 090	2	181,8	200	12 000	30 000	0,8	43,5
9 090	6	545,5	600	36 000	30 000	2,5	130

Niveau de complexité

Niveau de risque/process

Niveau d'investissement

FINANCEMENTS / AIDES FINANCIÈRES POSSIBLES

- Fiche CEE IND-UT-125 « *Traitement d'eau performant sur chaudière de production de vapeur* »

RETOUR D'ÉXPERIENCE

— VERBATIM LACOSTE, Troyes :

« Dans notre atelier de teinture, on a d'abord modernisé toute la partie traitement de l'eau : aujourd'hui, on récupère et on recycle jusqu'à 70 % des eaux de teinture. La chaleur des eaux usées est récupérée, ce qui nous permet de préchauffer les bains et d'alléger la facture énergétique. Concrètement, ça veut dire moins d'eau fraîche à chauffer et à traiter, donc des économies directes en énergie et en CO_2. Avant, toute cette chaleur partait à l'égout, maintenant elle sert à l'atelier. »

Steve Duhamel, Environmental Footprint Manager Lacoste

ISOLATION DES RÉSEAUX DE FLUIDES CALOPORTEURS

CONTEXTE ET ENJEUX

Les réseaux de distribution des fluides caloporteurs des usines ont généralement été conçus il y a de nombreuses années. Les évolutions du réseau (suppressions et ajouts de sections sans calorifugeage, travaux, apparitions de fuites), le vieillissement de l'isolant originel, le manque d'isolation sur mesure des organes de robinetterie sont autant de sources de déperditions thermiques qui s'accumulent et entraînent une surconsommation de la chaudière d'alimentation du réseau.

LES AVANTAGES D'ISOLER LES RÉSEAUX DE FLUIDE CALOPORTEUR

- **Mise en sécurité du personnel :** l'isolation des tuyauteries évite les risques de brûlures pour les opérateurs travaillant à proximité des réseaux vapeur, eau chaude ou huile thermique. C'est une mesure de sécurité essentielle dans les ateliers.
- **Amélioration du confort thermique dans les ateliers :** en été, l'isolation limite les rejets de chaleur dans l'environnement de travail. Les ateliers sont moins chauds, ce qui améliore les conditions de travail et peut réduire les besoins éventuels en ventilation ou climatisation.
- **Réduction des pertes thermiques :** en limitant les déperditions par conduction, convection et rayonnement, on conserve davantage d'énergie utile dans les fluides caloporteurs, ce qui se traduit par une baisse directe de la consommation de gaz par la chaudière.
- **Amélioration du rendement global de la chaufferie :** des condensats mieux isolés reviennent plus chauds en bâche alimentaire, réduisant l'énergie nécessaire pour les réchauffer. De même, la vapeur conserve sa qualité et nécessite moins de surconsommation pour assurer la même efficacité de chauffage dans les échangeurs.
- **Optimisation des process d'ennoblissement :** si les réseaux proches des machines (eau chaude, vapeur, huile thermique) sont mal isolés, les fluides refroidissent et nécessitent un réchauffage supplémentaire. Cela entraîne non seulement une perte d'énergie mais aussi un allongement des temps de cycle, impactant la productivité et la qualité du traitement textile.

POUR PASSER À L'ACTION

Manchon isolant spécial sur vanne vapeur 12 bars

- **Réaliser un diagnostic global** du réseau de fluide caloporteur et identifier les secteurs non isolés, avec note de calcul des gains potentiels.
- **Construire un planning** sur plusieurs années pour compléter et renouveler l'isolation existante.
- **Remplacer les isolants de plus de 40 ans** par de nouveaux isolants plus efficaces.
- **Utiliser des matelas isolants sur mesure pour les points singuliers :** vannes, filtres, robinets, clapets, séparateurs, compteurs, détendeurs, clarinettes, bouteilles, niveaux, diaphragmes, purgeurs, contrôleurs de niveau, débitmètres, sondes, soupapes, régulateurs, raccords unions...
  Pour garantir des gains à long terme, il est primordial de s'assurer que la solution installée :
  - N'affecte pas le bon fonctionnement du point singulier (ex : l'isolant n'entrave pas le fonctionnement mécanique du purgeur)
  - Permette son utilisation normale sans avoir à démonter l'isolant (ex : l'écran du compteur ou la poignée de la vanne est accessible)
  - Soit facilement démontable et remontable, sans quoi les matelas ne seront pas remontés par les équipes de maintenance
- **Après les travaux, surveiller régulièrement le réseau** pour vérifier la bonne tenue de l'isolation

INTÉRÊT TECHNICO-ÉCONOMIQUE

Prenons le cas d'un réseau vapeur/condensats avec deux chaudières vapeur, en fonctionnement 8 600 h/an. Une campagne d'examen par caméra thermique a permis d'identifier 7 éléments du réseau générant des pertes thermiques significatives. La réalisation d'une rapide note de calcul permet d'identifier l'ordre de grandeur des économies réalisables :

Libellé	Gain théorique possible (kWh_{PCI}/an)	Gain réalisable (kWh_{PCI}/an)	
1. Chaudière ALS. 1 1999	73 946	71 000	**Remarque :** L'écart entre le gain théorique et le gain réalisable prend en compte les réalités terrain telles que des contraintes techniques ou d'encombrement limitant parfois les capacités effectives d'isolation de certains équipements.
2. Chaudière ALS. 2 2000	81 852	80 500	
3. Ballon eau chaude	1 457	1 300	
4. Dégazeur	16 584	15 500	
5. 2 Nourrices vapeur 21 bars	10 750	10 500	
6. Nourrice vapeur 15 bars	8 920	8 800	
7. Ballon condensats et tuyaux	125 954	125 953	
Total	**319 481**	**313 553**	

En supposant un prix du gaz à **60 €HT/MWh PCS** et un impact carbone du gaz à **239 g CO_2/kWh PCI**, l'opération génère :

Gain total réalisable	Gain financier	Émissions évitées
345 MWh PCS/an	20 700 € HT/an	75 t CO_2/an

Niveau de complexité

Niveau de risque/process

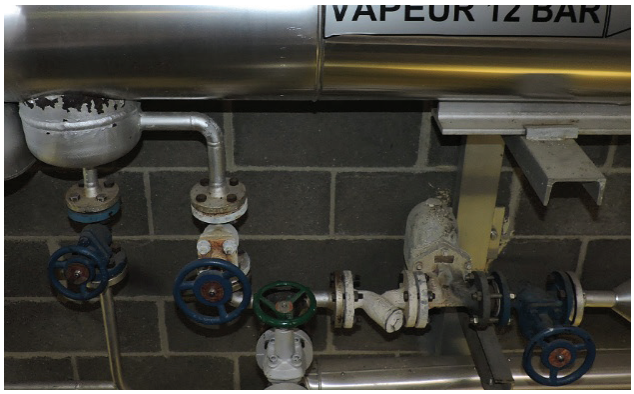
Niveau d'investissement

FINANCEMENTS / AIDES FINANCIÈRES POSSIBLES

- Fiche CEE IND-UT-131 « *Isolation thermique des parois planes ou cylindriques sur des installations industrielles* »

CONTRÔLE ET FIABILISATION DES PURGEURS DE RETOUR DE CONDENSATS

CONTEXTE ET ENJEUX



Les condensats se forment lors de la distribution de la vapeur à travers le réseau de tuyauterie et lors de son utilisation dans les échangeurs. Il est indispensable qu'ils soient évacués immédiatement des lignes et des appareils, et chaque fois que cela est possible, ils sont à récupérer dans un réseau collecteur les recyclant dans la chaudière avec leur chaleur sensible. Les condensats représentent un apport d'eau traitée pour l'alimentation de la chaudière. L'économie réalisée par cet apport d'eau et d'énergie est souvent déterminante pour justifier leur récupération.

LES AVANTAGES DE LA FIABILISATION DES PURGEURS

Avant toute chose, il est important de choisir le purgeur adapté à l'équipement et à son mode de fonctionnement. Il existe trois grandes catégories de purgeurs (mécaniques, thermodynamiques et thermostatiques) et dans chacune de ces catégories, différentes sous-typologies.

La vérification régulière des purgeurs est importante pour plusieurs raisons :

- **Garantir les performances** optimales des échangeurs et la fiabilité des procédés.
- **Préserver la durée de vie** des échangeurs, de la robinetterie et des instruments : les gouttelettes d'eau projetées à grande vitesse dans les tuyauteries entrainent une dégradation prématurée.
- **Réduire les pertes d'énergie** dues à un trop grand passage de vapeur.
- **Optimiser le process de production :** garantir un fonctionnement stable, efficace et sûr des équipements thermiques améliore la régularité de la qualité produit, diminue les pertes d'énergie et les contraintes mécaniques sur les équipements.

PASSER A L'ACTION

Les méthodes de vérification du bon fonctionnement des purgeurs sont :

- **Méthode sonore :** écouter le fonctionnement du purgeur à l'oreille, indirectement par propagation des vibrations, sur un outil ou avec un statoscope
- **Méthode par ultrason** à l'aide de matériel de mesure spécifique
- **Méthode thermographique** à l'aide d'une caméra thermique

La vérification des purgeurs est à programmer dans le planning maintenance avec des fréquences d'intervention fonction du taux d'utilisation machines, de l'ordre d'une fois par an. Il est aussi indispensable de faire une vérification après un arrêt prolongé (plusieurs semaines) d'un équipement. La réalisation d'un diagnostic purgeur sur la totalité des équipements de l'usine est fortement recommandée en complément des contrôles internes et de la maintenance.

Par ailleurs, une surveillance du volume d'eau injecté dans la chaudière alimentant le réseau, ou du volume d'eau arrivant en bâche alimentaire, peut permettre de détecter des dérives, signes de fuites vapeur sur le réseau.

INTÉRÊT TECHNICO-ÉCONOMIQUE

Prenons le cas d'une entreprise d'ennoblissement équipée d'une **chaudière produisant 2t/h de vapeur** à 10 bars effectif avec un brûleur d'une puissance de 4 100 kW, et fonctionnant **4000 h par an**. Le gain attendu pour un contrôle régulier des purgeurs est **de l'ordre de 2 % de l'énergie utile** distribuée par la chaudière.

Ainsi, en supposant un prix du gaz à **60 €HT/MWh PCS** et un impact carbone du gaz à **239 g CO_2/kWh PCI**, l'opération génère les gains suivants :

Production annuelle de vapeur	t/an	8 000
Chaleur latente de vaporisation	kWh/t_{vap}	574,5
Énergie distribuée « E utile »	MWh PCI	4 596
Gain par vérification des purgeurs		
En énergie distribuée (2 %)	MWh PCI	91,92
En énergie primaire PCI	MWh PCI	114,9
En énergie primaire PCS	MWh PCS	127,7
Prix du gaz	€HT / MWh PCS	60
Gain économique généré	€	7 662
Coût du diagnostic et des nouveaux purgeurs*	€	3 500
*** Remarque :** Le coût d'une prestation de contrôle des purgeurs est variable mais se situe entre 1000 et 1500 €/an.		
TRI	ans	0,46
Émissions évitées	t CO_2/an	27,5

Niveau de complexité

Niveau de risque/process

Niveau d'investissement

FINANCEMENTS / AIDES FINANCIÈRES POSSIBLES

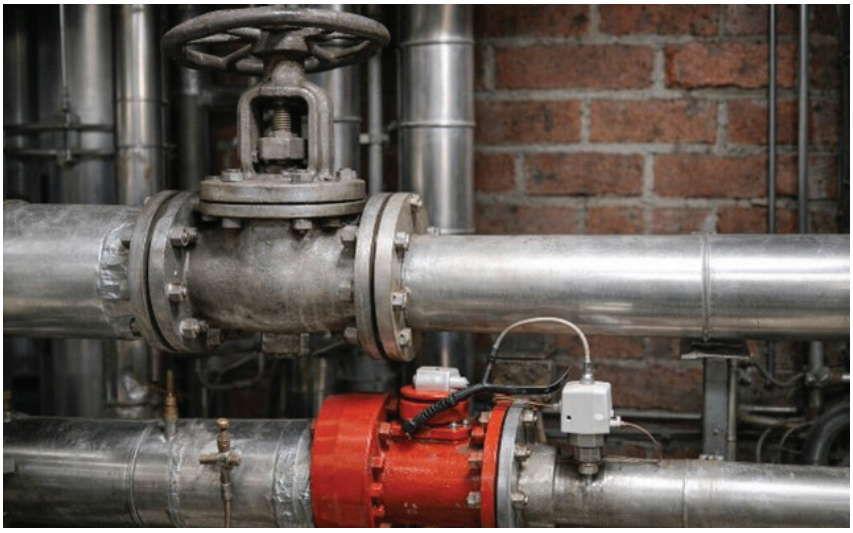
- Appel à projet ADEME « *DECARB FLASH 2025-2027* », exclusivement pour l'ajout de nouveaux purgeurs sur un réseau vapeur. Le remplacement de purgeurs existants n'est pas éligible.

COMPTAGE DE L'ÉNERGIE THERMIQUE

CONTEXTE ET ENJEUX

S'il est courant de compter les consommations globales de gaz, d'eau et d'électricité des usines, il est encore relativement peu répandu, par manque d'habitude et du fait du prix des compteurs, de disposer de compteurs spécifiques à des sections de l'usine ou des équipements clés (chaudières, machines de teinture, etc.). Cependant, il est judicieux de disposer de ces données plus détaillées pour mieux connaître, donc optimiser, ses consommations au sein de l'usine.

De nombreuses possibilités s'offrent aujourd'hui aux industriels, selon leurs besoins et leurs budgets : compteurs portatifs, compteurs en temps réel, systèmes centralisés de relève des compteurs, voire systèmes centralisés de pilotage et de régulation.



LES AVANTAGES DE MISE EN PLACE D'UN COMPTAGE PAR APPAREIL PORTABLE

L'installation d'un système de comptage sur tout ou partie des équipements de l'usine peut résulter en la réduction de leurs consommations, en particulier grâce à :

- La détection de surconsommations liées à des réglages suboptimaux, par exemple en comparant les consommations de machines similaires ou avec des consommations théoriques calculées
- La détection et la correction rapide de dérives par rapport au fonctionnement normal des machines

Elle permet aussi de mieux connaître la consommation de son procédé pour la comparer à des alternatives potentiellement moins énergivores, et investir en connaissance de cause.

POUR PASSER À L'ACTION

- **Définir le(s) indicateur(s) de performance énergétique** le(s) plus pertinent(s) pour chacun de ses procédés : rendement spécifique (kWh/T produite), COP, consommation spécifique (kWh/Nm3)...
- **Bien choisir le fluide à mesurer :** vapeur, condensats, eau, air comprimé afin de dimensionner le compteur
- **S'équiper en compteurs :**
  - **Solution intermédiaire : acheter un compteur portatif** par usine ou par groupe d'usine, et le changer de positionnement tous les 15 jours à 1 mois
  - **Solution pérenne : mettre en place de compteurs fixes**, subventionnables en partie ou entièrement.
- **Former une ou plusieurs personnes** à son utilisation
- **Réaliser un planning de comptage** des machines les plus consommatrices
- **Analyser les consommations temps réel**, voir les éventuelles dérives, analyser le pourquoi des dérives et mettre en place les correctifs
- Pour aller plus loin, **étendre cette campagne de mesure** vers les machines les moins consommatrices ou moins utilisées

Note : voici à titre indicatif l'ordre de grandeur des coûts d'achat des compteurs les plus courants :

Compteur vapeur	Compteur eau	Compteur gaz
2 000 – 3 000 €	500 – 1 500 €	1 500 – 3 000 €

INTÉRÊT TECHNICO-ÉCONOMIQUE

Prenons le cas d'une teinturerie maille à façon, qui traite 860 tonnes de produit par an en différents mélanges avec coton, viscose, polyester, polyamide et acrylique.

L'installation du dispositif de comptage lui permet de limiter les dérives de ses procédés, économisant ainsi 2 % de sa consommation d'énergie annuelle. Avec un prix du gaz à **60 €HT/MWh PCS** et un impact carbone du gaz à **239 g CO_2/kWh PCI**, l'opération génère :

Conso annuelle d'énergie primaire (MWh PCI/an)	Économie générée par l'opération		Gain économique (€/an)	Coût des compteurs et accessoires (€)	TRI (ans)	Émissions évitées (t CO_2/an)
	MWh PCI/an	MWh PCS/an				
10 441,9	208,8	229,8	13 783	8 000	0,58	50

Niveau de complexité

Niveau de risque/process

Niveau d'investissement

FINANCEMENTS / AIDES FINANCIÈRES POSSIBLES

Les achats de compteurs fixes dans le cadre plus large du déploiement d'un système de mesurage sont éligibles aux aides suivantes, sous réserve de respect de leurs conditions respectives :

- Fiche CEE IND-UT-134 « *Système de mesurage d'indicateurs de performance énergétique* »
- Prime PRO-SMEn pour la mise en place d'un système ISO 50 0001

RETOUR D'ÉXPERIENCE

— VERBATIM TEINTURES ET IMPRESSIONS DE LYON, Villefranche-sur-Saône :

« Chez TIL, on a installé des compteurs sur nos machines, surtout sur celles qui consomment le plus, comme les chaudières et les lignes de teinture. L'idée, ce n'est pas d'avoir un gros système centralisé, mais que les relevés passent directement par nous, à l'atelier.

Chaque jour, on regarde les consommations machine par machine. On compare les passes de la veille avec celles du jour, et si on voit une dérive, on peut intervenir tout de suite. Par exemple, un réglage qui fait surconsommer de la vapeur ou de l'eau, on le repère vite et on corrige dans la foulée. Avant, ce genre de dérive pouvait durer plusieurs semaines sans qu'on s'en rende compte.

Avec ce suivi de proximité, on a identifié pas mal de petits écarts qui, mis bout à bout, représentent quand même près de 2 % d'économie d'énergie sur l'atelier. Ça paraît peu, mais vu nos volumes, c'est plusieurs dizaines de MWh et des tonnes de CO_2 qu'on évite.

Les compteurs à demeure coûtent entre 2 000 et 3 000 euros pour la vapeur, un peu moins pour l'eau, donc on les a posés en priorité sur les plus gros postes. On a aussi des compteurs portatifs qu'on déplace toutes les deux ou trois semaines selon le planning. Ça demande de la rigueur, mais c'est gérable.

Pour nous, c'est surtout une question de réactivité : les données sont gérées par ceux qui connaissent les machines et qui peuvent agir directement. Ça fait partie du travail maintenant, au même titre que les contrôles de qualité. »

Jean-Michel Bertrand, Directeur
TIL

— VERBATIM TDV INDUSTRIE, Laval :

« Si le contrôle de nos consommations énergétiques a toujours été pour nous un enjeu capital, l'évolution de nos gammes avec des mélanges de fibres différentes, des process de fabrication différents et des lancements réduits en métrages nous a obligé à repenser notre suivi énergétique. Nous nous sommes lancés dans la certification ISO 50 001 afin de structurer notre mutation énergétique selon les 3 axes suivants :

1. Connaître nos consommations énergétiques pour chacune de nos lignes de production, avec une phase d'investissement pour la mise en place de compteurs (eau-gaz-électrique-vapeur)
2. Mise en place d'un suivi régulier avec interprétation de nos valeurs de consommation par la formation de référent énergétique par secteur d'activité.
3. Déploiement d'un logiciel de performance énergétique afin de calculer notre performance énergétique optimale en comparaison des performances réelles, et identifier toutes nos dérives en temps réel

Le déploiement des phases 1 et 2 nous a permis de réaliser une baisse moyenne de nos consommations électrique de 0,9 % et de 6,5 % notre consommation de gaz. »

Bruno Simon, Responsable excellence opérationnelle
TDV Industrie

VÉRIFICATION DES VANNES DE CHAUFFAGE VAPEUR

CONTEXTE ET ENJEUX

La température de traitement étant un élément fondamental de maitrise des procédés, il est nécessaire d'avoir une vanne de régulation proportionnelle – c'est-à-dire permettant une ouverture variable pour laisser passer plus ou moins de fluide en fonction des besoins – en entrée des échangeurs pour maitriser la quantité d'énergie transférée. Tout comme les purgeurs sur les réseau vapeur, les vannes de régulation de chauffage doivent être vérifiées régulièrement pour assurer un fonctionnement optimal et éviter des dérives entraînant surconsommations et risques de non-qualités.

LES AVANTAGES DE MISE EN PLACE D'UNE VÉRIFICATION RÉGULIÈRE DES VANNES DE CHAUFFAGE

- **Fiabilisation du procédé :** une vanne en bon état de fonctionnement est source de traitement réussi.
- **Réduction des pertes thermiques :** une vanne en position fermée qui laisse passer un peu de vapeur à l'arrêt du procédé est source de surconsommation d'énergie.
- **Amélioration du rendement global de chauffage**

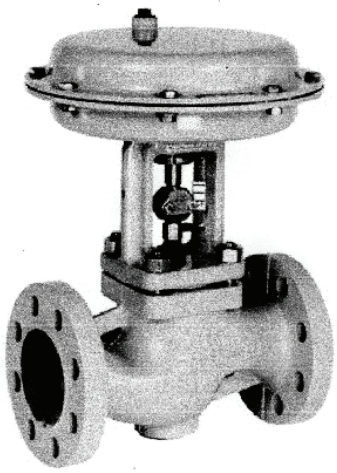


Figure 1 : Vanne de régulation chauffage vapeur

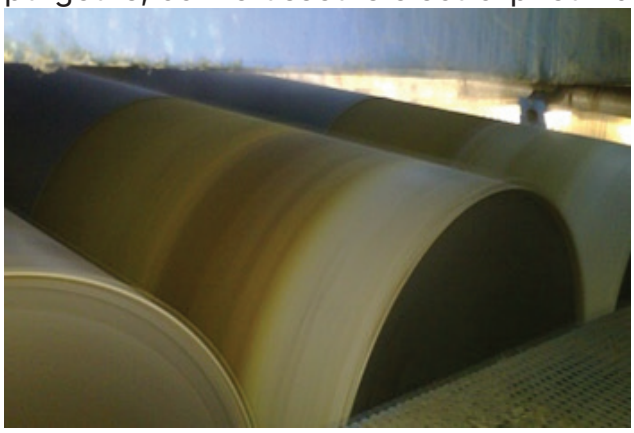
POUR PASSER À L'ACTION

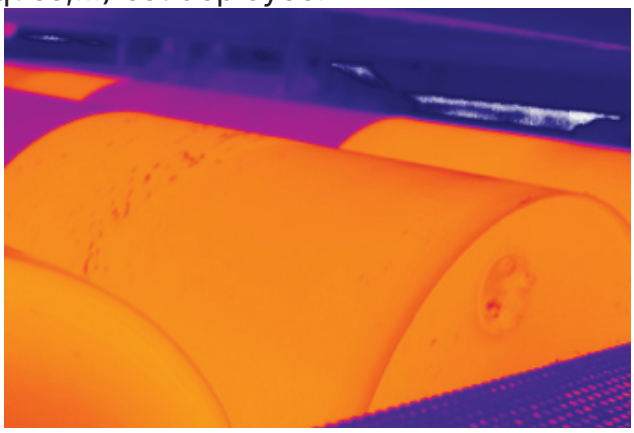
- **Surveillance de premier niveau par les opérateurs (quotidienne à chaque poste) :** contrôle visuel de l'état général des vannes (fuites éventuelles, bruits anormaux, positionnement incorrect).
- **Contrôle périodique par la maintenance (tous les 6 mois, selon le taux d'utilisation des machines) :** vérification du fonctionnement en charge, inspection des organes accessibles et réglages éventuels, conformément aux préconisations constructeurs.
- **Diagnostic approfondi (tous les 2 à 3 ans par roulement) :** démontage complet des vannes, inspection détaillée des pièces (membrane, servomoteur, opercule, joints), avec passage éventuel sur banc de test et de calibrage.

- **Renouvellement et modernisation progressive du parc :** remplacement des vannes anciennes par des modèles plus performants, voire des vannes « intelligentes » intégrant des fonctions d'optimisation énergétique.
- **Utilisation de pièces d'origine lors des remplacements :** privilégier les pièces détachées constructeur, plus fiables à long terme et garantes de la performance des vannes.

INTÉRÊT TECHNICO-ÉCONOMIQUE

Prenons un sanforiseuse à 6 cylindres (machine pour donner une stabilité dimensionnelle au tissu par traitement thermique à chaud). Le diagnostic initial permet de constater que certaines vannes vapeur qui l'alimentent restent toujours en position ouverte, et que certains cylindres présentent une température réelle de 157°C contre une température de consigne de 150°C. Une opération globale de maintenance et de remplacement de certains organes sur le circuit chauffage (vannes, détendeurs, purgeurs, convertisseurs électro-pneumatiques,...) est déployée.





Sanforiseuse observée à l'œil nu et à la caméra thermique avant opération

Pour un prix du gaz à **60 €HT/MWh PCS** et un impact carbone du gaz à **239 g CO_2/kWh PCI**, l'opération génère :

Durée de fonctionnement (h/an)	Conso d'énergie primaire (MWh PCI/an)	Gain énergétique apporté par l'opération		Gain économique apporté par l'opération (€/an)	Coût de la remise à niveau des vannes (€/an)	TRI (ans)	Économie de GES (t CO_2/an)
		(MWh PCI/an)	MWh PCS/an				
6 000	2 700	135	174,7	10 482	9 500	0,9	32

Niveau de complexité

Niveau de risque/process

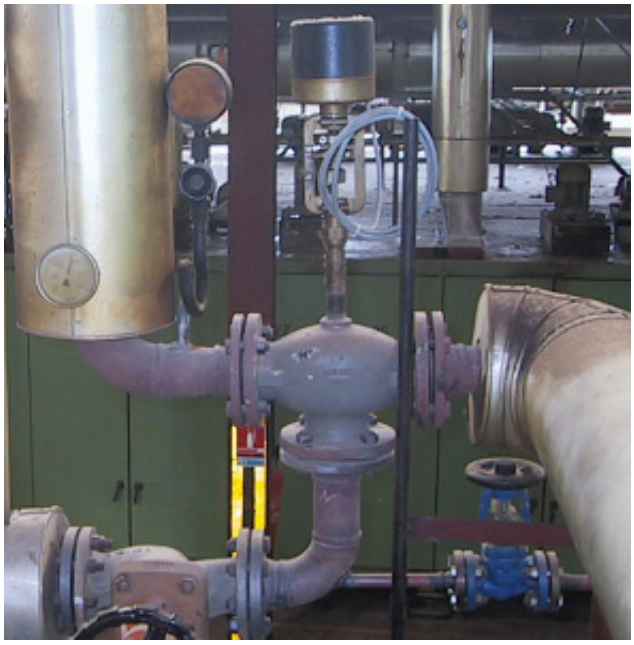
Niveau d'investissement

FINANCEMENTS / AIDES FINANCIÈRES POSSIBLES

Il n'existe pas de dispositif de financement pour cette action.

VÉRIFICATION DES VANNES DE CHAUFFAGE TROIS VOIES POUR FLUIDE THERMIQUE

CONTEXTE ET ENJEUX



En complément du chauffage des machines de teinture par vapeur et du chauffage des fours et rames par gaz direct ou indirect, certains sites disposent d'un réseau de fluide thermique, qui offre certains avantages, mais qui nécessite une chaudière spécifique. Le fluide est en général chauffé entre 240°C et 280°C et transmet sa chaleur aux procédés par le biais d'échangeurs fluide/air. On trouve parmi les procédés généralement alimentés par un réseau de fluide thermique :

- Des procédés de séchage de tissus lourds (poids >700g/m2) nécessitant une grande quantité d'énergie en peu de temps
- Des procédés continus, par exemple en enduction, avec des fours très réguliers fonctionnant 7j/7 et 24h/24h
- Des rames traitant la dentelle en grande largeur (4 m à 5m)

La température de traitement des procédés alimentés par ce réseau est réglée au moyen de vannes trois voies proportionnelles, c'est-à-dire permettant une ouverture variable pour laisser passer plus ou moins de fluide en fonction des besoins. La vanne est pilotée par une sonde Pt100 et adapte son ouverture à l'aide d'un servo-moteur, généralement électrique. Il est donc fondamental d'avoir des vannes en parfait état de fonctionnement pour bien maîtriser le procédé et pour ne pas y apporter plus d'énergie que nécessaire.

LES AVANTAGES DE MISE EN PLACE D'UNE VÉRIFICATION RÉGULIÈRE DES VANNES DE CHAUFFAGE

- **Fiabilisation du procédé :** une vanne en bon état de fonctionnement est source de traitement réussi
- **Réduction des pertes thermiques :** si une vanne se positionne trop ouverte ou trop fermée, il pourrait y avoir surconsommation d'énergie en chaufferie
- **Amélioration du rendement global de chauffage**

POUR PASSER À L'ACTION

- **Surveillance de premier niveau par les opérateurs (quotidienne à chaque poste) :** contrôle visuel de l'état général des vannes (fuites éventuelles, bruits anormaux, positionnement incorrect).
- **Contrôle périodique par la maintenance (tous les 6 mois, selon le taux d'utilisation des machines) :** vérification du fonctionnement en charge, inspection des organes accessibles et réglages éventuels, conformément aux préconisations constructeurs.
- **Diagnostic approfondi (tous les 2 à 3 ans par roulement) :** démontage complet des vannes, inspection détaillée des pièces (membrane, servomoteur, opercule, joints), avec passage éventuel sur banc de test et de calibrage.
- **Renouvellement et modernisation progressive du parc :** remplacement des vannes anciennes par des modèles plus performants, voire des vannes « intelligentes » intégrant des fonctions d'optimisation énergétique.
- **Utilisation de pièces d'origine lors des remplacements :** privilégier les pièces détachées constructeur, plus fiables à long terme et garantes de la performance des vannes.

INTÉRÊT TECHNICO-ÉCONOMIQUE

Prenons le cas d'une ligne continue de 4 fours de traitement thermique, avec à chaque compartiment une batterie de chauffage au fluide thermique équipé d'une vanne, soit un total de 30 vannes. Pour un prix du gaz à **60 €HT/MWh PCS** et un impact carbone du gaz à **239 g CO_2/kWh PCI**, l'opération génère :

Durée de fonctionnement (h/an)	Conso d'énergie primaire (MWh PCI/an)	Gain énergétique apporté par l'opération		Gain économique apporté par l'opération (€/an)	Coût de l'opération (€/an)	TRI (ans)	Économie de GES (t CO_2/an)
		(MWh PCI/an)	MWh PCS/an				
8 000	20 500	410	451	27 060	15 000	0,6	98

Note : Ce cas d'étude présente une situation où le gain d'énergie est de 2 % des consommations, soit une hypothèse conservatrice. Dans certains cas, le TRI pourra être inférieur à 0,6 ans.

Niveau de complexité

Niveau de risque/process

Niveau d'investissement

FINANCEMENTS / AIDES FINANCIÈRES POSSIBLES

Il n'existe pas de dispositif de financement pour cette action.

VÉRIFICATION DES VANNES DE REFROIDISSEMENT EN TEINTURE

CONTEXTE ET ENJEUX

De nombreux procédés nécessitent une phase de chauffage, une phase de maintien en température et une **phase de refroidissement**, l'imbrication de ces trois phases pouvant être complexe, avec différents niveaux de température, durées, vitesses de montée en température et de refroidissement.

En teinture, il y a souvent des vannes de régulation pneumatique en entrée ou sortie d'échangeur ou de serpentin pour optimiser la vitesse de refroidissement. Il est important de vérifier régulièrement ces vannes pour assurer un pilotage optimal du flux d'eau, afin d'avoir le meilleur refroidissement possible tout en récupérant le maximum d'énergie de cette eau, car ces eaux de refroidissement sont en général récupérées pour à nouveau alimenter le process de teinture.

LES AVANTAGES DE LA VÉRIFICATION RÉGULIÈRE DES VANNES DE REFROIDISSEMENT

- **Fiabilisation du procédé :** une vanne en bon état de fonctionnement permet un refroidissement efficace
- **Réduction des consommations :**
  - une vanne trop ouverte entraîne une surconsommation d'eau, qui ressort à faible température, ce qui peut aussi rendre la récupération de chaleur plus difficile.
  - si une vanne se positionne trop ouverte ou trop fermée, il pourrait y avoir surconsommation d'énergie en chaufferie
- **Amélioration du rendement global de chauffage**

POUR PASSER À L'ACTION

- **Surveillance de premier niveau par les opérateurs (quotidienne à chaque poste) :** contrôle visuel de l'état général des vannes (fuites éventuelles, bruits anormaux, positionnement incorrect).
- **Contrôle périodique par la maintenance (tous les 6 mois, selon le taux d'utilisation des machines) :** vérification du fonctionnement en charge, inspection des organes accessibles et réglages éventuels, conformément aux préconisations constructeurs.
- **Diagnostic approfondi (tous les 2 à 3 ans par roulement) :** démontage complet des vannes, inspection détaillée des pièces (membrane, raccords air comprimé, opercule...), avec passage éventuel sur banc de test et de calibrage.

- **Renouvellement et modernisation progressive du parc :** remplacement des vannes anciennes par des modèles plus performants, voire des vannes « intelligentes » intégrant des fonctions d'optimisation énergétique.
- **Utilisation de pièces d'origine lors des remplacements :** privilégier les pièces détachées constructeur, plus fiables à long terme et garantes de la performance des vannes.
- **Mesure pour la maintenance prévisionnelle :** installer deux sondes de température sur l'eau de refroidissement, l'une en entrée et l'autre en sortie de l'échangeur, afin de pouvoir détecter les dérives rapidement.

INTÉRÊT TECHNICO-ÉCONOMIQUE

Prenons le cas d'une teinturerie maille qui traite 2000 t/an de produit en différents mélanges avec coton, viscose, polyester, polyamide, acrylique.

Pour un prix du gaz à **60 €HT/MWh PCS** et un impact carbone du gaz à **239 g CO_2/kWh PCI**, l'amélioration du refroidissement **d'un pas de 2°C** génère :

Volume d'eau consommé par la teinture (m^3/an)	Volume d'eau récupéré (m^3/an)	Gain énergétique apporté par l'opération		Gain économique apporté par l'opération (€/an)	Coût de remise à niveau du refroidissement (€/an)	TRI (ans)	Économie de GES (t CO_2/an)
		(MWh PCI/an)	MWh PCS/an				
179 000	49 440	115	148,8	8 928	8 000	0,9	27,5

Notes :

- Dans certains procédés, il peut y avoir des eaux de refroidissement plus chaudes, par exemple à 70°C ou 80°C dans le procédé de teinture du polyester. Mais celles-ci sont mélangées aux autres eaux en retour, atteignant alors généralement une température moyenne de l'eau de refroidissement proche de 40°C.
- Dans certaines teintureries, des études sont menées pour envisager l'installation d'une cuve d'eau supplémentaire, à 70-80°C, afin de réaliser encore plus d'économies.

Niveau de complexité

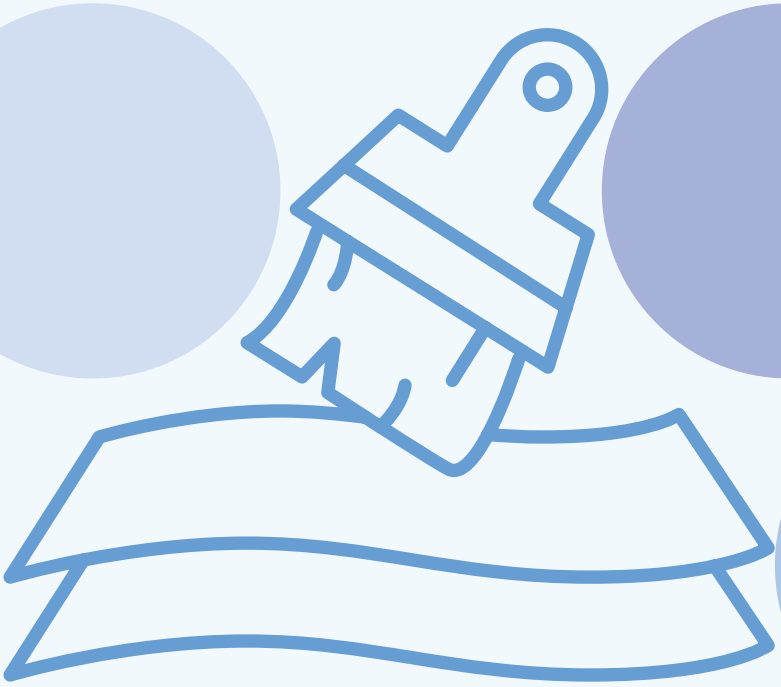
Niveau de risque/process

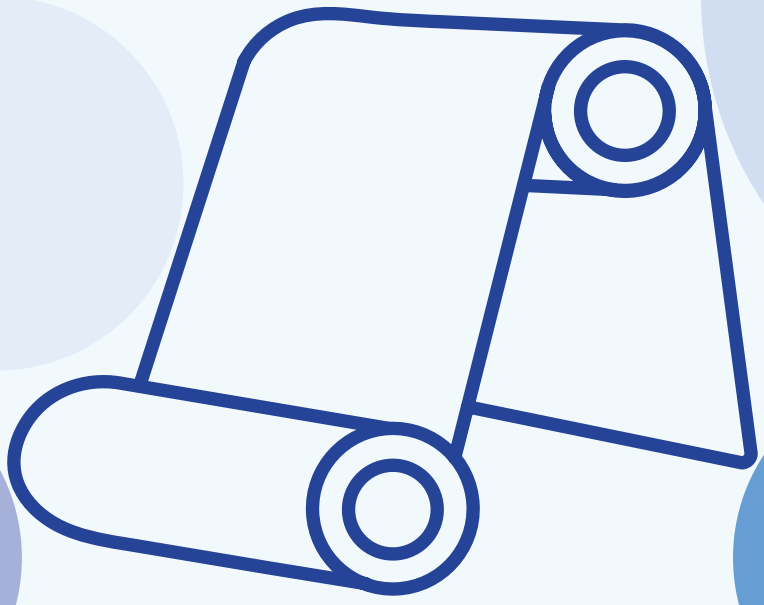
Niveau d'investissement

FINANCEMENTS / AIDES FINANCIÈRES POSSIBLES

Il n'existe pas de dispositif de financement pour cette action.

ATELIER : SÉCHAGE ET TEINTURE





ENTRETIEN DES ÉCHANGEURS DE CHALEUR POUR LIMITER L'ENCRASSEMENT

CONTEXTE ET ENJEUX

Les usines textiles comptent une multitude d'échangeurs ayant des configurations et fonctions spécifiques : batteries de chauffe pour les bains de teinture, la filature ou le tissage, serpentins inox pour les autoclaves de teinture, échangeurs à plaques ou tubulaires pour la récupération de chaleur sur effluents, échangeurs air/air pour la récupération de chaleur dans les buées de sécheurs...

Au fil de leur utilisation, ces échangeurs accumulent divers dépôts sur leurs tubes et ailettes, selon le procédé dans lequel ils sont impliqués : minéraux dans l'eau, poussières et composés organiques dans l'air, suies dans les fumées, etc. Cela réduit leur coefficient d'échange thermique, et le fluide à chauffer n'atteint plus la température souhaitée. Pour y pallier, les opérateurs sont obligés d'augmenter la température de consigne, ce qui entraîne une surconsommation d'énergie. Si l'encrassement n'est pas traité correctement, il peut même aboutir à un colmatage total.

LES AVANTAGES D'ÉCHANGEURS (ICI BATTERIES DE CHAUFFE) BIEN ENTRETENUS

Prévenir l'encrassement des échangeurs garantit de meilleurs échanges de chaleur, permettant ainsi de :

- Maintenir des conditions de chauffe stables sans devoir relever les consignes, résultant en :
  - Une meilleure homogénéité du traitement thermique
  - Une qualité de produit fini plus régulière
- Limiter les pertes d'efficacité des équipements, résultant en :
  - Une réduction des surconsommations d'énergie
  - Une réduction des temps de montée en température.

POUR PASSER À L'ACTION

- Mise en place d'un planning de surveillance visuelle régulière de l'aspect des échangeurs et des températures de consigne : une hausse de la température de consigne peut alerter sur une perte de rendement de l'échangeur
- Choix d'une méthode de nettoyage et décolmatage
- Mise en place d'un planning de nettoyage.

> **Note :** il est judicieux de profiter de la campagne de nettoyage pour vérifier et nettoyer au passage les sondes de température PT100 des équipements.

- Une fois les échangeurs propres, vérification d'une baisse de la température de consigne, témoin de l'amélioration de l'efficacité d'échange.

Note : L'entretien des échangeurs nécessite l'arrêt de la ligne. S'il existe un doute sur la pertinence de l'opération, faire une demande d'étude avec note de calcul peut permettre de démontrer la baisse d'efficacité de chauffage des batteries de chauffe colmatées.

INTÉRÊT TECHNICO-ÉCONOMIQUE

Prenons le cas de rames d'enduction chauffées au fluide thermique. Le traitement thermique est effectué entre 180°C et 200°C.

Lors d'un diagnostic global des rames de entreprise, il a été constaté qu'un certain nombre de batteries de chauffe comportaient une couche marron foncé sur les ailettes, signe d'un encrassage partiel (voir photo).

Ces échangeurs n'avaient pas été nettoyés depuis un certain temps et les opérateurs de machine augmentaient progressivement les températures de consigne pour réaliser le bon traitement du fait d'un échange de chaleur qui diminuait au fur et à mesure d'une augmentation du colmatage.

L'action de nettoyage des batteries de chauffe a permis de baisser de 10°C les températures de consigne.

Ci-dessous la répartition de l'énergie utile dans le four :

	kWh PCI	%
Énergie pour chauffer l'air	444,18	75,2
Énergie pour chauffer le tissu	112,5	19,1
Énergie pour compenser les déperditions parois	34	5,7
Total	**590,44**	**100**

Pour un prix du gaz à **60 €HT/MWh PCS** et un impact carbone du gaz à **239 g CO_2/kWh PCI**, l'opération génère :

Durée de fonctionnement (h/an)	Conso d'énergie primaire (MWh PCI/an)	Gain énergétique apporté par le nettoyage		Gain économique apporté par le nettoyage (€/an)	Coût du nettoyage (€/an)	TRI (ans)	Économie de GES (t CO_2/an)
		(MWh PCI/an)	MWh PCS/an				
7 800	5 756,79	143,919	158,3	9 498	8 000	0,8	34,4

Niveau de complexité

Niveau de risque/process

Niveau d'investissement

FINANCEMENTS / AIDES FINANCIÈRES POSSIBLES

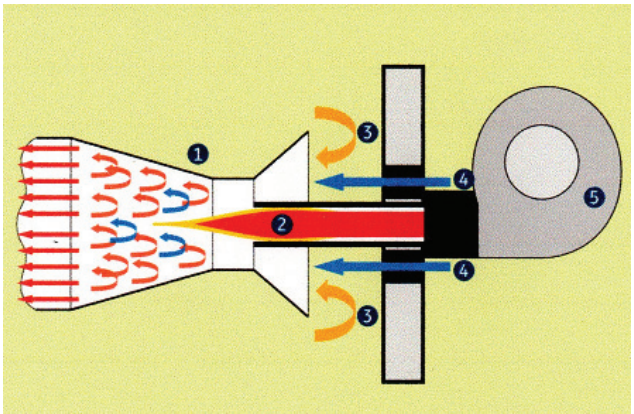
Il n'existe pas de dispositif de financement pour cette action.

ENTRETIEN DES BRÛLEURS PROCESS (HORS CHAUDIÈRES)

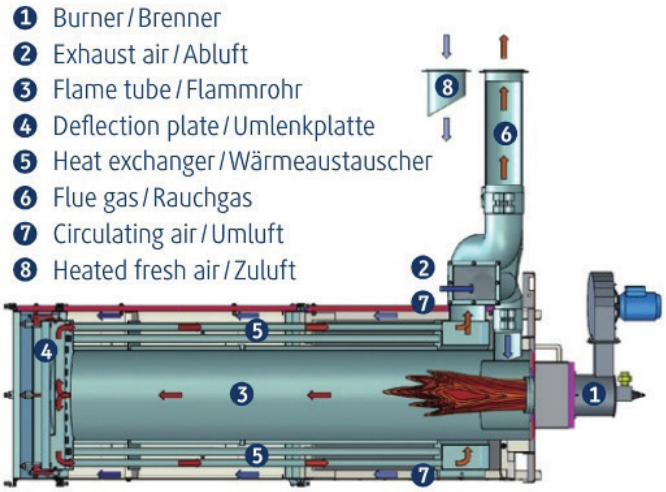
CONTEXTE ET ENJEUX

Dans le secteur textile, sur les rames et autres machines chauffées au gaz, on rencontre deux grandes familles de brûleurs :

- **Les brûleurs à chauffage direct**, les plus courants, où les produits de combustion sont mélangés avec l'air intérieur du four. Ceux-ci peuvent être différenciés suivant leur conception et le mode de diffusion de la flamme :
  - Les brûleurs torches, horizontaux ou plus rarement verticaux
  - Les brûleurs à rampe linéaire, horizontaux ou verticaux
  - Les nouvelles générations de brûleurs avec double entrée d'air secondaire et une plus grande plage de modulation de puissance



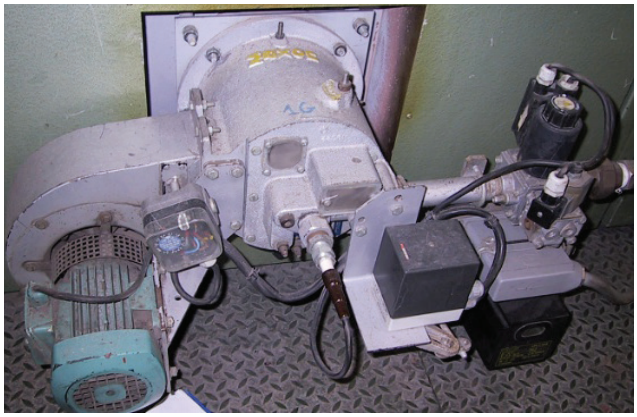
- **Les brûleurs à chauffage indirect** : les produits de combustion ne se mélangent pas à l'air dans le four mais réchauffent l'air du four au moyen d'un échangeur air/air. Ces brûleurs indirects sont utilisés quand le tissu traité peut être sensible aux produits de combustion (dentelle, soierie, etc.).



LES AVANTAGES D'UN BON ENTRETIEN DES BRÛLEURS

- **Sécurité renforcée :** des brûleurs entretenus avec des organes en bon état assurent une combustion complète et stable. Cela limite les risques de fuite de gaz, d'imbrûlés nocifs et de formation de monoxyde de carbone, contribuant à un environnement de travail plus sûr.
- **Combustion optimisée et économie d'énergie :** un brûleur propre et des filtres non colmatés permettent d'atteindre la température de flamme optimale. À l'inverse, un brûleur encrassé entraîne une mauvaise combustion, une baisse de rendement et donc une surconsommation de gaz
- **Moins d'arrêts intempestifs et de coûts de maintenance :** un entretien régulier réduit l'usure prématurée des composants et diminue la fréquence des pannes. Les équipes de maintenance peuvent se concentrer sur la prévention plutôt que sur des réparations coûteuses.
- **Qualité de production préservée :** un brûleur mal réglé ou encrassé provoque des variations de température et de combustion, sources de défauts sur les procédés d'ennoblissement ou de teinture. L'entretien garantit des conditions stables, donc une meilleure reproductibilité et moins de non-qualité.

Brûleur torche sur un four, dont la grille d'entrée d'air comburant est colmatée



Brûleur torche avec grille d'entrée d'air comburant nettoyée

POUR PASSER À L'ACTION

1. Pour les brûleurs avec filtre sur grille d'entrée d'air comburant : vérification et nettoyage **journalier**
2. Mise en place d'une visite régulière avec vérification des différents organes du brûleur et des différentes pressions différentielles de fonctionnement. La fréquence est à adapter en fonction de l'âge des brûleurs, mais **une visite tous les 6 mois a minima** est recommandée. Dans certains contrats d'entretien, les techniciens interviennent uniquement en dépannage, mais il est conseillé de faire du préventif avant la panne.
3. **Tous les deux ans :** démontage de certains organes du brûleur (pièces de sécurité, ventilateurs, entrées d'air, servomoteurs, électrodes d'allumage...) par une société de maintenance, remplacement de pièces usées si nécessaire.

Note : Même sur les brûleurs les plus récents, et surtout si l'entreprise travaille dans une ambiance un peu poussiéreuse, il est conseillé de vérifier les entrées d'air secondaires qui peuvent aussi se colmater et pénaliser le fonctionnement du brûleur.

INTÉRÊT TECHNICO-ÉCONOMIQUE

Prenons 3 scénarios de durée de fonctionnement des fours. Pour un prix du gaz à **60 €HT/MWh PCS** et un impact carbone du gaz à **239 g CO_2/kWh PCI**, l'opération génère :

Durée de fonctionnement (h/an)	Conso d'énergie primaire (MWh PCI/an)	Gain énergétique apporté par l'entretien (*2% de la conso*)		Gain économique apporté par l'entretien (€/an)	Coût de l'entretien (€/an)	TRI (ans)	Économie de GES (t CO_2/an)
		(MWh PCI/an)	MWh PCS/an				
7 800	5 756,79	115,1	126,61	7 597	6 500	0,9	27,5
5 000	3 690,25	73,8	81,2	4 872	4 500	0,9	17,6
2 500	1 845,12	36,9	40,6	2 436	2 900	1,2	8,8

Niveau de complexité

Niveau de risque/process

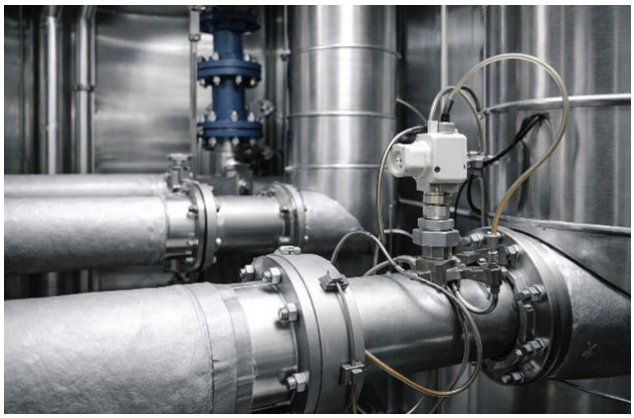
Niveau d'investissement

FINANCEMENTS / AIDES FINANCIÈRES POSSIBLES

Il n'existe pas de dispositif de financement pour cette action.

VÉRIFICATION DES SONDES DE RÉGULATION DE TEMPÉRATURE

CONTEXTE ET ENJEUX



Dans les ateliers de teinture et de séchage, la régulation de la température repose sur des sondes Pt100, dont le nombre varie grandement selon l'équipement (1-2 pour une autoclave, jusqu'à 22 pour une rame ou un four).

Ces sondes sont fiables mais, en l'absence de contrôle régulier, elles peuvent générer des erreurs ponctuelles de mesure ou des dérives progressives. Celles-ci impactent alors le procédé, pouvant entraîner une augmentation des taux de défaut et de non-qualité, une augmentation des consommations d'énergie et, dans les procédés aqueux, d'eau. Les causes fréquentes de dérives sont :

- Les vibrations (entraînant des problème de connexion),
- Les chocs thermiques,
- Les dérives sur les systèmes électroniques,
- Les conducteurs de masse défaillants,
- Différentes anomalies de connexion aux borniers et sur la sonde qui peuvent se produire après un certain nombre d'années de fonctionnement.

LES AVANTAGES D'UNE VÉRIFICATION RÉGULIÈRE DES SONDES PT100

- Réduction de la consommation d'énergie
- Diminution du taux de retouches, donc baisse des délais et des coûts de production
- Amélioration de la reproductibilité et de la qualité produit (élimination du risque de sur-sèche sur rames)
- Réduction de la consommation d'eau dans les process aqueux

POUR PASSER À L'ACTION

- **Contrôles quotidiens, à minima hebdomadaires :** vérifications de premier niveau des sondes Pt100 par les conducteurs de machine, en comparant leurs relevés avec ceux d'un thermomètre portable.
- **Contrôles annuels :** mise en place d'une maintenance prévisionnelle par le service maintenance, avec vérification de la chaîne de transmission du signal sur un banc spécialisé : câbles, connectique, transmetteurs, convertisseurs, régulateurs.
- **Mesure préventive :** Ajout d'une sonde complémentaire à côté de la sonde de régulation, jouant le rôle de sécurité et de comparatif, en particulier sur des autoclaves de teinture, dont la qualité du résultat est très sensible à la température.

INTÉRÊT TECHNICO-ÉCONOMIQUE

Prenons le cas d'une teinture pièces avec un **taux de retouches de 10 %**.

Production annuelle	Consommation de gaz	Répartition des consos gaz		Taux de retouche	Consommation gaz retouches
		Rames	Procédés aqueux		
t/an	MWh PCS/an	MWh PCS/an	MWh PCS/an	%	MWh PCS/an
2 000	2 154	1 292,4	861,6	10	107,71

En supposant un prix du gaz à **60 €HT/MWh PCS** et un impact carbone du gaz à **239 g CO_2/kWh PCI**, l'opération génère les gains suivants :

Fourchette	Prix du gaz (€HT/MWh PCS)	Gain sur la consommation de gaz due aux retouches			Budget maintenance + nouvelles sondes (€HT/an)	TRI (ans)	Émissions évitées (t CO_2/an)
		%	MWh PCS/an	€HT/an			
Basse	60	15	16,15	969	1 900	0,9	3,5
Haute		30	32,3	1 938		2	7

Niveau de complexité

Niveau de risque/process

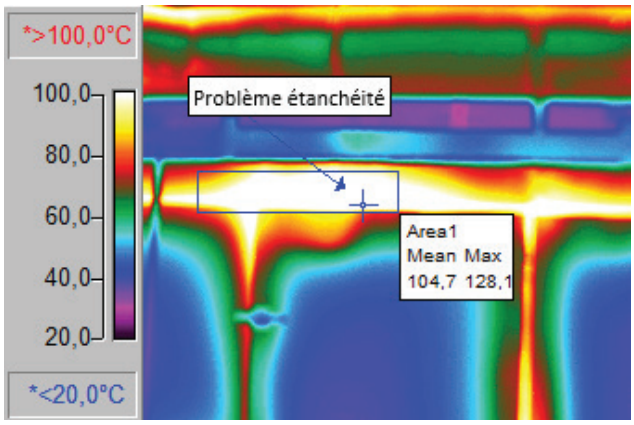
Niveau d'investissement

FINANCEMENTS / AIDES FINANCIÈRES POSSIBLES

Il n'existe pas de dispositif de financement pour cette action.

VÉRIFICATION DE L'ÉTANCHÉITE DES PORTES DE SÉCHEURS, ÉTUVES, ET RAMES

CONTEXTE ET ENJEUX



Les machines de traitement thermique comportent un certain nombre de portes pour accéder à l'intérieur de la machine. Du fait que certaines zones intérieures sont en dépression et d'autres sous pression, il faut éviter les entrées d'air frais et les fuites d'air chaud. Des fours de 18 compartiments et plus comprennent 36 à 44 portes au total, chacune munie d'un joint spécial d'étanchéité. Le contrôle régulier des joints de porte est fondamental pour assurer un traitement thermique reproductible et limiter les pertes thermiques par flux d'air intempestifs.

LES AVANTAGES D'AVOIR UNE BONNE ÉTANCHÉITE DES PORTES

- **Mise en sécurité du personnel :** il n'est pas rare de constater des brûlures sur des parois de sécheurs si de l'air chaud à 150°C s'échappe par une porte
- **Réduction des pertes thermiques :** les fuites d'air évitées sont autant d'air neuf en moins à chauffer, donc de consommations d'énergie évitées
- **Amélioration de la fiabilité du suivi et pilotage du traitement thermique :** les entrées parasites d'air frais peuvent perturber les mesures des sondes PT100
- **Amélioration du confort thermique dans les ateliers** en été

Joints neufs sur les portes d'un four de traitement thermique

POUR PASSER À L'ACTION

- **Maintenance préventive de premier niveau :** à chaque poste de travail, contrôle manuel de la fermeture des portes par le superviseur de machine : inspection visuelle, test simple avec un fil placé devant les joints. En cas de fonctionnement en continu (24h/24), compléter le contrôle par un diagnostic avec caméra thermique pour identifier les pertes invisibles à l'œil nu.
- **Maintenance préventive de deuxième niveau :** une fois par mois, réalisation d'un contrôle approfondi par le service maintenance pour détecter les usures progressives.
- **Maintenance corrective :**
  - Remplacement des joints usés ou fissurés dès que nécessaire, à planifier lors des arrêts programmés pour éviter toute perturbation de la production. Pour des portes à ouverture fréquente, privilégier des joints renforcés, permettant de limiter les dégradations prématurées et de réduire la fréquence de remplacement.
  - Réparation des portes : si la partie métallique est endommagée (chocs, voilage, déformation), l'étanchéité des joints devient inefficace. Une intervention rapide du service maintenance est nécessaire. Pour éviter les futurs chocs, installer des dispositifs de protection contre les engins de manutention, souvent responsables de ces détériorations.

INTÉRÊT TECHNICO-ÉCONOMIQUE

Prenons le cas d'un four à 18 compartiments chauffé au gaz, avec 1 brûleur torche 150 kW par compartiment. Ci-dessous le bilan thermique du four avant le remplacement des joints :

	kWh_{PCI}/h	%
Énergie pour chauffer l'air et évaporer l'eau	1 314	88,6
Énergie pour chauffer le tissu	98	6,6
Énergie pour compenser les déperditions parois	71	4,8
Total	**1 483**	**100**

Pour un prix du gaz à **60 €HT/MWh PCI** et un impact carbone du gaz à **239 g CO_2/kWh PCI**, la vérification et le remplacement des joints défectueux génère :

Durée de fonctionnement (h/an)	Conso d'énergie primaire (MWh PCI/an)	Gain énergétique apporté par l'opération		Gain économique apporté par l'opération (€/an)	Coût de l'entretien (€/an)	TRI (ans)	Économie de GES (t CO_2/an)
		(MWh PCI/an)	MWh PCS/an				
5 000	7 415	74,15	81,56	4 449	4 300	0,97	17,7

Selon le nombre de joints à remplacer, le TRI peut varier de 0,5 à 2 ans.

Niveau de complexité

Niveau de risque/process

Niveau d'investissement

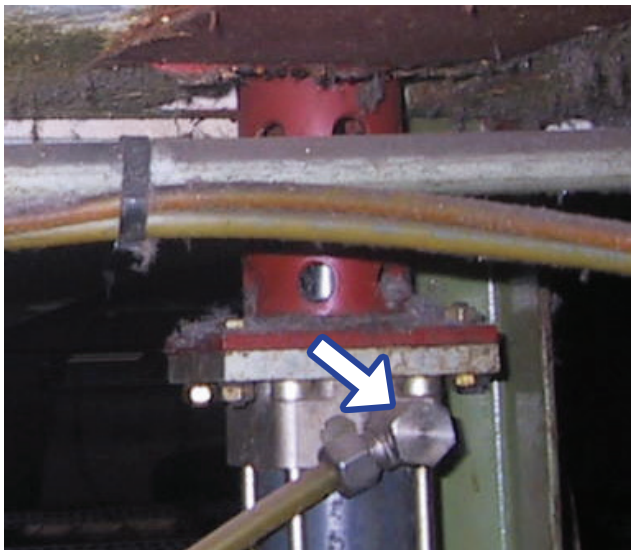
FINANCEMENTS/AIDES FINANCIÈRES POSSIBLES

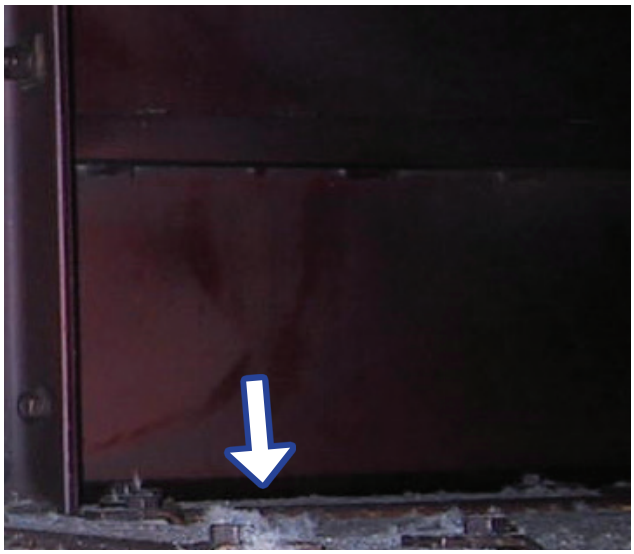
Il n'existe pas de dispositif de financement pour cette action.

VÉRIFICATION DES TRAPPES DE DÉVIATION DES FLUX D'AIR DANS LES FOURS

CONTEXTE ET ENJEUX

Dans les fours textiles utilisés pour le séchage ou le traitement thermique, l'air réchauffé est soufflé de manière uniforme sur le tissu via des buses perforées. Lorsqu'il y a un arrêt du défilement du tissu, ce flux doit impérativement être stoppé ou dévié grâce à des trappes de déviation. En effet, si l'air chaud continue à impacter le tissu immobile, il peut provoquer une surchauffe, une dégradation du textile et donc du rebut.





Ce type de système peut présenter des défaillances telles qu'un voilage des trappes ou un manque d'étanchéité, ce qui entraîne le passage d'un peu d'air surchauffé, ensuite soufflé sur le tissu. En plus d'être source de non-qualité, ces défauts entraînent une surconsommation d'énergie.

POUR PASSER À L'ACTION

- Une fois par jour : mise en place d'une vérification de premier niveau par les conducteurs de machine pour vérifier le bon fonctionnement des trappes :
  - Contrôle visuel des mauvais positionnements
  - Détection auditive des fuites au niveau des raccords
- Mise en place d'une maintenance prévisionnelle par le service maintenance : une vérification par semaine consistant à contrôler le bon positionnement et l'étanchéité des trappes, le fonctionnement des vérins et l'absence de fuites d'air comprimé, afin de s'assurer que le flux d'air est bien stoppé lors des arrêts de défilement du tissu
- Ajout de sondes de température de sécurité sur le flux d'air afin de vérifier en temps réel le bon arrêt du flux d'air lors des arrêts tissu

LES AVANTAGES D'UNE BONNE VÉRIFICATION DES TRAPPES DE DÉVIATION

- Réduction de la consommation d'énergie : une bonne étanchéité des trappes supprime le soufflage inutile d'air chaud, donc les besoins de chauffer cet air.
- Diminution du risque de non-qualité : réduction des risques de surchauffe localisée du tissu lors des arrêts de défilement, donc des taux de reprise et de rebut.
- Amélioration de la qualité du produit fini : l'évitement du passage d'air chaud non désiré supprime un facteur d'irrégularité du traitement thermique, qui devient plus fiable et plus homogène. Le procédé est alors mieux maîtrisé.

CALCUL TECHNICO ÉCONOMIQUE

Prenons le cas d'un tissu de 930g/m2 à sécher, entrant dans le four avec 40 % d'eau et séché jusqu'à atteindre 2 % d'eau. La consommation spécifique en production est calculée à 0,707 kWh/kg. La laize du tissu est de 4,25m et la production est de 11,5 m/min.

Ci-dessous la répartition de l'énergie utile dans le four sur une heure de fonctionnement :

	kWh PCI	%
Énergie pour chauffer l'air	1 877,75	97,3
Énergie pour chauffer le tissu	35,6	1,8
Énergie pour compenser les déperditions parois	16	0,8
Total	**1 929,14**	**100**

Pour un prix du gaz à **60 €HT/MWh PCI** et un impact carbone du gaz à **239 g CO_2/kWh PCI**, la vérification et le remplacement des joints défectueux génère :

Durée de fonctionnement (h/an)	Conso d'énergie primaire (MWh PCI/an)	Gain énergétique apporté par l'opération (*2% de la conso*)		Gain économique apporté par le nettoyage (€/an)	Coût du nettoyage (€/an)	TRI (ans)	Économie de GES (t CO_2/an)
		(MWh PCI/an)	MWh PCS/an				
5 000	9 645,7	192,9	212,2	12 732	5 000	0,4	46

Niveau de complexité

Niveau de risque/process

Niveau d'investissement

FINANCEMENTS/AIDES FINANCIÈRES POSSIBLES

Il n'existe pas de dispositif de financement pour cette action.

MAINTIEN D'UNE PRESSION APPROPRIÉE DANS LES FOURS ET RAMES EN THERMOFIXATION

CONTEXTE ET ENJEUX

Sur une rame ou four de traitement thermique, de l'air chauffé au gaz direct de 180°C à 195°C est soufflé uniformément sur le tissu, celui-ci défilant à 25-35 m/min pour ne pas être brûlé. Ce traitement thermique permet de stabiliser dimensionnellement le tissu pour les traitements ultérieurs.

Les ventilateurs de soufflage, pilotés par des variateurs de vitesse, permettent d'optimiser les vitesses d'air soufflant sur le tissu. Comme le traitement thermique brûle certains produits contenus dans le tissu, il est nécessaire d'évacuer l'air chargé de COV (fumées) vers l'extérieur ou vers un filtre spécial qui absorbe les COV. Les ventilateurs d'extraction sont également sur variation de vitesse.

Les rames sont équipées de volets de réglage du débit d'air sur chaque gaine de compartiment. Ceux-ci sont en général maintenus en réglage d'usine, laissés grand ouverts, ou non optimisés, les opérateurs et responsables de production ayant pris des marges de sécurité qualitatives pour évacuer le maximum de fumées contenues dans l'air de traitement. Cette sur-évacuation d'air entraîne un important appel d'air neuf à chauffer, donc une surconsommation d'énergie.

INTÉRÊT D'OPTIMISER LES PRESSIONS DANS LES RAMES DE TRAITEMENT THERMIQUE

- **Fiabilisation et amélioration de la qualité du procédé :** l'optimisation des pressions ou dépressions contribue à homogénéiser les conditions de traitement dans la rame, réduisant les variations et assurant une qualité textile plus régulière. Dans certains cas, cette démarche permet également de mieux comprendre le comportement du procédé et d'identifier des leviers supplémentaires d'amélioration.
- **Réduction de la consommation d'énergie nécessaire pour atteindre la thermofixation cible :** une meilleure maîtrise de l'aéraulique de la rame par la mesure et le réglage des dépressions aux points stratégiques permet de limiter l'extraction d'air inutile et donc de diminuer la demande energétique de la thermofixation.

POUR PASSER À L'ACTION

- **Installer des capteurs de dépression aux points critiques (entrée et sortie tissu) :** ces mesures permettent de vérifier si la pression est adaptée ; une dépression trop forte entraîne une sur-extraction d'air chaud et donc une surconsommation d'énergie.
- **Régler progressivement les volets et variateurs de vitesse des ventilateurs d'extraction :** fermer partiellement les registres ou abaisser la fréquence moteur afin de diminuer les débits d'air, tout en maintenant une extraction suffisante pour évacuer les fumées de procédé.
- **Corréler les réglages avec la qualité produit et la sécurité atelier :** chaque ajustement doit être validé en lien avec la production et le service HQSE pour s'assurer que le tissu garde ses propriétés (pas de surchauffe, pas de défauts) et que les émissions sont correctement évacuées.
- **Mettre en place un suivi en temps réel des consommations :** associer les données de dépression avec les relevés de consommation gaz/énergie afin de détecter immédiatement les dérives et pérenniser les réglages économes en énergie.

Note : La mise en œuvre nécessite une étroite collaboration avec le service HQSE et la Direction production pour surveiller l'impact sur l'aspect qualitatif du tissu et sur la qualité des rejets gazeux.

INTÉRÊT TECHNICO-ÉCONOMIQUE

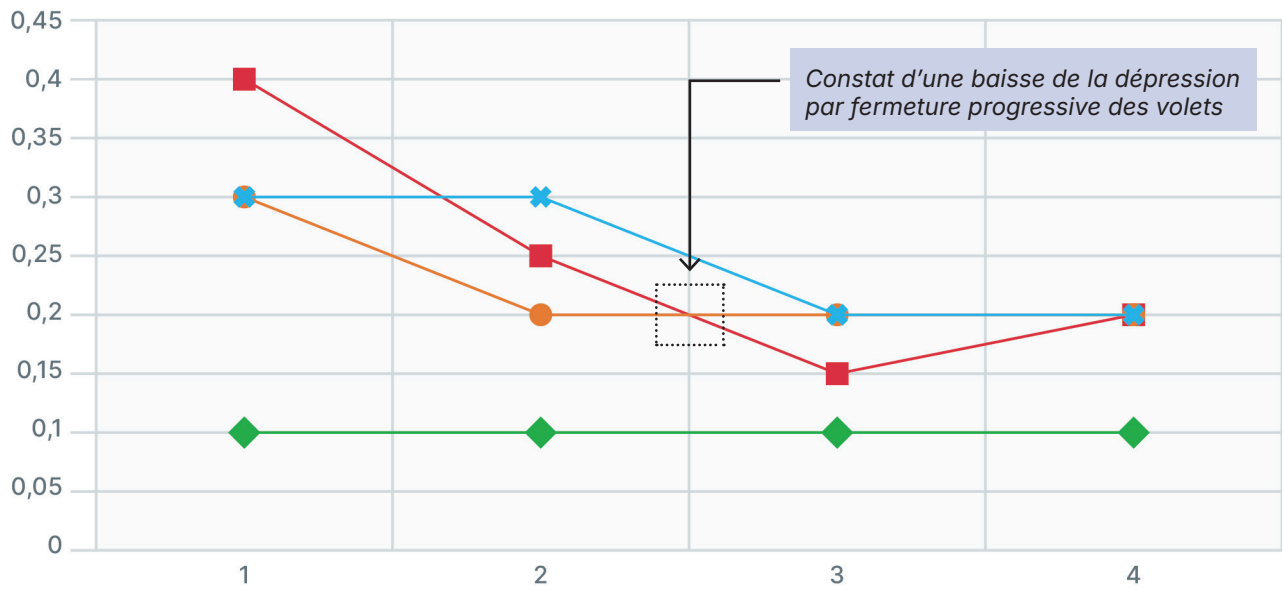
Sur une rame de traitement thermique à 5 compartiments équipée de variateurs de fréquence sur chaque ventilateur, un essai est réalisé pour diminuer les débits d'extraction d'air :

- Les réglages des variateurs de fréquence de commande des ventilateurs d'extraction sont figés
- Les registres d'extraction d'air sont légèrement fermés : passage de 80 % à 60 % d'ouverture
- La température de traitement est abaissée de 192°C à 185°C.

Une visualisation temps réel de la consommation de gaz convertie en kWh est également affichée sur l'écran de supervision de la rame. Une mesure de la dépression est réalisée au niveau des fentes d'entrée et de sortie de tissu, qui permettent l'entrée d'air neuf. Sur la courbe ci-dessous, l'abscisse représente les numéros d'essai et l'ordonnée la mesure de variation de pression en mmCE.

Mesure de la dépression entrée machine en fonction des réglages

	Entrée		Sortie	
	droit	gauche	droit	gauche
Valeur de base	0,1	0,4	0,3	0,3
Réglage N°1	0,1	0,25	0,2	0,3
Réglage N°2	0,1	0,15	0,2	0,2
Réglage N°3	0,1	0,2	0,2	0,2

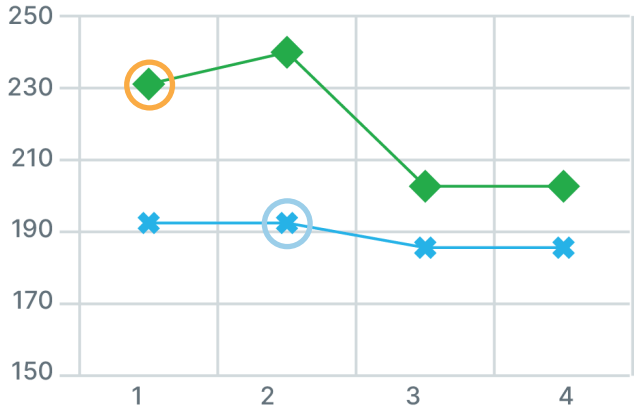


À la suite de cet essai, l'installation d'un capteur de mesure de dépression a permis de jouer sur la variation de fréquence des ventilateurs pour diminuer la dépression.

Action sur la variation de fréquence pour diminuer la dépression

Valeurs d'énergie :
variation d'enthalpie de l'air en KJ/Kg air sec

	Valeur en KJ/Kg air sec	température traitement
Valeur de base	230,3	192 matin
Réglage N°1	240,5	192
Réglage N°2	200,9	185 après-midi
Réglage N°3	200,9	185



Avant optimisation		Après optimisation		
Débit d'extraction (kg air sec/h)	Conso d'énergie (kWh PCI/h)	Débit d'extraction (kg air sec/h)	Conso d'énergie (kWh PCI/h)	Gain sur la consommation (%)
12 618	807	10 392	580	28,1

Pour un prix du gaz à **60 €HT/MWh PCS** et un impact carbone du gaz à **239 g CO_2/kWh PCI**, l'opération génère :

Durée de fonctionnement (h/an)	Conso d'énergie primaire (MWh PCI/an)	Gain énergétique apporté par l'optimisation		Gain économique apporté par l'optimisation (€/an)	Coût des sondes et de l'installation (€/an)	TRI (ans)	Économie de GES (t CO_2/an)
		MWh PCI/an	MWh PCS/an				
2 250	807	227	249,7	14 982	15 000	1,0	54,2

Ce TRI est calculé dans une situation idéale. Certains traitements génèrent des fumées nécessitant un minimum d'ouverture des volets pour éviter le dégagement de fumées de l'atelier. Dans ces cas-là, l'optimum théorique ne sera pas atteignable, et on pourra plutôt viser des TRI de l'ordre de 2 à 3 ans.

Niveau de complexité

Niveau de risque/process

Niveau d'investissement

FINANCEMENTS/AIDES FINANCIÈRES POSSIBLES

Il n'existe pas de dispositif de financement pour cette action.

PILOTAGE DE L'EXTRACTION D'AIR DES RAMES DE SÉCHAGE PAR MESURE D'HYGROMÉTRIE EN TEMPS RÉEL

CONTEXTE ET ENJEUX

Dans une rame de séchage, de l'air chaud est soufflé uniformément sur le tissu afin d'évaporer l'eau. Le mélange air/vapeur est évacué vers l'extérieur par des gaines d'extraction d'air, de manière régulière afin de ne pas saturer l'intérieur du four en humidité. Le nombre de gaines d'extraction peut varier selon le nombre de compartiments de la rame, et certaines machines modernes comportent des circuits sophistiqués pour optimiser les flux d'air.

Des fiches de production fixent les paramètres de réglage des variateurs des ventilateurs d'extraction d'air et de soufflage pour obtenir la qualité désirée. Pour autant, en l'absence d'information en temps réel sur le taux d'humidité par compartiment, le procédé est rarement optimisé. Souvent, les volets d'extraction et de soufflage restent en position fixe, selon leur réglage d'origine, voire dans les pires cas, grands ouverts, entraînant un renouvellement d'air excessif, donc une surconsommation importante.

LES AVANTAGES D'UNE EXTRACTION D'AIR PILOTÉE PAR MESURE D'HYGROMÉTRIE EN TEMPS RÉEL

- **Fiabilisation du procédé :** une bonne connaissance des taux d'humidité et une surveillance en temps réel permettent de détecter les éventuelles dérives et d'agir avant d'avoir des défauts sur le tissu.
- **Réduction de la consommation d'énergie** de séchage en évitant le renouvellement d'air excessif, et donc en améliorant la consommation spécifique du four (kWh / kg d'eau évaporé)

POUR PASSER À L'ACTION

- **Installer des sondes d'hygrométrie en sortie de rame, connectées au système de régulation de la rame :** les sondes mesurent en continu le taux d'humidité de l'air extrait. La vitesse des ventilateurs d'extraction est alors ajustée automatiquement en fonction du taux d'humidité réel, évitant une sur-extraction inutile.

- **Programmer des seuils de consigne adaptés :** définir les valeurs d'hygrométrie qui garantissent un séchage optimal sans surconsommation, pour maintenir la qualité textile tout en économisant de l'énergie.
- **Assurer un suivi et une maintenance régulière des capteurs :** des sondes encrassées ou mal calibrées faussent la mesure, ce qui peut conduire à une mauvaise régulation et donc à des dérives de consommation.

INTÉRÊT TECHNICO-ÉCONOMIQUE

Exemples de positionnement de volets optimisés suivant des graduations

Prenons le cas d'une rame 2 000 kW à 8 compartiments, chauffés au gaz direct. Dans chaque compartiment, est installé un capteur d'humidité qui remonte en temps réel l'information à un système centralisé. Le système permet de suivre les consommations et de piloter les volets d'extraction.

Pour un prix du gaz à **60 €HT/MWh PCS** et un impact carbone du gaz à **239 g CO_2/kWh PCI**, l'opération génère :

Durée de fonctionnement (h/an)	Conso d'énergie primaire (MWh PCI/an)	Gain énergétique apporté par l'opération		Gain économique apporté par l'opération (€/an)	Coût de l'opération (€/an)	TRI (ans)	Économie de GES (t CO_2/an)
		MWh PCI/an	MWh PCS/an				
5 000	3 175	317,5	349,25	20 955	18 000	0,86	76

Niveau de complexité

Niveau de risque/process

Niveau d'investissement

FINANCEMENTS/AIDES FINANCIÈRES POSSIBLES

Il n'existe pas de dispositif de financement pour cette action.

ADOPTION DE COLORANTS TRI-RÉACTIFS

CONTEXTE ET ENJEUX

Dans les entreprises d'ennoblissement, les matières à traiter sont multiples et diverses par leur nature chimique, leur composition et leur construction. Les traitements de préparation, teinture, et finissage sont donc propres à l'article textile à ennoblir. Les paramètres à prendre en compte sont principalement :

Fibre	• Nature chimique (cellulosique, protéique ou synthétique) • Composition / mélange. • Morphologie (cristallinité, porosité). • Propriétés de surface (apprêts)
Type de textile	• Construction (tissé/tricoté). • Poids/épaisseur • Préparation (blanchiment, mercerisage)
Type de colorant	• Type et affinité • Concentration
Procédé	• Température, pH, temps, rapport de bain • Agitation, sels, alcali, agents auxiliaires
Environnement	• Qualité de l'eau, rinçage • Pollution résiduelle

Les procédés, machines, types et temps de traitement, produits et auxiliaires peuvent avoir des répercussions importantes sur les consommations énergétiques. L'ennoblisseur se doit donc d'être dans une démarche prospective et à l'écoute des innovations producteurs de colorants et produits.

Ainsi en teinture, de **nouvelles générations de colorants, dits tri-réactifs**, sont capable de former trois liaisons covalentes avec les fibres cellulosiques, accroissant leur chance de fixation sur la fibre par rapport aux colorants classiques, mono ou bifonctionnels.

AVANTAGES D'INTÉGRER LES COLORANTS TRI-RÉACTIFS

Taux de Fixation : L'évolution de ces colorants permettent un meilleur rendement du colorant en minimisant la part hydrolysée. Le taux de fixation a une forte incidence sur l'intérêt technico-économique.

1952	**Colorant mono-réactif**	Rendement 50 %	35-50 % non fixé
1975	**Colorant bi-réactif**	Rendement 75 %	15-30 % non fixé
2010	**Colorant tri-réactif**	Rendement 90 %	<5 % non fixé

Bien qu'ils puissent être plus chers au kilo, les colorants tri-réactifs permettent des économies substantielles sur l'ensemble du processus de teinture. Plusieurs facteurs y contribuent :

- **Réduction du temps de cycle :**
  - Diminution du temps de traitement global grâce à une diffusion et une fixation plus rapide du colorant, et à des rinçages écourtés (taux de fixation plus important donc moins de colorants à rincer). Le passage d'un colorant réactif classique à un colorant tri-réactif peut diminuer la durée du cycle complet de teinture de 10h à 9h.
  - Taux de reprise moins important (réduction des corrections/re-teintures) : la productivité peut augmenter de +25 % en volume, du fait de ces cycles plus courts et d'un moindre taux de reprises.
- **Économie de consommables chimiques :** certains auxiliaires deviennent inutiles, tout en obtenant la même intensité de teinte.
- **Économies d'eau :** dans les meilleurs cas, on peut passer de 100 L/kg de textile avec un colorant réactif classique à 20 L/kg avec un colorant tri-réactif, en intégrant la diminution d'utilisation d'eau en phase de rinçage.
- **Économies d'énergie :** la teinture peut être réalisée à 60°C contre 80-95°C avec des réactifs classiques. La réduction des consommations de vapeur peut générer plus de 50 % d'économies sur le cycle.
- **Réduction du besoin en traitement d'effluents :** la charge polluante moindre signifie des coûts réduits de traitement des eaux usées (moins de colorant à décolorer, moins de boues à gérer, etc.). Cela peut éviter ou réduire certains investissements en dépollution (coût d'utilisation de produits chimiques de traitement, coût d'éventuelles taxes environnementales sur les rejets, etc.).
- **Réduction des non-qualités :** les colorants tri-réactifs affichent une excellente stabilité vis-à-vis des variations de paramètres (rapport de bain, pH, température), ce qui assure des lots plus réguliers et évite des accidents de teinture coûteux. La meilleure reproductibilité et le taux de fixation élevé garantissent souvent une teinte conforme du premier coup (« right-first-time »). Ainsi, on diminue les coûts cachés liés aux non-qualités (re-teinture d'un lot non conforme, corrections de nuance, pertes de matière).

Un fabricant propose un tableau comparatif montrant les avantages d'un colorant tri-réactif :

Procédés	Durée	Eau	Vapeur
Conventionnel avec D.R.	10h30	90L/kg	7,5 kg/kg
Colorant tri-réactif	7h30	48L/kg	3,5 kg/kg
Bénéfices	~ 30 %	~ 50 %	~ 55 %

En somme, si l'on considère le coût global de l'opération de teinture (colorant, eau, énergie, main d'œuvre, traitement des déchets), les colorants tri-réactifs se révèlent souvent plus économiques que les colorants classiques. Ils permettent de réduire les coûts de production par kg de textile, tout en augmentant la productivité et en améliorant la conformité du produit.

POUR PASSER À L'ACTION

1. **Identification des colorants mono-réactifs actuellement utilisés** (natures chimiques, fournisseurs, rendements de fixation, prix au kg, affinité).
2. **Sélection des colorants tri-réactifs** afin de choisir des équivalents tri fonctionnels compatibles, stables et plus performants.
3. **Essais en laboratoire** pour valider la compatibilité technique en conditions réduites.
4. **Tests semi-industriels & industrialisation pilote** afin de transposer les recettes en machine réelle sans perturber la production.
5. **Adaptation des protocoles & formation** pour sécuriser le changement auprès des opérateurs et du service qualité.
6. **Évaluation environnementale & économique** pour mesurer les gains de la migration.
7. **Déploiement progressif en production**, migration par lots et suivi des retours.

INTÉRÊT TECHNICO-ÉCONOMIQUE

L'adoption de colorants tri-réactifs permet d'économiser 3,5 kg de vapeur (6 bar) par kg de textile teint. Dès lors, pour un prix du gaz à **60 €HT/MWh PCS** et un impact carbone du gaz à **239 g CO_2/kWh PCI**, l'opération génère :

Tonnage de production (t/an)	Économie de vapeur (t/an)	Gain énergétique apporté par l'opération		Gain économique apporté par l'opération (€/an)	Surcoût du colorant (€/an)*	TRI (ans)	Économie de GES (t CO_2/an)
		MWh PCI/an	MWh PCS/an				
100	350	201,1	221,2	13 300	8 550	0,64	48,1
500	1 750	1 005,4	1 105,9	66 400	27 000	0,40	240,3
1 000	3 500	2 010,8	2 211,8	132 700	54 000	0,40	480,6

Chaleur latente de vaporisation de l'eau : 574,5 kWh / t_{vapeur}

Note : Les colorants tri-réactifs sont compatibles avec tous les équipements existants (cuves, jets, autoclaves, etc.), leur adoption ne nécessite donc pas d'investissement.

Niveau de complexité

Niveau de risque/process

Niveau d'investissement

Note : Les colorants tri-réactifs sont compatibles avec tous les équipements existants (cuves, jets, autoclaves, etc.), leur adoption ne nécessite donc pas d'investissement.

FINANCEMENTS / AIDES FINANCIÈRES POSSIBLES

Il n'existe pas de dispositif de financement pour cette action.

RETOUR D'EXPÉRIENCE

— VERBATIM MAILLE VERTE VOSGIENNE, Saint-Nabord :

« Dans notre usine de teinture et d'ennoblissement, on a décidé de passer aux colorants tri-réactifs pour optimiser nos procédés. Cela a changé beaucoup de choses.
D'abord, on a gagné en reproductibilité : les teintes sortent justes du premier coup, ça évite de refaire des bains ou de corriger les nuances. Résultat : moins de pertes, moins de temps perdu et une qualité plus régulière pour nos clients.
Ensuite, les cycles de teinture sont plus courts. Là où on mettait environ 10 heures par lot, on tourne maintenant autour de 9 heures. Ça paraît peu, mais sur une journée complète, ça nous permet de traiter plus de lots avec les mêmes machines. On estime la hausse de productivité entre 20 et 25 %.
Côté consommations, on a fait un vrai bond en avant : beaucoup moins d'eau grâce à des rinçages réduits, moins de sels et d'auxiliaires, et surtout une économie d'énergie de plus de 50 % puisque les teintures se font à plus basse température. Vu le prix actuel de l'énergie, c'est un avantage énorme, sans parler de la baisse de nos émissions de CO_2.
Et tout ça sans investissement lourd : on n'a pas eu besoin de changer nos machines, juste d'adapter nos recettes et de former nos équipes. Le retour sur investissement est quasi immédiat, et les gains se voient dès les premières productions.
En résumé, on produit mieux, plus vite et en consommant beaucoup moins de ressources. Pour nous, c'est à la fois un levier de compétitivité et une vraie avancée pour réduire notre impact environnemental. »

Rémi Lallement, Sales & Marketing, R & D
Maille Verte Vosgienne

— VERBATIM LACOSTE, Troyes :

« Dans notre atelier de teinture, plusieurs changements ont été opérés ces dernières années. On travaille sur les recettes elles-mêmes. Les nouveaux colorants se fixent mieux, donc on a moins de rinçages à faire et moins de produits à ajouter. On a même testé des gammes de colorants naturels, et ça fonctionne plutôt bien sur certaines teintes. »

Steve Duhamel, Environmental Footprint Manager
Lacoste

MANAGEMENT ET GESTION

PLANIFICATION DES OPÉRATIONS PAR TYPE DE TRAITEMENT

CONTEXTE ET ENJEUX

Les entreprises du secteur de la teinture et de l'ennoblissement textile peuvent être intégrées ou façonnières. Les capacités de planification des opérations sont limitées pour le façonnier, qui répond chronologiquement à ses demandes clients. L'intégré, lui, peut organiser sa production en fonction du type de traitement thermique nécessaire. Cela permet de limiter les besoins de faire varier la température de consigne sur le matériel fonctionnant en continu, comme les rames, générant ainsi des économies d'énergie. Cette approche est d'autant plus pertinente et facile à déployer si l'entreprise est munie de plusieurs rames.

AVANTAGES D'ORGANISER LA PRODUCTION

Dans le cas des rames textiles, différents types de traitement thermique peuvent être appliqués, avec des températures de traitement variant entre 100°C et 200°C :

- Le séchage des tissus ou des tricots
- La thermo-fixation des matières synthétiques comme le polyamide, le polyester
- La polymérisation ou condensation de résines déposées sur le support textile

En organisant la production par type de traitement thermique, on génère plusieurs bénéfices :

- **Optimisation de l'utilisation de la rame** par les réglages appropriées
- **Augmentation de la productivité :** moins de temps de réglage, de phases de transition de température...
- **Gains d'énergie par les échangeurs :** regrouper les traitements par températures homogènes évite les variations de consignes, sources de surconsommation et de pertes de productivité. Dédier chaque rame à une plage de températures maximise les économies d'énergie et facilite la conduite des équipements.

POUR PASSER À L'ACTION

- Organiser et planifier la production en fonction du type et du nombre de rames, et des gammes de température respectives des traitements à réaliser
- Idéalement, lorsque le site dispose de plusieurs rames, attribuer une fonction unique à la rame plutôt que de diversifier les traitements thermiques sur une même rame.

INTÉRÊT TECHNICO-ÉCONOMIQUE

Pour une production de **500 t/an**, prix du gaz à **60 €HT/MWh PCS** et un impact carbone du gaz à **239 g CO_2/kWh PCI**, l'opération génère :

Consommation spécifique des rames (kWh_{PCS}/kg)		Gain sur la consommation spécifique (kWh_{PCS}/kg)	Gain attribuable au changement d'organisation (kWh_{PCS}/kg) : 50 %	Gain énergétique apporté par l'opération (MWh PCS/an)	Gain économique apporté par l'opération (€/an)	Économie de GES (t CO_2/an)
Sans organisation par type de traitement	Avec organisation par type de traitement					
5,388	4,244	1,144	0,572	286	17 160	62

Niveau de complexité

Niveau de risque/process

Niveau d'investissement

Dans le cas d'une simple réorganisation, l'investissement est nul et le gain financier immédiat.

Si la réorganisation aboutit au choix d'investir dans une nouvelle rame, l'investissement sera bien plus important.

FINANCEMENTS/AIDES FINANCIÈRES POSSIBLES

Il n'existe pas de dispositif de financement pour cette action.

RETOUR D'EXPÉRIENCE

— VERBATIM TEINTURE ET APPRÊTS DANJOUX, Le Coteau :

« Chez TAD, on faisait passer auparavant différentes matières sur la même rame : polyester, polyamide, coton… À chaque changement, les réglages manuels des brûleurs et des clapets n'étaient pas systématiquement repris. On voyait des écarts de température allant jusqu'à 5 °C, avec une surconsommation de gaz et des défauts à corriger. Sur une semaine, ça pouvait représenter 10 % de pertes de productivité et plusieurs heures de re-passage inutile.
Depuis qu'on a décidé de spécialiser une rame uniquement pour les fibres synthétiques, la situation s'est nettement améliorée. Les conditions thermiques sont stables, la rame tourne sous légère pression et on maîtrise mieux le process. Résultat : on a réduit notre consommation énergétique de 6 % selon les séries, et on sort en moyenne un passage de plus par poste.
En pratique, ça veut dire que pour la même consommation, on traite plusieurs centaines de mètres supplémentaires chaque semaine, avec moins de rebuts. Ce gain de productivité s'accompagne directement d'une baisse de notre intensité énergétique et de nos émissions de CO_2. C'est une bonne pratique simple à mettre en œuvre, qui améliore à la fois nos coûts de production et notre performance carbone. »

José Bairros, Directeur Général
TAD

FORMATION ET ACCOMPAGNEMENT DES ÉQUIPES

CONTEXTE ET ENJEUX

La conjonction de départs massifs des plus de 60 ans, d'une baisse d'attractivité du secteur en formation initiale et de l'héritage d'une forte désindustrialisation et mondialisation engendre de grandes difficultés de transmission des savoir-faire en France et du patrimoine industriel.

Or la diversité des compétences à maîtriser impose aux salariés de développer un savoir-faire complexe et une maîtrise approfondie de nombreuses connaissances en chimie appliquée et en technologies textiles spécifiques. Le responsable d'atelier doit non seulement assurer la conduite des procédés, mais aussi maîtriser la gestion des fluides (eau de process, recyclage, effluents et éventuelles stations d'épuration internes), la mécanique des équipements, ainsi que les différentes sources et vecteurs d'énergie (électricité, gaz, vapeur, air comprimé, chaleur fatale). À cela s'ajoutent des compétences en régulation et automatisation, indispensables pour piloter des procédés de plus en plus numérisés et interconnectés.

Parmi les compétences complémentaires essentielles, on peut noter la gestion des coûts de production et la rentabilité des cycles ; et dans le cadre de la transition écologique, l'optimisation de la consommation d'eau et d'énergie, la réduction de l'empreinte carbone, la substitution de produits chimiques, la mise en place de solutions d'économie circulaire et d'écoconception.

Outre ses compétences techniques, le responsable d'atelier, en tant que « manager intermédiaire » (c'est-à-dire « passeur » entre la direction générale/le CODIR et les ouvriers/ETAM), doit savoir notamment créer des espaces de discussion sur le travail (un lieu où le travail réel peut être dit, compris et régulé collectivement, au regard des transformations engendrées par la transition écologique / le réchauffement climatique).

La formation professionnelle continue constitue un levier essentiel pour maintenir la compétitivité et accompagner l'évolution des savoir-faire dans ces ateliers hautement techniques.

AVANTAGES DE L'OPÉRATION

- **Gain de productivité :** une meilleure maîtrise des procédés réduit les temps de réglages et arrêts machine.
- **Réduction des non-qualités :** une meilleure reproductibilité des lots et une baisse des taux de rebut.
- **Optimisation des matières premières :** un usage plus rationnel des colorants, auxiliaires et produits de traitement, ce qui réduit les coûts.
- **Amélioration de l'efficacité énergétique :** l'adoption de bonnes pratiques (températures optimisées, récupération de chaleur, pilotage des cycles...), contribue à réduire la facture énergétique et l'empreinte carbone.
- **Diminution de la consommation d'eau et des rejets :** une meilleure conduite des bains, l'optimisation des rinçages et des cycles réduisent la consommation d'eau et peuvent aider à rentrer en conformité réglementaire.
- **Montée en compétence collective :** des salariés plus autonomes, polyvalents et capables de prendre des décisions techniques rapides.
- **Amélioration des indicateurs économiques globaux :** une meilleure marge opérationnelle, une rentabilité accrue, un renforcement de la compétitivité de l'entreprise et une baisse du turn-over.
- **Maîtrise des coûts réels de production :** une meilleure capacité à calculer et suivre précisément les consommations d'énergie (électricité, vapeur, gaz), d'eau, de produits chimiques et de main-d'œuvre.
- **Amélioration de l'attractivité de l'entreprise :** des salariés qui peuvent mettre en œuvre un pouvoir d'agir dans leur situation de travail et qui se sentent reconnus dans leur capacité à accroitre la performance de l'entreprise, devenant ainsi plus fidèles et engagés.

POUR PASSER À L'ACTION

1. **Diagnostic et préparation :** établir un état des lieux des compétences existantes dans l'atelier, analyser les impacts de la perte de savoir-faire, fixer les priorités stratégiques.
2. **Définition du besoin en formation :** identifier les compétences critiques à maintenir ou développer (chimie appliquée, gestion des fluides, automatisation, maintenance, éco-conception, compétences managériales dans la conduite du changement, etc.).
3. **Choix de la démarche de formation**

Accompagnement par un formateur expert	Développement d'une formation interne
◦ S'assurer de sa qualification industrielle : expérience dans la teinture et l'ennoblissement, connaissance des pratiques actuelles (machines, produits, normes environnementales). ◦ Vérifier sa capacité à former directement dans l'atelier (approche terrain, accompagnement en situation réelle, pédagogie adaptée aux opérateurs/apprentis). ◦ Intégrer un expert labellisé par les organismes de branche (OPCO 2i, Fortex, Campus des Métiers, etc.).	◦ Capter les savoir-faire pour les garder à l'intérieur de l'entreprise. ◦ Professionnaliser la formation interne, via la formation d'un ou 2 salariés formés à la pédagogie. Ils pourront former les salariés en interne, sans crainte de fuite de savoirs critiques. Amener ainsi l'entreprise à devenir une « entreprise apprenante » (école interne ou académie d'entreprise)

5. **Mise en place du plan de formation**
6. **Suivi et évaluation**
   - Mettre en place un bilan intermédiaire et final : évaluation des compétences acquises versus l'état des lieux des compétences existantes définies au point 1, mesure de l'impact (taux de reprise, consommation d'énergie/eau, productivité).
   - Suivre les coûts réels de la formation vs gains (réduction des déchets, économies d'énergie, baisse du taux de rebut).
   - Réaliser un bilan annuel des compétences pour ajuster le plan et anticiper les besoins futurs.

INTÉRÊT TECHNICO-ÉCONOMIQUE

Prenons le cas d'une teinturerie intégrée tricotage-teinture produisant **582 t/an**, et consommant **5 058 089 kWh PCS/an** de gaz (chaufferie + brûleurs des rames).

On estime que la mise en place d'actions acquises grâce à la formation des équipes génère 4 % à 8 % de gains énergétiques. Pour un prix du gaz à **60 €HT/MWh PCS** et un impact carbone du gaz à **239 g CO_2/kWh PCI**, l'opération génère ainsi :

Consommation d'énergie (MWh PCS/an)	Prix du gaz (€HT/MWh PCS)	Gain énergétique apporté par la formation des équipes				Budget de formation (€/an)	TRI (ans)	Émissions évitées (t CO_2/an)
		Fourchette	%	MWh PCS/an	€HT/an			
4 589,3	60	Basse	4	183,9	12 139,5	10 000	0,8	44
		Haute	8	367,9	24 279		0,4	88

Niveau de complexité

Niveau de risque/process

Niveau d'investissement

FINANCEMENTS / AIDES FINANCIÈRES POSSIBLES

- Subvention jusqu'à hauteur de 70 % dans le cadre du dispositif PROREFEI (PACTE INDUSTRIE), piloté par l'ADEME et l'ATEE
- Plan de Développement des Compétences (PDC) pour les entreprises <50 salariés et Accord Mesures d'Urgence 2025-2027 (vous rapprocher de votre conseiller OP-CO_2i).

PRINCIPALES AIDES AU FINANCEMENT DES ACTIONS D'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE

Pour aller au-delà des actions de bonnes pratiques décrites dans les fiches de ce guide, ce chapitre recense de manière non exhaustive les principaux dispositifs d'aide publique vous permettant d'être accompagnés techniquement et financièrement sur la réalisation d'un état des lieux, la définition d'un plan d'action, la formation de vos équipes et l'investissement dans des projets de décarbonation.

1

CERTIFICATS D'ÉCONOMIE D'ÉNERGIE (CEE)

Le financement d'investissements à l'aide de Certificats d'Économie d'Énergie peut être obtenu auprès de son fournisseur d'énergie ou de délégataires CEE.

Les fiches CEE d'opérations standardisées citées dans le présent guide sont les suivantes :

- **IND-UT-102** « *Système de variation électronique de vitesse sur un moteur asynchrone* »
- **IND-UT-105** « *Brûleur micro-modulant sur chaudière industrielle* »
- **IND-UT-125** « *Traitement d'eau performant sur chaudière de production de vapeur* »
- **IND-UT-131** « *Isolation thermique des parois planes ou cylindriques sur des installations industrielles* »
- **IND-UT-134** « *Système de mesurage d'indicateurs de performance énergétique* »

Il existe de nombreuses autres fiches standardisées, certaines requérant des investissements plus importants que ceux visés dans ce guide. Cependant, certaines offrent un niveau de financement très intéressant qui aboutit à un temps de retour sur investissement inférieur à un an. L'ensemble des fiches sont disponibles ici :

→ https://atee.fr/efficacite-energetique/club-c2e/fiches-doperations-standardisees/industrie

2

FAIRE L'ÉTAT DES LIEUX : AIDES AU DIAGNOSTIC

- **Diag Éco-Flux**, à destination des TPE/PME. Programme d'accompagnement personnalisé sur 12 mois et cofinancé à 50 % par l'ADEME, le dispositif vise à optimiser les flux d'énergie, de matière, d'eau et de déchets de l'entreprise par le biais d'une analyse de pratiques, de la définition d'un plan d'action, de l'accompagnement au déploiement d'actions et de l'évaluation des économies réalisées.

  → https://diag.bpifrance.fr/diag-eco-flux

- **Aide à l'audit énergétique en industrie**, à destination des PME et des sites industriels de moins de 250 salariés (accompagnement jusqu'à 70 % du coût) qui ne sont pas soumis à l'audit énergétique par la réglementation. L'audit énergétique consiste en l'identification des dépenses énergétiques et des sources d'économies possibles sur le site, et en la hiérarchisation d'actions à mettre en œuvre.

  → https://agirpourlatransition.ademe.fr → « Audit énergétique volontaire en industrie »

- **Diag Décarbon'Action**, à destination des PME/ETI < 500 salariés n'ayant jamais réalisé de bilan d'émission de gaz à effet de serre. Programme d'accompagnement sur 6 à 8 mois et cofinancé à 50 % par l'ADEME, le dispositif vise à la réduction de l'impact carbone des entreprises par le biais d'un plan de mesure des émissions (scopes 1, 2 et 3), de la définition d'un plan d'action.

  → https://diagdecarbonaction.bpifrance.fr/

- **Diag'Écoconception**, programme d'accompagnement sur 6 à 8 mois, visant à sensibiliser vos équipes à l'écoconception, à former un référent sur site, à définir un plan d'action pour écoconcevoir ses produits et éventuellement se préparer à l'obtention de l'Ecolabel Européen.

  → https://diag.bpifrance.fr/diag-eco-conception

3

FORMATION ET ACCOMPAGNEMENT

Le programme PACTE Industrie regroupe plusieurs dispositifs de formation, d'accompagnement et d'aide financière à la démarche de décarbonation. Les dispositifs sont complémentaires mais mobilisables à la carte, selon vos besoins spécifiques. Les coûts sont subventionnés jusqu'à 80 % selon les dispositifs et votre profil :

→ https://pacte-industrie.ademe.fr/

MODULES INTRODUCTIFS GRATUITS

Initier une démarche de transition énergétique et de décarbonation

Les fondamentaux du financement de projets d'EE et de décarbonation

MANAGEMENT DE L'ÉNERGIE

FORMATION

PROREFEI

Former des référents énergie et structurer sa démarche énergétique

PRIME

PRO-SMEn
AIDE À L'ISO 50001

Pour la mise en place de la norme ISE 50 001 sur un site industriel

ACCOMP

Étudier les opportunités de d'évolution du mix énergétique de son site industriel
Leviers: EE, récupération de chaleur, production de chaleur et de chaleur renouvelable, électrification, H2

STRATÉGIE DE DÉCARBONATION

CONSTRUIRE

ACT Pas-à-Pas

- **Formation** Développer sa stratégie
- **Accomp** Élaborer sa stratégie de décarbonation

ÉVALUER

ACT Pas-à-Pas

Formation Évaluer sa stratégie

FINANCEMENT

FORMATION Financer la transition énergétique et bas carbone de votre industrie

ACCOMP Construire sa trajectoire d'investissement bas carbone

ACCOMP Élaborer sa stratégie et trajectoire d'investissements bas carbone

ACCOMP Concrétiser son projet d'investissement bas carbone ou d'économies d'énergie

VUE D'ENSEMBLE DES COMPOSANTES DE PACTE INDUSTRIE

Note : Le dispositif est « à la carte », vous choisissez les modules pertinents pour vos besoins.

4

AIDES À L'INVESTISSEMENT

- **Études de faisabilité de performance énergétique ou de décarbonation d'entreprises industrielles**. Cette aide soutient la réalisation d'une étude de faisabilité, afin de démontrer la faisabilité technique et économique d'un projet d'investissement d'efficacité énergétique ou de décarbonation

  → https://agirpourlatransition.ademe.fr → « Études de faisabilité de performance énergétique ou de décarbonation d'entreprises industrielles »

- **Prêt Économies d'Énergie**, à destination des TPE/PME de plus de 3 ans (prêt de 10 à 500 K€, limité à 40 % de l'investissement). Ce prêt sans garantie permet de cofinancer les équipements éli- gibles aux CEE ainsi que les diagnostics, prestations, matériels et travaux qui y sont associés.

  → https://www.bpifrance.fr/catalogue-offres/pret-economies-denergies

- **Prêt Vert**, à destination des PME de plus de 3 ans ayant réalisé un Diag Eco-Flux ou bénéficié d'une aide ADEME au cours des 3 dernières années (prêt de 10 k€ à 1 M€). Ce prêt facilite les investissements et dépenses immatériels (formation, recrutement, études, certifications...), les in- vestissements matériels à faible valeur (équipements de stockage, de mesure, travaux de rénova- tion...) et l'augmentation des fonds de roulement lorsque les investissements sont réalisés dans le cadre de projets d'optimisation des procédés, de l'amélioration des performances environnemen- tales (eau, énergie, décarbonation, matière) ou de la réduction de l'impact des produits.

  → https://www.bpifrance.fr/catalogue-offres/pret-vert

ALLICE

ALLICE est l'alliance de référence pour la décarbonation de l'industrie. Réunissant plus de 130 membres issus de tous secteurs, ALLICE vise à accélérer la transition bas-carbone en rassemblant, en informant et en soutenant la filière décarbonation en Europe, dans une approche multisectorielle.

www.alliance-allice.com

GRDF - Gaz Réseau Distribution France

Principal gestionnaire de réseau de distribution public de gaz en France, GRDF distribue le gaz à près de 11 millions de clients au moyen du plus grand réseau de distribution européen. GRDF, à travers ses actions en faveur du biométhane, de l'efficacité énergétique et de la décarbonation, s'engage à faire du réseau de gaz un vecteur essentiel de la transition énergétique au bénéfice de ses clients.

www.grdf.fr

NaTran - Gestionnaire de Réseau de Transport de Gaz

Principal gestionnaire du réseau de transport de gaz en France et 2e transporteur européen, NaTran exploite plus de 32 000 km de canalisations et assure l'acheminement sécurisé du gaz pour l'ensemble des acteurs du système énergétique. Engagée en faveur d'un mix gazier français 100 % neutre en carbone à horizon 2050, NaTran accompagne le développement de l'hydrogène et des gaz renouvelables (biométhane et gaz issus des déchets), et fait évoluer ses infrastructures pour en faire un levier clé de la transition énergétique au service de ses clients et des territoires.

www.natrangroupe.com

Techtera

Techtera est le pôle de compétitivité de l'industrie textile française. Il fédère plus de 280 membres (entreprises, laboratoires, centres techniques, écoles) de la filière. Ses axes stratégiques : économie circulaire et biosourcée, matériaux intelligents et hautes performances, digitalisation des procédés (Industrie 4.0). Techtera accompagne le montage de projets collaboratifs, le financement, la valorisation des résultats et le développement international.

www.techtera.org

UNITEX Auvergne-Rhône-Alpes

UNITEX Auvergne-Rhône-Alpes est la plus importante organisation professionnelle régionale textile de France qui fédère et représente l'ensemble des activités du secteur. Membre du MEDEF, elle est une composante de l'UIT (Union des Industries Textiles) et d'associations européennes et internationales (AIUFFASS, EURATEX,...). Ce guide s'inscrit dans le cadre de l'accord de filière en faveur de l'économie circulaire, qui engage UNITEX, TECHTERA, l'IFTH et la Région Auvergne-Rhône-Alpes. UNITEX est également impliqué sur la thématique de la décarbonation en tant que membre du consortium CAP3R, opération soutenue par l'Etat dans le cadre de l'Appel à Manifestation d'Intérêt « Compétences et métiers d'avenir » du Programme France 2030, opéré par la Caisse des Dépôts.

www.unitex.fr

Crédits photographiques : © © Jean-Louis Vandevivère – Massabeuf Textiles