

Comment l'intégration des procédés peut-elle aider votre entreprise ?

L'intégration des procédés (IP) est une approche efficace qui permet de réduire la consommation d'énergie d'installations industrielles complexes et de grande envergure. Les techniques d'IP permettent de sélectionner ou modifier les étapes d'un procédé, ainsi que la façon dont ses différentes parties sont inter-connectées et interagissent, dans l'objectif de minimiser l'utilisation des ressources (principalement l'énergie, mais aussi l'eau et l'hydrogène). Parmi les techniques d'IP, l'analyse Pinch est celle qui est le plus fréquemment utilisée.

L'analyse Pinch est une procédure systématique pour étudier les flux énergétiques à l'intérieur d'un procédé et pour déterminer qu'elle est la **consommation minimale d'énergie requise pour le chauffage et le refroidissement de ce même procédé**. Cette dernière information est très utile parce qu'elle permet de comparer la consommation d'énergie actuelle d'une usine avec sa cible de consommation minimale et ainsi déterminer quel est le véritable potentiel d'amélioration. La méthode permet donc d'étalonner la consommation d'énergie de l'usine par rapport à sa consommation minimale possible. La méthode est également très utile pour identifier le potentiel de cogénération d'électricité et de chaleur sur un site ainsi que les possibilités d'y utiliser des pompes à chaleur.

Une fois la cible de consommation minimale d'énergie identifiée, l'analyse Pinch peut alors être utilisée pour identifier les projets d'économie d'énergie qui permettront de se rapprocher le plus possible de cette valeur cible en pratique. Les projets identifiés peuvent être à l'intérieur des différents procédés ou au niveau des utilités (production et distribution de vapeur, systèmes de refroidissement, etc.) d'un site industriel. Les résultats d'une analyse d'IP peuvent constituer la base d'une stratégie d'investissement à long terme.

Les aspects généralement inclus dans un audit énergétique conventionnel (vérification du rendement des chaudières, des systèmes d'air comprimé, de l'isolation thermique, des purgeurs de vapeur, etc.) peuvent être inclus dans une étude d'IP de façon à effectuer une analyse globale et systématique de l'ensemble d'une usine. Il est essentiel d'utiliser des logiciels spécialisés qui permettent de traiter le grand nombre de données nécessaires à une analyse d'IP. Il existe des logiciels d'analyse permettant de calculer rapidement le potentiel d'économies d'énergie d'un site industriel (valeur cible) et d'aider les ingénieurs lors de la conception des projets de récupération d'énergie permettant de se rapprocher le plus possible de la valeur cible.

Pour bien appliquer les techniques d'IP, il est essentiel d'avoir une bonne expérience dans leur utilisation ainsi qu'une bonne connaissance des procédés du secteur industriel dans lequel on les applique. Le moment idéal pour appliquer les techniques d'IP est à l'étape de conception d'une nouvelle unité de production ou d'une nouvelle usine. De très bonnes économies d'énergie pourront alors être obtenues en plus de réduire les investissements en capital de la nouvelle usine.

Pour les usines existantes, les projets d'économies d'énergie identifiés à l'aide des techniques d'IP nécessiteront généralement des investissements. Dans ce cas, l'étude d'IP peut être spécifiquement orientée de façon à maximiser le retour sur investissements des projets proposés.

L'approche utilisée dans une étude d'IP permet de s'assurer que les combinaisons de projets possibles sont évaluées simultanément de façon à s'assurer qu'il n'y ait pas de conflit entre ces projets et que les économies d'énergie ne soient pas comptées deux fois. La stratégie d'investissement des projets identifiés permettra de s'assurer que l'implantation des projets se fera de façon cohérente et avec une bonne synergie entre les projets retenus.

Que ce soit pour une nouvelle usine ou pour une usine existante, une étude d'IP faite à l'aide de l'analyse Pinch débute normalement par la réalisation d'un bilan de matière et d'énergie représentant chaque procédé de l'usine. Un modèle est alors effectué à partir de ce bilan de façon à représenter la charge thermique requise pour le chauffage et le refroidissement de chaque courant du procédé. On peut alors déterminer :

- Les cibles de consommation minimale d'énergie pour le refroidissement et le chauffage d'un procédé (vapeur, eau de refroidissement, charges frigorifiques, etc.) ;
- Les possibilités de combler la demande énergétique des courants de procédé en récupérant l'énergie contenue dans d'autres courants du procédé ;
- Les améliorations possibles à la façon dont les utilités (*vapeur à différents niveaux de pression, eau de refroidissement, électricité, etc.*) sont utilisées pour chauffer ou refroidir certains courants du procédé ;
- Les possibilités de modifier certains équipements / opérations du procédé existant pour réduire encore davantage la demande d'énergie du site.

En parallèle à une étude d'IP, on peut modéliser le système de production et de distribution de vapeur du site. Grâce à ce modèle, les économies d'énergie identifiées dans les procédés de l'usine peuvent être directement traduites en économies d'énergie achetée (gaz, huile, etc.). Cela permet d'éviter une erreur courante qui consiste à recommander des projets d'économies d'énergie en un point de l'usine qui peuvent en fait reporter le problème ou même créer un problème en un autre point du site. Un exemple typique d'une telle erreur est d'économiser de la vapeur à basse pression à un certain endroit de l'usine et, comme conséquence, d'être obligé de rejeter à l'atmosphère un surplus de vapeur à basse pression à un autre point de l'usine.

Le tableau suivant présente les économies typiques pouvant être obtenues, à l'aide des techniques d'IP (principalement l'analyse Pinch), sur la consommation totale d'énergie thermique achetée d'un site industriel (sauf pour le secteur des pâtes et papiers où les économies sont exprimées en fonction de la quantité totale de vapeur produite par l'ensemble des chaudières). Ces économies sont classées en fonction de la période de retour sur investissements (PRI).

Potentiel d'économies d'énergie via l'IP (%)				
Secteur industriel	Retombées immédiates	PRI de 1 à 3 ans	PRI de 3 à 6 ans	Potentiel Total *
Raffinage de pétrole	jusqu'à 5	10-15	jusqu'à 15	10-25
Pétrochimie	jusqu'à 5	5-10	jusqu'à 20	10-25
Sidérurgie	jusqu'à 5	5-15	10-20	10-30
Chimie	jusqu'à 5	10-15	jusqu'à 25	15-35
Agroalimentaire	5	15-25	jusqu'à 25	15-40
Pâtes et papiers	5	10-25	25	10-35

* Le potentiel total d'économies n'est pas simplement la somme de toutes les colonnes parce que certains projets à longue période de retour sur investissements peuvent être une alternative à des projets ayant une plus courte période de retour sur investissements.

Des économies additionnelles variant entre 5 et 15% peuvent généralement être obtenues en effectuant une bonne maintenance des procédés et équipements, en vérifiant régulièrement les purgeurs à vapeur et le contrôle des chaudières et des fournaies, en nettoyant les échangeurs de chaleur encrassés, en effectuant un suivi régulier de la consommation d'énergie, en effectuant des modifications aux procédés, etc. Les économies possibles dépendent de l'importance qui a été donnée à la réduction de la consommation d'énergie par le personnel de l'usine ainsi qu'à d'autres facteurs comme la complexité du procédé et le type de produits traités dans l'usine.

Le texte qui suit traite de l'application de l'IP dans l'industrie des pâtes et papiers et présente quelques résultats typiques découlant d'études d'IP menées dans ce secteur. Il s'agit d'informations basées sur une expérience accumulée au niveau mondial. Les résultats sont typiques et non-corrigés en fonction des particularités économiques, géographiques ou climatiques locales.

Application de l'IP dans l'industrie des pâtes et papiers

Les usines de pâtes et papiers consomment de grande quantité d'eau. Il est primordial de bien comprendre comment les courants d'eau et d'énergie interagissent entre eux et de s'assurer que les bilans de matière et d'énergie tiennent compte de ces interactions. Aussi, à cause de la complexité des réseaux d'eau prévalant dans l'industrie papetière, il est important, pour réaliser une étude d'IP dans ce secteur, de faire appel à du personnel non seulement qualifié en IP mais aussi connaissant bien les spécificités du secteur.

Afin d'assurer le succès d'une étude d'IP dans le secteur des pâtes et papiers, il est essentiel d'avoir une bonne compréhension de:

- La configuration de l'usine ;
- Des coûts marginaux d'approvisionnement énergétique (coût le plus élevé de la vapeur et de l'électricité par opposition à leur coût moyen) ;

- Des bilans saisonniers d'énergie et de matière ;
- Des périodes de fonctionnement des différents départements de l'usine (par exemple, PTM en arrêt aux heures de forte demande de consommation électrique).

Un suivi des interventions récentes en IP dans le secteur des pâtes et papiers montre que lorsque l'IP est appliqué dans le cadre de modifications apportées à une usine existante, les objectifs (cibles) d'économies d'énergie et d'augmentation de la capacité de production sont rencontrés avec des investissements en capital moindres que lorsque des techniques conventionnelles d'audit sont utilisées. Dans le cas de la conception de nouvelles usines où l'emphase est mise sur la sélection de la configuration optimale du procédé, les économies potentielles d'énergie peuvent être plus importantes encore que dans le cas de la modification d'usines existantes. Des économies substantielles peuvent être obtenues sur le plan de la consommation d'énergie et des investissements en capital car l'usine peut être configurée de façon à minimiser la consommation d'énergie tout en minimisant le coût des infrastructures. Les techniques d'IP peuvent être utilisées par les compagnies d'ingénierie lors de la conception de nouvelles usines, sans compromettre les délais de conception. En fait, la durée de la conception peut souvent être réduite en éliminant dès le début les alternatives non optimales et en se concentrant sur les meilleures solutions.

Dans l'industrie des pâtes et papiers, comme dans d'autres secteurs, l'IP permet de développer une compréhension fondamentale des différentes interactions entre les sous-systèmes ou départements d'une usine. L'IP peut être utilisée pour :

- Réduire la consommation d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre (GES) ;
- Réduire la consommation d'eau et faciliter sa réutilisation ;
- Intégrer de nouveaux équipements ou apporter des changements au niveau du procédé (nouvelle machine, nouvelle chaudière, etc.) ;
- Désengorger les points critiques du procédé et augmenter la capacité de production ;
- Optimiser l'intégration d'un évaporateur à effets multiples avec les sources et demandes d'énergie thermique du reste du procédé ;
- Optimiser les opérations du procédé qui ont besoin d'énergie thermique ;
- Revoir les modifications envisagées au procédé en tenant compte des technologies les plus récentes et des impacts de ces modifications sur les besoins en utilité (vapeur, électricité, eau de refroidissement) ;
- Optimiser le taux de production pour maximiser le rendement des équipements existants.

Les études d'IP peuvent inclure des aspects d'audit énergétique classique tels que le remplacement des purgeurs à vapeur défectueux ou le contrôle de l'excès d'oxygène d'une chaudière. Cependant, ce document se concentre sur les bénéfices qui sont directement imputables aux activités d'IP.

Types de production et taille des installations pouvant bénéficier de l'IP

L'IP peut être utilisée et donner de bons résultats dans plusieurs types d'usine, comme par exemple : les usines de pâte chimique (kraft et bisulfite, procédé continu ou batch), usine de pâte thermomécanique (PTM), usines intégrées de pâtes et papiers, et enfin les grandes usines de papier recyclé et de fabrication de papier, surtout si elles produisent leur propre vapeur et électricité et qu'elles utilisent de grandes quantités d'eau. Cette liste n'est pas exhaustive et d'autres installations de production spécialisée pourraient bénéficier également d'une analyse d'IP. Cependant, c'est dans les usines de production de pâte chimique et usines intégrées de pâtes et papiers, que l'on retrouve, de façon générale, le plus d'opportunité.

Les études d'IP réalisées sur des sites présentant des coûts marginaux importants (coûts élevés de l'électricité et de la vapeur générée à partir de combustibles fossiles) conduisent de façon générale, à des projets ayant de faible période de retour sur investissements. De plus, le potentiel d'économies d'énergie identifié dans le cadre d'une étude d'IP est généralement moins important pour les usines à faible consommation d'énergie que pour les usines de grande taille. Ces dernières nécessitent généralement une étude d'IP plus détaillée et plus coûteuse.

Avantages de l'IP

En Amérique du Nord, l'investissement dans des projets d'économie d'énergie n'a pas été, jusqu'à présent, une priorité pour les industriels. Au Canada, la récente ratification du protocole de Kyoto devrait augmenter progressivement l'intérêt des entreprises envers l'efficacité énergétique. L'IP, associée à un audit énergétique conventionnel et à un suivi méticuleux de la consommation d'énergie, est probablement la meilleure approche qui puisse être utilisée pour générer d'importantes économies d'énergie et réduire les émissions de GES.

L'IP est particulièrement efficace lors de la conception d'un nouveau procédé ou lorsque des modifications majeures doivent être apportées à une unité de production. À cette étape du développement du projet, il est possible de réduire à la fois la consommation d'énergie et les coûts en capital. Les économies en capital résultent principalement de la réduction de la capacité de nouvelles chaudières et des nouveaux équipements de chauffage et de refroidissement. L'IP est également très efficace pour réduire une charge excessive sur les chaudières, les fours et les systèmes d'eau de refroidissement dans les usines existantes.

L'IP peut conduire aux résultats suivants :

- Des projets à retombées immédiates ou avec un temps de retour sur investissements très court permettant d'économiser environ 5% des coûts d'énergie ;
- Des projets avec un temps de retour sur investissements court (de 1 à 2 ans) permettant d'économiser de 10 à 15% supplémentaire ;
- Des projets avec un temps de retour sur investissements moyen (de 2 à 4 ans) permettant d'économiser de 5 à 10% supplémentaire ;
- Des projets ayant un temps de retour sur investissements plus long (4 à 6 ans) pouvant générer des économies d'énergie additionnelles jusqu'à 25% des coûts d'énergie.

De façon générale, les études d'IP réalisées dans des usines de pâtes et papiers conduisent à des réductions de 15 à 35% de la consommation totale de vapeur de l'usine.

Un suivi des interventions en IP dans le secteur des pâtes et papiers montre qu'entre 40 et 70 % des recommandations proposées sont implantées. Celles-ci comprennent généralement les projets à retombées immédiates et rapides, et les projets qui présentent un temps de retour sur investissements court. Les projets ayant de plus longs temps de retour sur investissements sont plus souvent implantés s'ils procurent d'autres bénéfices (hausse de production, évitement d'une dépense en capital, sécurité de l'approvisionnement électrique, etc.) que les économies d'énergie qu'ils procurent, ce qui peut alors les rendre plus intéressants que d'autres projets déjà envisagés dans l'usine. Dans le cas d'une modification à une usine existante, la configuration du site, les matériaux à utiliser ainsi que et la possibilité de maintenir la production et l'exploitation pendant les travaux sont des facteurs très importants pour la viabilité économique d'un projet d'amélioration de l'efficacité énergétique.

Le taux d'implantation des projets identifiés dans le cadre d'études d'IP a été fonction, au cours des dernières décennies, principalement de facteurs économiques, et plus particulièrement de l'accès limité au capitaux et du bas coût de l'énergie. La prédominance accordée à la qualité de la production, l'amélioration des produits et le respect des normes environnementales sont d'autres facteurs déterminants. Avec la mise en place du protocole de Kyoto, on peut s'attendre à ce que les projets ayant de plus longs temps de retour sur investissements soient progressivement acceptés plus fréquemment.

Approche utilisée pour réaliser une étude d'IP

Une étude d'IP est généralement séparée en deux phases : une phase où les cibles de consommation minimale d'énergie pour le chauffage et le refroidissement du procédé sont déterminées, puis une phase de conception des projets de réduction de la consommation d'énergie. Que ce soit pour une unité individuelle de production ou à l'échelle d'un site industriel d'envergure, la première phase du travail consiste à identifier le potentiel d'économies d'énergie avant même d'entreprendre la conception des projets qui permettront de réaliser ces économies. Une décision peut être prise à cette étape relative à la poursuite de l'étude, selon le potentiel identifié. Cette première phase repose généralement sur un bilan de masse et d'énergie obtenu à partir de données mesurées, paramètres typiques d'exploitation et de données de simulation de procédé. Les données nécessaires sont les débits des courants de procédé (liquides et gazeux), les températures en différents points du procédé, ainsi que les charges thermiques échangées à travers les principaux échangeurs de chaleur, le tout dans des conditions normales d'exploitation. Lorsqu'ils sont disponibles, les coefficients de transfert de chaleur sont également nécessaires pour identifier approximativement les investissements requis pour réaliser en pratique le potentiel d'économies d'énergie identifié. Il est également important de connaître le coût de la vapeur, les coûts du combustible, ainsi que les critères d'investissements acceptables pour l'usine. Lorsque cela est possible, une collecte de données sur site est réalisée pour réconcilier les données conflictuelles.

Dans la seconde phase de l'étude, des techniques systématiques sont utilisées pour concevoir les projets permettant d'atteindre les économies d'énergie identifiées dans la première phase. La conception d'équipements, les paramètres d'exploitation et la configuration du site industriel sont

alors évalués avec plus de détails pour permettre d'estimer les coûts d'implantation des projets et pour établir quel est le potentiel d'économies d'énergie effectivement réalisable en pratique.

Livrables d'une étude d'IP

Les livrables d'une analyse d'IP dépendent de plusieurs facteurs tels que la taille, la complexité et les problématiques de l'usine dans laquelle elle est réalisée ainsi que les exigences de la direction de l'usine. Les principaux livrables comprennent généralement :

- Une évaluation de la consommation énergétique de l'usine au moment de l'étude ;
- Un bilan de masse et d'énergie sur l'ensemble des opérations de l'usine incluant une simulation lorsque requis ;
- Les cibles de consommation minimale d'énergie pour le chauffage et le refroidissement du procédé ;
- Une liste de mesures d'économies d'énergie permettant de réduire l'utilisation des formes coûteuses d'énergie (par exemple, de la vapeur à haute pression) au profit de l'utilisation de formes moins coûteuses (par exemple, de la vapeur à plus basse pression). Parmi les mesures identifiées on peut retrouver des modifications au procédé et des projets de réutilisation d'eau qui peuvent réduire encore davantage la consommation d'énergie de l'usine ;
- Une analyse du potentiel d'utilisation de pompes à chaleur ;
- Une stratégie d'utilisation des utilités correspondant aux besoins spécifiques du site industriel ;
- L'évaluation des coûts marginaux de production de vapeur et d'électricité ;
- Le calcul du potentiel de génération d'électricité sur le site de sorte à réduire la dépendance d'approvisionnement de l'extérieur ;
- La simulation du réseau de vapeur et de condensat pour évaluer l'impact des projets envisagés et ultérieurement, pour l'optimisation au jour le jour de la consommation de vapeur ;
- L'ingénierie préliminaire des projets recommandés dans le cadre de l'étude, incluant l'évaluation de leur coût ;
- Une stratégie d'investissements pour les projets d'économie d'énergie identifiés. Quelques temps après l'étude, il est normal que les conditions d'opération de l'usine changent. Cependant, seuls des ajustements mineurs aux résultats de l'étude devraient être nécessaires pour évaluer les modifications futures envisagées par le personnel de l'usine.

Généralement, les livrables prennent la forme d'un rapport incluant des schémas et tableaux pour expliquer chacun des projets recommandés. Les bilans de masse et d'énergie ainsi que les simulations sont, quant à eux, remis sous forme de fichiers électroniques.

Projets typiques d'intervention en IP

Les projets identifiés dans le cadre d'une étude d'IP sont propres à chaque site industriel et dépendent de plusieurs paramètres : la taille et la configuration de l'usine, la disposition et les distances que doit parcourir la tuyauterie, les contraintes d'espace, les limites aux paramètres d'exploitation et les difficultés supplémentaires entraînées par les exigences de sécurité ou d'autres facteurs pouvant influencer le projet. Les temps de retour sur investissements des projets présentés ci-dessous peuvent être plus courts pour les grands sites industriels si des économies d'échelle peuvent être réalisées ou si les coûts de l'énergie continuent d'augmenter. La liste ci-dessous fournit quelques projets typiques :

- Projets à retombées immédiates ou très rapides (typiquement moins de 1 an):
 - Meilleur contrôle de l'opération de l'évaporateur et meilleure gestion de la chaleur de soufflage des lessiveurs (applicables aux usines de pâte chimique) ;
 - Meilleur contrôle et gestion de la consommation d'eau et de la consommation d'utilité qui lui est associée (ex : amélioration du contrôle des niveaux des réservoirs pour prévenir les débordements) ;
 - Augmentation de la performance de l'évaporateur (ex : minimisation de la dilution de l'alimentation telle que la récupération des déversements de liqueur noire, applicable aux usines de pâte chimique) ;
 - Réutilisation d'eau blanche ne nécessitant pas de traitement préalable et réaménagement du réseau de distribution d'eau chaude et tiède (investissements reliés à des travaux sur la tuyauterie, à l'ajout de pompes ou de réservoirs).

- Projets à temps de retour sur investissements court (typiquement de 1 à 2 ans) :

Typiquement, ces projets concernent une meilleure utilisation de la chaleur générée dans le procédé à haute température pour produire de l'eau tiède ou chaude. On parle ici de récupération de chaleur des :

- Condensats des évaporateurs ;
- Effluents de l'usine de blanchiment ;
- Purges de chaudières ;
- Gaz de combustion des chaudières ;
- Rejets thermiques des machines à papier.

Si ces flux de chaleur à haute température ne sont pas utilisés actuellement dans l'usine, le temps de retour sur investissements de ces projets sera encore meilleur (typiquement moins de un an).

- Projets à temps de retour sur investissements moyen (typiquement de 2 à 4 ans):
 - Ce type de projets concerne souvent la révision détaillée de systèmes existants de manière à pouvoir améliorer la récupération de chaleur, notamment en diminuant la différence de température entre les courants chauds et les courants froids dans les échangeurs de chaleur. Par exemple :
 - Échange de chaleur entre deux courants de procédé ;
 - Récupération d'énergie des lessiveurs pour préchauffer la liqueur blanche ;
 - Reconfiguration de l'évaporateur ;
 - Récupération, dans un rebouilleur, de la chaleur du procédé de pâte thermomécanique.
 - Projets à rentabilité à plus long terme (typiquement de 4 à 6 ans) :
 - Implantation de systèmes de cogénération ;
 - Augmentation du nombre d'effets de l'évaporateur ;
 - Récupération d'énergie des gaz d'échappement des fours à chaux ;
 - Récupération de chaleur des raffineurs non pressurisés (procédé PTM) ;
 - Utilisation de pompes à chaleur.

Erreurs les plus fréquentes dans l'application de l'analyse Pinch (présentées sans ordre particulier)

Les erreurs les plus fréquentes lors de la réalisation d'une analyse Pinch sont :

- Essayer de réaliser seulement les projets les plus rentables en premier. Ceci mène généralement à des économies d'énergie bien plus faibles parce que certains projets ayant une période de retour sur investissements plus longue sont incompatibles avec les projets à très courte période de retour, ce qui empêchera leur implantation future ;
- Négliger les changements possibles sur un horizon de 2 à 5 ans (changements à la législation, remplacement futur d'équipements, croissance de la production, etc.) résulte souvent en des projets qui, par le temps nécessaire au personnel de l'usine pour les implanter, seront désuets ou n'entraîneront pas les économies d'énergie attendues ;

Négliger les changements possibles au procédé. Dans bien des cas, de simples changements au procédé peuvent entraîner de substantielles économies supplémentaires. Cependant, l'évaluation des modifications possibles à un procédé complexe comme ceux des raffineries nécessite, de la part du spécialiste en analyse Pinch, une excellente connaissance de ce type de procédé ;

- Ne pas travailler en étroite collaboration avec le personnel de l'usine. Cela conduit à des projets qui ne seront pas implantés ou qui n'auront pas bien été compris ;
- Faire uniquement un bilan énergétique du réseau de vapeur et commencer l'analyse Pinch à partir de celui-ci. Cette démarche ne conduira généralement pas à l'identification de tout le potentiel des économies d'énergie et peut même conduire à des erreurs importantes ;
- Se tromper dans l'établissement du coût marginal d'utilisation de certains équipements en considérant leur coût moyen plutôt que leur coût réel, notamment pour :
 - Le maintien d'une chaudière en opération considérant sa consommation énergétique minimale ;
 - L'utilisation de moteurs par rapport à un entraînement par une turbine à vapeur ;
- Oublier de tenir compte de certains aspects dans l'établissement réel des coûts d'opération, notamment :
 - Le combustible utilisé dans les chaudières et servant au contrôle de la pression dans le réseau de vapeur ;
 - Les changements dans le coût d'opération des chaudières et des turbines suite à une amélioration de leur contrôle ;
- Les variations de production en fonction des tarifs variables des coûts de l'électricité (par exemple utilisation plus intensive de certains procédés durant la nuit en période hors-pointe).