



→ Guide pratique de l'air comprimé

Performance énergétique et optimisation technique



L'ATEE, Association Technique Energie Environnement, rassemble tous les acteurs concernés dans leur activité professionnelle par les questions énergétiques et environnementales (petites et grandes entreprises, sociétés de service, organismes publics, collectivités territoriales, universités...). Elle compte 2000 adhérents.

Elle a un rôle d'alerte et d'information sur les dernières nouveautés techniques, sur les tendances économiques et tarifaires, ainsi que sur les évolutions réglementaires nationales ou internationales. Force de proposition reconnue, souvent consultée par les Pouvoirs publics, l'ATEE est objective et indépendante.

Quatre Clubs fonctionnent au sein de l'association : le Club Cogénération, le Club C2E, le Club Biogaz et le Club Stockage d'énergies.

Avec ses 15 antennes régionales, l'ATEE organise chaque année plus de 40 colloques, séminaires, et visites d'installations techniques dans toute la France.

L'ATEE publie ENERGIE PLUS, la revue bimensuelle de la maîtrise de l'énergie.

En savoir plus : www.atee.fr



L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable. Elle met ses capacités d'expertise et de conseil à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public, afin de leur permettre de progresser dans leur démarche environnementale.

L'Agence aide en outre au financement de projets, de la recherche à la mise en œuvre et ce, dans les domaines suivants : la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, la qualité de l'air et la lutte contre le bruit.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle conjointe du ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie, et du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche.

En savoir plus : www.ademe.fr

« Avertissement : Le présent ouvrage est à jour à la date du 1er janvier 2013. Cet ouvrage n'a pour objet que de présenter un état de la technique et des connaissances, accessible à la date de sa mise à jour, sur les sujets qui y sont abordés. Il ne se substitue en aucun cas à une analyse circonstanciée de la problématique que vous rencontrez par un professionnel. »

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle, par quelque procédé que ce soit, des pages publiées dans le présent ouvrage, faite sans l'autorisation de l'éditeur ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (20, rue des Grands Augustins, 75006 Paris), est illicite et constitue une contrefaçon par le Code pénal. Seules sont autorisées, d'une part, les reproductions réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective, d'autre part, les analyses et courtes citations justifiées dans le caractère scientifique ou d'information de l'œuvre dans laquelle elles sont incorporées (loi du 1er juillet 1992 – art. L 122-4 et L 122-5 et Code pénal art. 425).

Présentation des auteurs

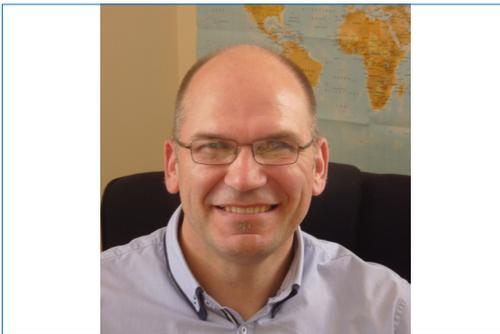


Olivier Barrault

Olivier BARRAULT, Fondateur et Président depuis 1990 de BARRAULT RECHERCHE (ingénierie en Efficacité Énergétique), société fusionnée en 2013 au sein du groupe UTILITIES PERFORMANCE (audit et ingénierie en Efficacité Énergétique et optimisation du cycle de l'eau) dont il assure la Présidence. Fondateur et Directeur d'ELODYS INTERNATIONAL (lavages industriels).

Membre du bureau de la délégation régionale Grand Ouest de l'ATEE, il a participé à des groupes de travail au sein de l'ATEE, ou en collaboration avec l'ADEME (diagnostic énergétique, Certificats d'économies d'énergie (CEE), normes BPX30-120 et ISO 50 001).

Olivier BARRAULT est membre actif du Centre des Jeunes Dirigeants (CJD).



Pascal Dumoulin

Pascal DUMOULIN, spécialiste depuis plus de 30 ans des installations de gaz industriels et d'air comprimé ainsi que de leur efficacité énergétique. Fondateur et dirigeant du cabinet d'expertise AIR COMPRIME ÉNERGIE (AC Energie) créé en 1995.

Membre du bureau de la délégation régionale Nord-Pas-de-Calais de l'ATEE, il a participé à des groupes de travail de l'ATEE (Certificats d'économies d'énergie) et contribue, au sein de l'association Cd2e (Nord-Pas-de-de-Calais) au développement des éco-technologies et des éco-entreprises tant au national qu'au niveau international.

Pascal DUMOULIN est membre du Réseau d'Expertises en Maîtrise de l'Énergie (REME).

Avant-propos

L'idée du « Guide pratique de l'air comprimé » est née en 1989, en Picardie, lorsque l'ADEME et le Conseil régional ont engagé une opération groupée de diagnostic de l'air comprimé auprès de treize entreprises de la région. A l'initiative des délégations régionales de l'ADEME et de l'ATEE, Picardie puis Pays de la Loire, une synthèse des enseignements tirés de cette opération a été organisée ; celle-ci a abouti en 1994 à la publication du guide et au déploiement, au niveau national, d'un cahier des charges du diagnostic air comprimé promu par l'ADEME.

Avaient participé à la rédaction : René-Louis BARRAULT, Daniel CAPPE, Christian FEUILLETTE, Jean LEFEBVRE et Jean-Claude MOMEUX.

Depuis, les techniques et les pratiques ont considérablement évolué ; il est donc apparu nécessaire à l'ATEE de mettre à jour ce guide, pour qu'il reste la référence pratique de l'air comprimé qu'il était devenu.

Il ne s'agit pas d'un opus technique sur l'air comprimé, mais plutôt d'un **recueil de bons conseils, fruits de l'expérience de ses contributeurs.**

L'ATEE remercie particulièrement :

- Olivier BARRAULT, de Barrault Recherche, et Pascal DUMOULIN, d'Air Comprimé Energie, professionnels reconnus, adhérents de l'ATEE, pour la rédaction de la présente édition du guide ;
- Christian FEUILLETTE et Jean-Claude MOMEUX, eux aussi professionnels reconnus dans le monde de l'énergie, adhérents de l'ATEE - impliqués dans la rédaction de l'édition originale de 1992 - pour leurs apports et la relecture de cette nouvelle édition ;
- Eric FREYCENON, détaché par Total à l'ATEE, pour la finalisation du document ;
- Frédéric STREIFF, Service Entreprises et Ecotechnologies, ADEME.



Sommaire

1. Air comprimé, quels enjeux ?

- 1.1 Faut-il de l'air comprimé ?
- 1.2 Faut-il un réseau ?
- 1.3 Faut-il une pression élevée dans le réseau ?
- 1.4 Peut-on récupérer l'énergie dispersée ?
- 1.5 Chiffres clés de l'air comprimé dans l'industrie
- 1.6 Approche économique de l'air comprimé
- 1.7 Réglementation applicable aux appareils

2. Exploitation et gestion d'une installation existante

2.1 Diagnostic d'une installation

- 2.1.1 Les objectifs du diagnostic
- 2.1.2 Etat des lieux physique initial
- 2.1.3 Les moyens du diagnostic : du compteur horaire au mesurage
- 2.1.4 Pas de rentabilité explicite sans prix réel du Nm³ d'air comprimé

2.2 Mesure, moyens et indicateurs

- 2.2.1 Ne pas confondre comptage et mesurage
- 2.2.2 Les paramètres essentiels à l'évaluation de la performance
- 2.2.3 Les moyens de mesure et de supervision
 - 2.2.3.1 *Le choix du principe de mesure et des capteurs*
 - 2.2.3.2 *Du capteur à l'indicateur*
 - 2.2.3.3 *Débit (Nm³/h)*
 - 2.2.3.4 *Répartition analytique des consommations*
 - 2.2.3.5 *La supervision et l'analyse*

2.3 Exploitation

- 2.3.1 Moyens de régulation traditionnels, variation de vitesse
- 2.3.2 Entretien et suivi des dérives
 - 2.3.2.1 *Compresseurs*
 - 2.3.2.2 *Auxiliaires des compresseurs*
- 2.3.3 Maintenance des réseaux et fuites

2.4 Utilisation de l'air comprimé

- 2.4.1 Rationalisation des usages
- 2.4.2 Comportement des utilisateurs

2.5 Approche contractuelle

Démarche, moyens (centralisés/décentralisés), externalisation, CPE...

3. Conception/rénovation

3.1 Analyse des besoins en air

- 3.1.1 Quantité
- 3.1.2 Qualité

3.2 Conception/rénovation des réseaux

- 3.2.1 Matériaux
- 3.2.2 Principaux composants
- 3.2.3 Les pertes de charge
- 3.2.4 Etanchéités

3.3 Conception/rénovation de la production

- 3.3.1 Technologies des compresseurs
- 3.3.2 Energie spécifique
 - 3.3.2.1 *Production*
 - 3.3.2.2 *Utilisations*
- 3.3.3 Choix du ou des compresseurs
 - 3.3.3.1 *Taille*
 - 3.3.3.2 *Technologie*
 - 3.3.3.3 *Motorisation : VEV et haut rendement (asynchrones, à aimants permanents)*
 - 3.3.3.4 *Régulation des compresseurs*
- 3.3.4 Régulation de la centrale de compression
- 3.3.5 Auxiliaires
 - 3.3.5.1 *Sécheurs*
 - 3.3.5.1.1 Sécheurs frigorifiques
 - 3.3.5.1.2 Sécheurs par adsorption
 - 3.3.5.1.3 Combinaison sécheurs frigorifiques/sécheurs par adsorption
 - 3.3.5.1.4 Sécheurs à perméation par membrane
 - 3.3.5.2 *Lubrification des utilisations*
 - 3.3.5.3 *Séparation des condensats*
 - 3.3.5.4 *Filtration de l'air comprimé*
 - 3.3.5.5 *Refroidissement*
 - 3.3.5.6 *Récupération de chaleur*
- 3.3.6 Implantation de la centrale
- 3.3.7 Connexions entre les équipements
- 3.3.8 Bouclage
- 3.3.9 Réception

4. Conclusion

5. Annexes

Certificats d'économies d'énergie : fiches d'opérations standardisées relatives à l'air comprimé (IND-UT-02 / IND-UT-03 / IND-UT-09 / IND-UT-14 / IND-UT-20 / IND-UT-24)

Principes de la norme ISO 50001

Fiches ADEME : exemples de bonnes pratiques énergétiques en entreprise

1- Air comprimé, quels enjeux ?

1.1. Faut-il de l'air comprimé ?

Dans l'industrie, l'air comprimé est un vecteur énergétique unanimement adopté qui transporte la puissance, l'énergie et le travail :

- on ne peut pas faire « sans » car certains équipements sont conçus au départ en mode pneumatique ;
- sa mise en œuvre est pratique, simple, flexible, instantanée ;
- par rapport à un équivalent électrique, un outil pneumatique est plus léger à puissance égale, ou plus puissant à poids égal. Il est plus robuste ; il supporte sans problème les blocages intempéstifs ; les « disparitions » d'outils sont plus rares ;
- l'air comprimé est également une « utilité » : son usage peut devenir très large. Car en plus d'être un vecteur de puissance facilement stockable et transportable, il est également utilisé comme moyen incomparable de séchage, de refroidissement, de nettoyage, d'éjection de déchets, de transport, de levage... avec la sécurité d'un fluide non inflammable et antidéflagrant ;
- il offre enfin des utilisations spécifiques dans l'industrie, la plongée sous-marine, les centres hospitaliers et peut participer directement aux processus de production dans les secteurs tels que les industries chimiques, agroalimentaires, pharmaceutiques, papetières, le raffinage, la production électrique.

> Ses contraintes :

- l'air comprimé est cher : si, au départ, l'investissement pour comprimer de l'air est relativement abordable comparé aux autres solutions de puissance existantes, le bilan économique devient radicalement différent une fois pris en compte l'investissement des auxiliaires de la centrale et surtout les coûts d'exploitation de l'installation globale, dépenses conséquentes souvent fortement sous-estimées. Car l'efficacité énergétique de l'air comprimé est plus que médiocre : le rendement se situe souvent entre 10% et 15%, au mieux 20% pour les meilleures installations. Ce manque d'efficacité énergétique est lié au mode de production de l'air comprimé (rendement de la machine), auquel viennent s'ajouter les pertes en réseau (fuites, pertes de charge) et les pertes au niveau des outils et équipements pneumatiques (fuites, rendement).

Comme le rendement des outillages électriques se situe plutôt aux environs de 80%, la solution pneumatique se traduit par une consommation énergétique tout compris jusqu'à huit fois supérieure à celle d'une solution purement électrique ;

- une installation d'air comprimé est facteur de pollution potentielle : émission de brouillards d'huile, transport de bactéries ;
- elle est responsable d'une certaine nuisance acoustique ;
- elle s'avère très sensible aux chutes de pression et aux bouchons d'hydrates ;
- sa rentabilité est grandement affectée par les fuites ;
- enfin, sa fiabilité n'est pas irréprochable.

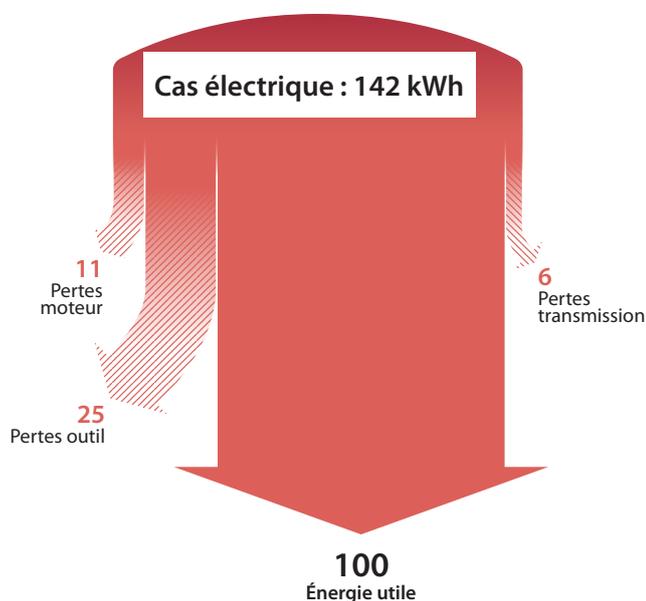
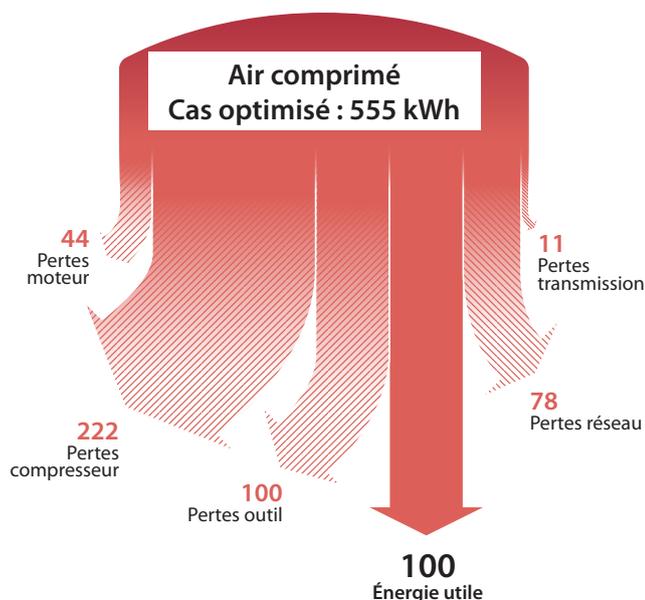
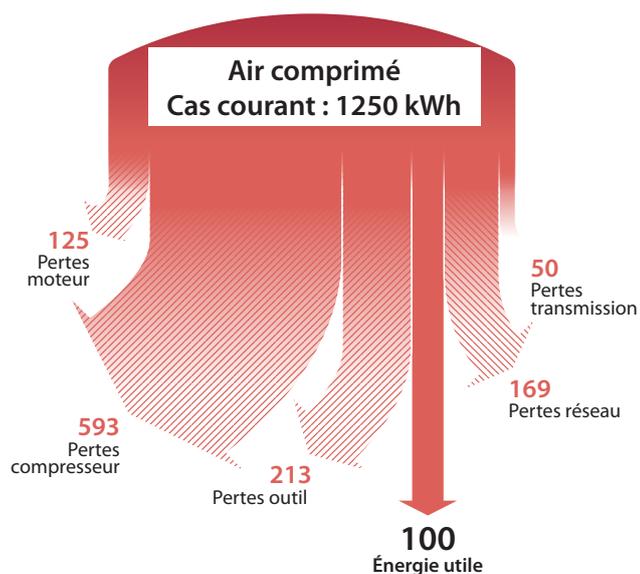
L'air comprimé est incontournable, mais cher et perfectible.

Ce document a pour but de présenter des solutions qui visent à minimiser les inconvénients de l'air comprimé pour ne garder que ses avantages.

Dans le cas d'installations existantes, il faut apprendre à composer avec l'air comprimé, et la meilleure façon de le rendre acceptable est de commencer par agir sur les coûts d'exploitation. Pour cela, il convient d'abord d'identifier les dérives et les principaux postes de dépenses où des gains significatifs peuvent souvent être faciles à obtenir. Par la suite, la recherche de l'optimum technique vient parfaire le bilan global de l'air comprimé qui peut ainsi trouver grâce auprès de tous les acteurs de l'entreprise.

Dans le cas de nouvelles installations : architecture, dimensionnement, équipements... tout est à définir. Il y a des erreurs à éviter et des pièges dans lesquels il ne faut pas tomber. Trouver la bonne solution consiste déjà à se poser les bonnes questions ; il faut notamment définir le nombre de kWh consommés pour l'air comprimé par quantité de produits finis de l'exploitation.

Comparaison du rendement énergétique d'installations à air comprimé (cas courant et cas optimisé) avec celui d'un système tout électrique :



1.2. Faut-il un réseau ?

Un réseau est toujours un facteur de pertes de charge et de fuites, donc d'énergie, que l'on estime à 15% à 35%. Pour des utilisations partielles ou marginales, il faut lui préférer des unités décentralisées.

Pertes de charge : générées par les frottements dans les conduites et au passage des équipements, elles doivent être inférieures à 0,5 bar pour être acceptables.

Fuites : dues aux joints de raccords usés, aux percements de conduites oxydées et aux purgeurs mal réglés, elles sont regardées en priorité, mais s'élèvent fréquemment à un niveau de 30%, alors qu'un taux de 10% est généralement possible.

1.3. Faut-il une pression élevée dans le réseau ?

Elle doit satisfaire les besoins des utilisateurs qui la souhaitent toujours plus élevée, mais rester la plus faible possible pour ne pas pénaliser le bilan économique de l'installation :

- une pression de réseau plus élevée demande une puissance électrique supérieure, ce qui se traduit par une majoration des consommations électriques ; comme ordre de grandeur, une pression de 8 bar au lieu de 7 bar signifie une facture électrique majorée de 20% ;
- une pression de réseau élevée augmente les volumes consommés dans les appareils volumétriques tels que les vérins.

1.4. Peut-on récupérer l'énergie dispersée ?

L'optimum énergétique est une compression de l'air à température constante (isotherme), ce qui signifie que le compresseur est refroidi.

On peut récupérer dans le liquide de refroidissement jusqu'à 70% de l'énergie électrique consommée mais les calories récupérées sont de faible niveau thermique, et leur utilisation doit être soigneusement étudiée. Les systèmes de récupération de chaleur sont généralement réglés sur 70° et peuvent, si nécessaire, aller jusqu'à 90°. Le chauffage des ateliers et bureaux est la première utilisation des calories dégagées par les compresseurs.

1.5. Chiffres clés de l'air comprimé dans l'industrie (données 2010)

L'industrie utilise, pour ses besoins en production d'air comprimé, en moyenne de l'ordre de 10% de l'électricité globalement consommée. Ce qui représente annuellement environ 90 TWh aux USA, 80 TWh en Europe. En France, la consommation électrique pour la production d'air comprimé représente 9 TWh par rapport à une consommation de l'ensemble des systèmes avec moteurs électriques de 83 TWh (source CEREN).

L'Oréal, qui a développé un outil d'autodiagnostic énergétique à la disposition de chacun de ses sites de production, relève que l'air comprimé est le premier poste de ses consommations d'électricité avec une part s'élevant à 20%.

Plus fort encore, il a déjà été constaté dans des secteurs particuliers tel que le décolletage, que l'air comprimé pouvait représenter plus de 40% de la consommation d'électricité de l'usine.

1.6. Approche économique de l'air comprimé

Le coût global sur cinq ans d'une installation de 100 kW se répartit approximativement ainsi :

- 120 000 € pour les consommations d'énergie électrique, en prenant une consommation des auxiliaires égale à 5% de celle du compresseur ;
- 22 000 € pour les investissements ;
- 20 000 € pour la maintenance.

En proportion, les dépenses d'investissement et de maintenance représentent respectivement 13 et 12% du coût, contre 75% pour les dépenses consacrées à l'énergie consommée.

Les bons conseils de l'ATEE

- Alors qu'un projet d'installation d'air comprimé est finalisé et prêt à être réalisé, il suffit parfois d'un petit investissement complémentaire pour générer de grosses économies de frais d'exploitation futurs.
- Après quelques temps d'exploitation, on estime qu'il est souvent possible de faire jusqu'à 35% d'économies sur l'énergie consommée d'une installation moyennement contrôlée ; les efforts de réduction des coûts doivent porter prioritairement sur ce poste de dépenses une fois l'exploitation commencée.

1.7. Réglementation applicable aux appareils

Plusieurs réglementations existent :

- Directive 97/23/CE (équipements sous pression ESP)
- Directive 2009/105/CE (récipients à pression simples RPS)
- Arrêté du 15 mars 2000 (exploitation d'un ESP)
- Décret du 18 janvier 1943 (appareils à pression de gaz)
- Décret 99-1046 du 13 décembre 1999 (conception, fabrication et mise sur le marché)
- Arrêtés du 11 juillet 2000 (habilitations pour le contrôle).

Une déclaration de mise en service doit être adressée à l'Administration (DRIRE), et un contrôle de mise en service peut être obligatoire.

A la mise en service, il est impératif de posséder la documentation relative à l'ESP et à ses accessoires. Il est également important de s'assurer du marquage CE de l'équipement.

En cours d'exploitation, il faut effectuer deux types de contrôles réglementaires, effectués selon une périodicité dépendant du type de l'équipement.

- Une inspection périodique consistant en une visite externe et interne, une vérification de la documentation, et un examen des accessoires de sécurité. Elle peut être réalisée par un organisme habilité ou par l'exploitant s'il est compétent.
- Une requalification périodique qui, en plus d'une inspection, prévoit une épreuve hydraulique. Seul un organisme habilité peut intervenir.

Dans le cas d'installations très importantes ($PS \cdot V > 10\,000$ bar litre et $PS > 4$ bar), il est également demandé d'ouvrir un registre où sont consignés les contrôles réglementaires périodiques, les opérations liées aux incidents, réparations et modifications effectuées sur les installations, et les processus d'acquisition et de maintien des habilitations attribuées au personnel qui intervient sur ces équipements.

Les bons conseils de l'ATEE

Les ESP exposent le personnel à des risques importants, généralement liés à la rupture des enceintes. Il est impératif d'appliquer rigoureusement la réglementation qui les concerne.

2- Exploitation et gestion d'une installation existante

2.1. Diagnostic d'une installation

Tout projet d'optimisation requiert pour commencer un état des lieux initial portant sur la conception, le fonctionnement et l'exploitation de l'installation. Il s'agit fondamentalement de réaliser un diagnostic de l'existant tel qu'exigé dans la norme NF EN ISO 50001.

La taille et la complexité de l'installation concernée ont un impact évident sur les enjeux techniques et financiers de l'entreprise, tant pour cette première opération que pour le programme d'actions d'amélioration qui sera décidé par la suite.

C'est pourquoi il est important, pour cet exercice, que le responsable technique ajuste le niveau des moyens mis en œuvre et le degré de finesse de l'évaluation afin de rester en phase avec les objectifs généraux de son entreprise.

Les bons conseils de l'ATEE

Même si l'opération peut parfois être réalisée en interne par le responsable technique et ses équipes, l'appel à une expertise extérieure accompagnée d'une campagne de mesure permet d'apporter un jugement neutre et objectif sur l'installation, ainsi qu'une vision experte des potentialités d'amélioration.

2.1.1. Objectifs du diagnostic

L'investigation doit avoir pour objet :

- d'établir et valider les capacités réellement disponibles. En effet, au-delà du potentiel théorique des machines, il convient d'évaluer les performances réelles de l'installation. Cela vaut pour les capacités de production, comme pour celles des auxiliaires (refroidissement, séchage, filtration) ;
- de confronter ces capacités disponibles au niveau des besoins (moyens et pointe) ;
- de vérifier la qualité de l'air comprimé produit en regard des spécifications énoncées dans le cahier des charges interne. La qualité de l'air comprimé est essentielle au bon

fonctionnement des process en aval de la centrale ; elle peut être appréciée selon différents paramètres :

- La pression
- La teneur en eau, identifiée par le point de rosée
- La teneur en huile
- La teneur en poussière (très importante dans le secteur électronique)
- La teneur en micro-organismes ;

- d'évaluer la performance énergétique et économique initiale de l'installation. Compte tenu du coût spécifique élevé de ce fluide, il apparaît essentiel de bien connaître initialement le rendement énergétique de l'installation et le coût du Normal mètre cube (Nm³) d'air comprimé produit, ceci avant toute action d'amélioration. Ce bilan essentiel servira de référence :

- tout d'abord pour l'évaluation économique des différentes solutions techniques envisagées, notamment pour le calcul de leur temps de retour ;
- ensuite pour le calcul des gains réellement apportés par les actions d'amélioration réalisées.

2.1.2. Etat des lieux physique initial

Dans toute démarche de diagnostic, il est indispensable de produire un inventaire détaillé des équipements en place avec leurs caractéristiques. Il convient de relever notamment le schéma d'implantation, la section des tuyauteries, le positionnement des vannes, les caractéristiques des équipements principaux, la configuration de l'instrumentation, l'environnement dans le local et le positionnement sur le site.

Un schéma, même simplifié, de l'installation est l'outil indispensable qui permet à toute personne interne ou externe de se repérer très rapidement et donc de gagner en efficacité lors de son intervention. L'idéal est de disposer d'une « schématique » des réseaux à jour.

2.1.3. Les moyens du diagnostic : du compteur horaire au mesurage

Le diagnostic repose ensuite sur l'observation et l'analyse des conditions de fonctionnement et de performance de l'installation. De ce point de vue, le responsable technique ou l'auditeur

affinera son évaluation en fonction des moyens à sa disposition. De façon relativement basique, une première évaluation peut être effectuée au moyen de compteurs horaires.

► **Exemple : cas d'une installation de trois compresseurs à pistons**

Bilan annuel des trois compresseurs de même puissance, de débit 1 600 m³/h

Temps (heures)	Pleine charge	A vide	Total	Pleine charge/total
Compresseur n°1	2 980	1 100	4 080	73%
Compresseur n°2	1 375	2 055	3 430	40%
Compresseur n°3	1 630	2 340	3 970	41%
Total	5 985	5 495	11 480	52%

Fonctionnement de l'usine : 4 160 heures/an

Besoin annuel moyen d'après consommation : 1,44 compresseur.

> **Action :** améliorer la régulation pour réduire le temps de marche à vide.

> **Mesures :**

Dans une approche plus complète, il est nécessaire de procéder à la fois par un système continu de mesure et par des campagnes de mesures ponctuelles.

L'instrumentation est plus ou moins élaborée et développée selon les particularités de l'installation et les objectifs, mais en base, il apparaît essentiel de procéder :

- par des mesures simultanées, en continu et en temps réel, sur les postes principaux : consommation électrique des compresseurs, pression relative de l'air comprimé, débit corrigé en sortie centrale, point de rosée de l'air comprimé ;
- par des mesures ponctuelles lors de campagnes sur les postes secondaires : auxiliaires et applications divisionnaires. Pour être représentative, une campagne de mesure doit durer une semaine afin d'intégrer un week-end. Dès lors que pendant cette période, l'activité du site est représentative de l'exploitation courante ou moyenne, il est possible d'extrapoler les résultats pour une année entière.

2.1.4. Pas de rentabilité explicite sans prix réel du Nm³ d'air comprimé

L'objectif du diagnostic est d'établir un bilan de l'installation et de proposer un plan d'action d'améliorations. Or, le coût et le gain de ces actions doivent pouvoir être correctement évalués pour permettre une prise de décision rapide et fiable.

C'est pour cette raison que le prix de revient du Normal m³ d'air comprimé déterminé au terme du diagnostic est indispensable. Il doit bien évidemment prendre en compte non seulement la consommation d'énergie en tant que telle, mais aussi les coûts de maintenance et l'amortissement du matériel.

Le benchmark en la matière est très variable suivant la technologie de compression et de séchage, la configuration de l'installation et surtout le profil de consommation.

Les bons conseils de l'ATEE

Il est prudent de valider son propre coût spécifique et de prendre avec prudence les indicateurs génériques mis parfois à disposition par les fournisseurs.

2.2. Mesure : moyens et indicateurs

Comme le dit l'adage « On ne comprend bien que ce que l'on mesure bien ». Ainsi, autant pour l'analyse ponctuelle de la situation que pour le suivi et l'exploitation d'une installation d'air comprimé, il est fondamental d'une part de bien définir et correctement mettre en œuvre des moyens de mesures adéquates, et d'autre part de déterminer et suivre des indicateurs de performances pertinents (« KPI » = Key performance indicators) afin de rendre possible un système de management de l'énergie cohérent, tel que celui exigé dans la norme NF EN ISO 50001.

2.2.1. Ne pas confondre comptage et mesurage

Dès lors que l'on évoque la mesure, il convient d'y associer la notion essentielle de la fréquence et de la régularité des relevés. Les relevés ponctuels fournissent un ensemble d'informations qui, par extrapolation, donnent une certaine idée des enjeux. Celle-ci peut parfois être biaisée en raison d'un degré d'incertitude d'autant plus élevé que la durée entre les relevés est importante.

Les relevés périodiques, quant à eux, suivent une situation à échéance régulière. Ils permettent de rapidement quantifier les écarts et déceler les tendances, donc d'apprécier les enjeux avec peu de délais et avec plus de précision.

Cependant, les uns comme les autres ne permettent généralement pas d'expliquer les dérives et les dysfonctionnements. Car la fréquence des relevés fait la qualité de l'information et donc de l'analyse qui en découle : plus la fréquence augmente, plus l'information est riche et précise, et plus l'analyse peut être pertinente.

On voit donc ici s'opposer deux notions souvent confondues : le comptage et le mesurage. **Le mesurage est un comptage à fréquence très élevée qui tend vers le suivi en temps réel ; c'est avec ce type de mesure que l'on peut constater et expliquer les phénomènes transitoires.**

Dans le cas de l'air comprimé, il est recommandé d'évoluer de la démarche du comptage périodique qui permet constat et simple suivi, vers la démarche du mesurage continu qui permet analyse et explication. La fréquence d'acquisition pour cette technologie se situe idéalement au niveau d'une mesure par seconde, mais le choix d'une mesure toutes les vingt secondes peut s'avérer suffisant.

Dans le cadre de l'étude pour un investissement dans l'air comprimé, le dimensionnement des équipements est dicté par le besoin de pointe, et non pas par le besoin moyen. Il est donc essentiel pour le design de l'investissement de connaître le besoin de pointe obtenu par un mesurage continu plutôt que par le besoin moyen déduit par un comptage périodique.

► **Exemple : Comment un mesurage a-t-il pu résoudre le dysfonctionnement d'un compresseur qui avait des conséquences techniques et financières lourdes ?**

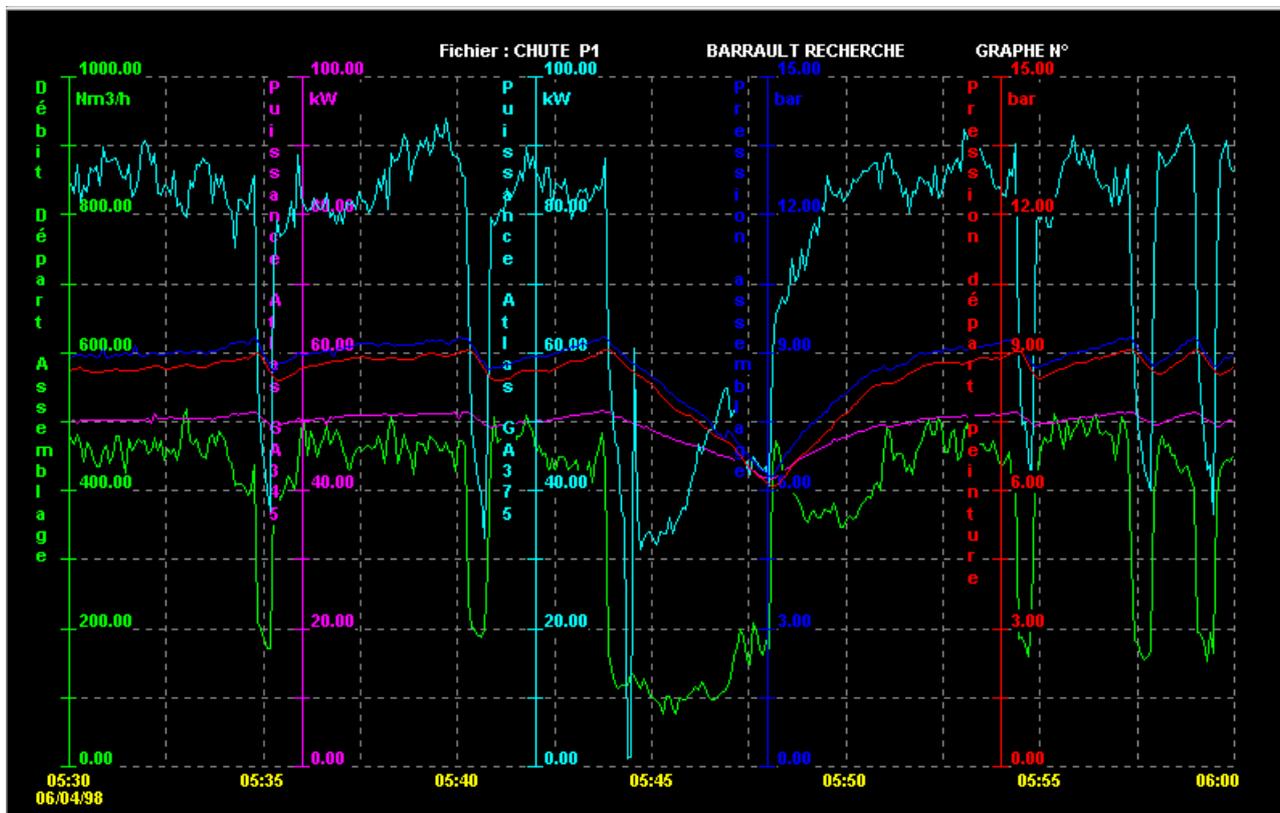
Un site industriel était affecté depuis près d'un an, plusieurs fois par mois, par des dysfonctionnements très perturbants : la pression du réseau d'air comprimé plongeait brutalement de 9 à 6 bar, et il fallait attendre environ cinq minutes pour que la pression soit rétablie. Ce qui avait les conséquences suivantes :

- à chaque fois, l'arrêt des lignes de fabrication peinture et assemblage pendant près de trois heures ;
- des coûts de maintenance plus élevés dus à une usure mécanique accélérée du compresseur provoquée par un problème électronique ;
- une surconsommation énergétique significative en raison d'une régulation inadaptée.

Le responsable technique hésitait entre des perturbations électriques (microcoupures) et des problèmes liés à la centrale d'air comprimé.

Le problème a été finalement identifié grâce à un mesurage des paramètres sur une échelle de scrutation calée à dix secondes : c'est l'arrêt brutal du moteur du compresseur pendant quelques secondes seulement (puissance électrique absorbée courbe bleu claire) qui provoquait la chute de pression de l'air comprimé (courbes rouge et bleu foncé). D'où également l'importance de contrôler de multiples paramètres et données pour les corrélérer, expliquer les phénomènes et trouver des solutions aux dysfonctionnements.

Chute de pression à 6 bar sur le réseau d'air comprimé



2.2.2. Les paramètres essentiels à l'évaluation de la performance

Voici ci-dessous, à titre d'exemple, un tableau précisant la configuration type de l'instrumentation de la centrale d'air comprimé

Mesures indispensables	Mesures utiles	Objectifs				Indicateurs
		Contrôle et régulation	Correction mesure débit	Suivi maintenance	Qualité fluide	
Puissance électrique des compresseurs		X	X	X		Consommation spécifique (Wh/Nm ³)
Débit air comprimé de la centrale		X		X		
Pression d'air comprimé		X	X	X	X	
Température d'air comprimé			X			
Point de rosée		X		X	X	°C
	Puissance électrique des auxiliaires	X		X		Rendement de la centrale
	Débit par compresseur	X		X		Rendement individuel

primé d'un site agroalimentaire. Tous les paramètres essentiels de suivi de la performance énergétique et de la qualité du fluide produit y sont présents.

Le nombre de paramètres à suivre est bien sûr à ajuster en fonction de la taille de l'équipement.

2.2.3. Les moyens de mesure et de supervision

2.2.3.1. Le choix du principe de mesure et des capteurs

Une installation doit être équipée d'un minimum de moyens de mesure pour qu'il soit possible d'apprécier son état de fonctionnement et son niveau de performance. La baisse des prix résultant de la large diffusion de ces moyens de mesure permet aujourd'hui d'assurer le suivi d'une installation d'air comprimé avec un budget raisonnable.

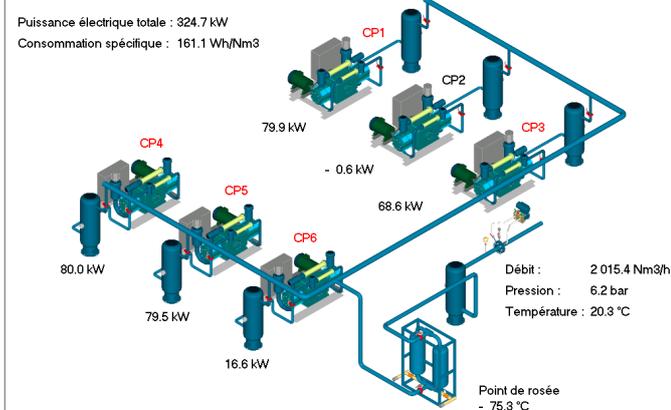
Une fois que les paramètres et les indicateurs à suivre sont déterminés, il est important de bien choisir les moyens à mettre en œuvre et leur implantation : la technologie utilisée, la qualité des équipements de mesure, la disposition générale et la localisation précise de l'instrumentation.

Les moyens visuels localisés tels que traditionnellement les manomètres (attention à leur qualité et à leur diamètre), les thermomètres... permettent de vérifier ponctuellement si tout est en ordre de marche, mais ils ne permettent pas d'identifier les dysfonctionnements fugaces. Il convient donc de bien définir le schéma de principe de la mesure et les caractéristiques requises des capteurs.

Par ailleurs, même si sa technologie est éprouvée, tout capteur finit tôt ou tard par dériver. Or tout doute sur une mesure condamne celle-ci à terme puisqu'elle n'est plus crédible. Le capteur associé à cette mesure devient un investissement à perte, et, pire encore, il dévalorise le système de management de l'énergie tout entier. Le capteur choisi doit non seulement présenter des gages de fiabilité, mais il doit encore pouvoir être facilement vérifiable, si possible in situ.

Les critères principaux pour le choix d'un capteur sont les suivants :

Synoptique type d'une centrale d'air comprimé



Les bons conseils de l'ATEE

- Le rendement instantané d'une installation n'est qu'une information ponctuelle sur cette installation à un moment donné au cours de son cycle de régulation. Pour être pertinent, cet indicateur doit être suivi et analysé pendant une certaine durée et avec une périodicité au minimum horaire.
- La profusion de mesures et d'indicateurs n'est pas le gage d'un suivi efficace : « trop d'information tue l'information ». En revanche, il est fortement recommandé de cerner les quelques paramètres dont la mesure est essentielle pour juger très rapidement le niveau de performance d'une installation. La détermination de ces paramètres induit la liste des indicateurs à suivre.

- la fidélité, pour éviter la dispersion des résultats ;
- l'exactitude, pour la justesse, la précision des mesures ;
- la sensibilité, pour la mise en évidence des plus petites variations ;
- le temps de réponse, pour minimiser la constante de temps.

Les bons conseils de l'ATEE

Les conditions d'implantation d'un capteur impactent directement la qualité de la mesure. Par exemple, il est primordial pour la mesure de la puissance électrique, d'installer un wattmètre au bon endroit pour chaque transformateur d'intensité (TI) du circuit ; Ou encore pour la mesure du débit d'air, de respecter les longueurs droites de tuyauterie sur lesquelles implanter les capteurs.

2.2.3.2. Du capteur à l'indicateur

L'information brute d'un capteur peut, même seule, présenter un intérêt. Ainsi, l'indication d'une pression est indispensable à l'appréciation de la qualité de l'air comprimé, et la puissance électrique absorbée des compresseurs d'air comprimé est très intéressante pour suivre la consommation énergétique de la centrale.

Ces données peuvent aussi être utilisées pour apprécier :

- la qualité du réseau : les mesures de pression aux extrémités d'un réseau permettent de suivre un niveau de perte de charge et d'identifier les éventuelles faiblesses de ce réseau ;
- la régulation d'une installation : le taux de charge à vide en est un bon indicateur ;
- les performances : Wh/Nm³, kWh/tonne de produits finis, taux de fuites, etc. en sont des indicateurs pertinents.

S'agissant du rendement d'une centrale d'air comprimé, il est compliqué de donner des indications trop précises, car la nature des matériels, la configuration d'une installation, son âge et surtout les profils de consommations peuvent significativement impacter sa valeur. Voici toutefois à titre indicatif quelques ordres de grandeur représentatifs d'une centrale d'air comprimé à 7 bar standard à vis lubrifiées (centrale globale : compresseurs + auxiliaires) :

ratio moyen hebdomadaire de performance constaté avant optimisation	entre 150 et 180 Wh/Nm ³
ratio moyen hebdomadaire de performance constaté après optimisation	entre 115 et 130 Wh/Nm ³

2.2.3.3. Débit (Nm³/h)

Parmi les mesures à effectuer sur l'air comprimé, comme pour la plupart des fluides industriels, la plus délicate concerne la mesure de débit. Il existe un certain nombre de principes de mesures assortis d'un plus grand nombre de types de capteurs et de fournisseurs. Il est bien sûr très compliqué de faire la part des choses sans prendre délibérément parti.

Tout d'abord, pour être correct, le calcul de débit d'air comprimé doit être corrigé de sa pression relative, de sa température, et de son humidité relative (HR).

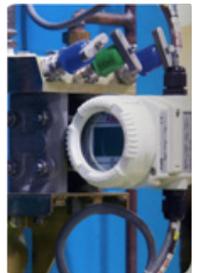
Il faut ensuite être très vigilant sur les indications de débit, soit de compresseurs, soit d'équipements utilisateurs. Alors que les volumes sont toujours ramenés aux conditions atmosphériques, c'est-à-dire à 1013 hPa (ou 1,013 bar), les températures sont différentes selon les référentiels ou les usages :

- la norme NF ISO 1217 des compressoristes prend en compte une température d'air à 20°C ;
- les gaziers utilisent des m³ dits « standards » à 15°C ;
- les fabricants de compresseurs centrifuges raisonnent avec des m³ à 35°C.

Cette diversité de référentiels peut conduire à une mauvaise interprétation des caractéristiques et engagements contractuels, notamment en terme de performances, car plus la température prise en compte est élevée, meilleur est le rendement indiqué.

Le plus sûr est de prendre comme unités les Normaux mètre cube (Nm³), ramenés à 0°C et à l'état sec (HR = 0%).

L'expression d'un débit d'air comprimé d'un compresseur est un débit ramené aux conditions d'aspiration du compresseur, c'est-à-dire à la température et à la pression ambiante ; il peut être exprimé aussi en FAD (Free Air Delivery), ou débit d'air libre.



Capteur de pression différentielle

Les bons conseils de l'ATEE

- Deux points clés : le caractère d'une part fiable et d'autre part vérifiable in situ de la mesure, si possible sans le recours à un tiers extérieur ; Puisque tout capteur est tôt ou tard soumis à une dérive et à des dysfonctionnements, il est préférable d'être capable de contrôler la validité de sa mesure sans avoir à le démonter pour le passer sur un banc d'étalonnage.

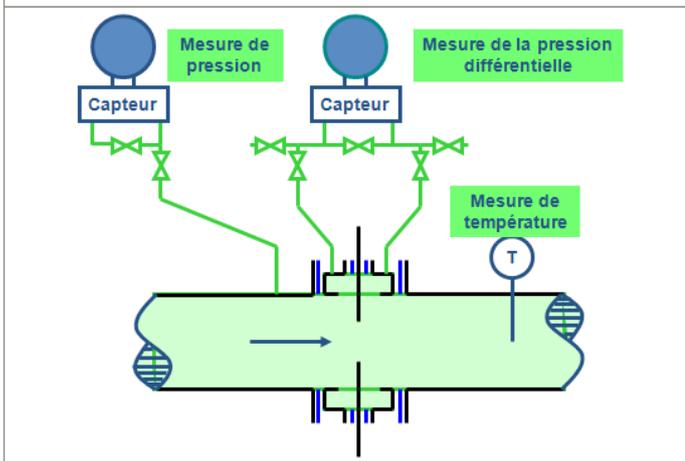
Comme il n'existe pas de moyen de mesure de débit idéal pour toutes les configurations d'application : précision, largeur d'échelle, caractère non intrusif/intrusif..., il faut rechercher quelles sont les priorités.

- Pour optimiser les coûts, le principe de mesure du capteur doit présenter une bonne adéquation avec la précision globale de la chaîne de mesures : il est par exemple souvent luxueux de choisir la mesure très fine du débit d'air par ultrasons. Dans certains cas particuliers, il existe des moyens de mesure relativement simples et peu coûteux tels que certains fils chauds ; ceux-ci ont cependant plus valeur d'indicateur que de véritable mesure.

- L'instrumentation doit être dimensionnée et conçue de façon que son impact énergétique en termes de perte de charge soit limité et maîtrisé.

- Dans le cadre d'un projet d'ingénierie ou de maintenance lourde d'une installation d'air comprimé, il est important de programmer une réception instrumentée. A cet effet, l'appui de la norme NF ISO 5167-1 pour les mesures de débit est important pour que les parties puissent valider sereinement les performances réelles d'une installation à sa livraison.

Mesure de débit par organe déprimogène (diaphragme) : ISO 5167-1



2.2.3.4. Répartition analytique des consommations

Le management joue un rôle clé dans la démarche d'efficacité et de réduction des consommations. Il doit avoir une vision claire du coût spécifique du Nm³ d'air comprimé pour fonder la démonstration de rentabilité des solutions d'optimisations envisagées, et pour déterminer et affecter le prix vrai des consommations aux utilisateurs eux-mêmes.

Il est souvent d'usage d'imputer les consommations d'air comprimé au prorata de la surface des ateliers. Cette règle ne génère malheureusement aucun effet de motivation sur les utilisateurs, et peut même être source de conflit interne.

2.2.3.5 La supervision et l'analyse

Les bons conseils de l'ATEE

Il est recommandé de s'orienter vers une prise en compte des consommations réelles, et encore mieux, d'informer les intéressés non seulement sur les quantités consommées, mais aussi sur leur profil de consommation. Ce sont les conditions optimales pour entrer dans une démarche vertueuse d'amélioration continue.

Pour manager correctement les consommateurs d'air comprimé, il est essentiel de pouvoir suivre leur niveau de consommation par secteur et leur mode de consommation. Ci-dessous le suivi des différents ateliers d'une usine SKF).

Le relevé périodique des compteurs et des indicateurs de fonctionnement d'une installation de production d'air comprimé peut constituer une étape significative dans la maîtrise des performances technico-économiques de son installation. Toutefois, seuls le suivi en temps réel de ses paramètres clés, leur enregistrement et leur analyse *a posteriori* permettent de comprendre et d'expliquer, pour anticiper, corriger et maîtriser durablement les conditions d'exploitation et de performance d'une installation.

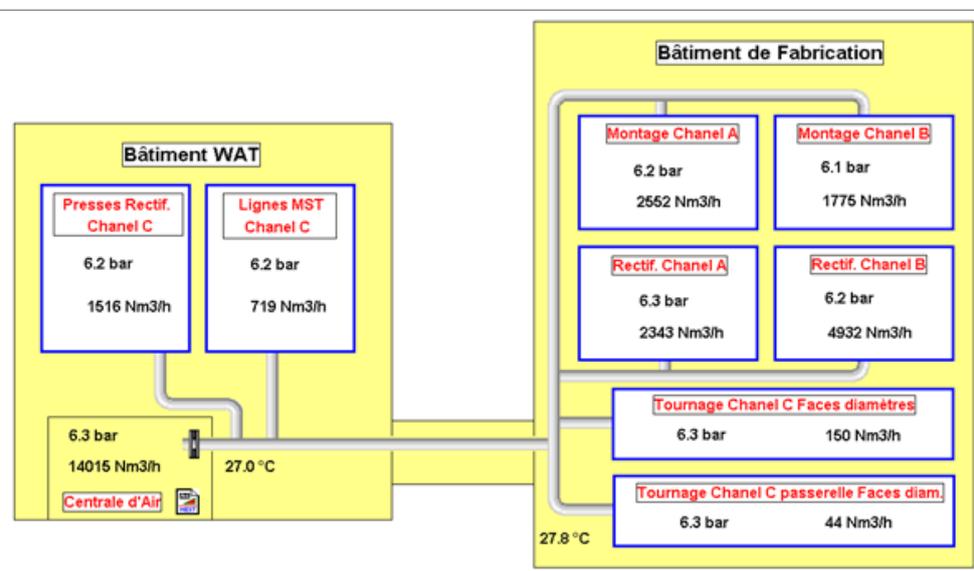
Les conditions de choix des principaux points de mesures et indicateurs nécessaires ayant été présentées ci-dessus, quelques commentaires sont utiles à ce stade.

La fréquence de scrutation et d'enregistrement est particulièrement importante dans le cas de l'air comprimé car les phénomènes transitoires qui s'y produisent et les cycles de régulation peuvent être particulièrement rapides. Il faut considérer qu'un pas d'acquisition entre une et dix secondes est bon, et que la qualité du suivi se dégrade rapidement au-delà de trente secondes.

Pour bien faire, la supervision doit disposer en base des fonctionnalités suivantes :

- traitement des données suivant la plupart des signaux disponibles : TOR (Tout Ou Rien), 4-20 mA, Modbus, Ethernet, OPC...
- capacité et bibliothèque de calcul permettant de traiter les données d'une centrale d'air comprimé (calcul de débit corrigé, consommation spécifique, coût spécifique d'exploitation, rendement sur activité du site) ;
- affichage de courbes simultanées (au moins 4 à 6) de grandeurs différentes ;
- affichage du synoptique de l'installation ;
- alarme technique (pression, point de rosée) et technico-économique (rendement) ;
- édition automatique de bilans ou de rapports périodiques (jour, semaine, mois) établissant tous les critères principaux d'appréciation de la performance de l'installation sur la période considérée.

Pour l'analyse, la supervision doit permettre de traiter les données acquises au moyen d'un logiciel dédié au suivi énergétique. L'outil d'analyse basique est un tableur de type Excel, mais celui-ci peut finir par ne plus être suffisant car sa capacité de traitement (volume des données en fonction de la fréquence d'enregistrement) et ses possibilités d'analyse risquent d'atteindre leurs limites.



Clé de répartition sur un site SKF

Les fonctions essentielles de l'outil sont les suivantes :

- traiter le volume des données enregistrées sur une période suffisante (une semaine au minimum, un mois ou plus si besoin) ;
- traiter et afficher l'analyse simultanée d'au moins six paramètres différents (par exemple : consommations électriques, rendement, perte de charge, pression réseau, débit et point de rosée) ;
- disposer de fonctionnalités dédiées permettant de faire des analyses statistiques et corrélatives de manière à cerner plus rapidement les pistes d'optimisation ;
- exporter les données traitées pour leur mise en forme en vue d'une communication (format TXT ou SQL).

Les bons conseils de l'ATEE

- Il ne faut pas confondre supervision et moyens de régulation d'une centrale. La supervision n'a pas pour vocation de gérer le contrôle-commande d'une installation, mais celle de constituer une « couche » supérieure permettant de valider la pertinence des réglages de la régulation et d'identifier les éventuels dysfonctionnements.
- Le suivi d'un nombre très limité de seuils de dépassement avec alarme peut souvent suffire à déceler immédiatement les dérives.

2.3. Exploitation

2.3.1. Moyens de régulation traditionnels, variation de vitesse

Un compresseur d'air ou une centrale est régulé sur la pression délivrée. Depuis longtemps, et aujourd'hui encore sur bon nombre d'installations, les compresseurs sont gérés et régulés de façon autonome, sur la base de leur propre pressostat interne.

Dès lors que le responsable de l'exploitation est attentif à la performance énergétique de son installation, il cherche à mettre en cascade l'engagement successif des différents compresseurs en fonction des niveaux de demande.

Cette manière d'opérer est simple en soi, mais peut engendrer de nombreuses dérives :

- les fluctuations d'activité et de demande souvent importantes justifient des adaptations et des arbitrages de cascades fréquents qu'il est difficile d'anticiper. En base, il existe souvent une configuration de cascade différenciée entre semaine et week-end. C'est une bonne chose, mais cela n'est pas toujours suffisant ;
- les pressostats, comme tous capteurs, sont sujets à une dérive inéluctable qui peut engendrer des chevauchements dans la cascade, et donc des surconsommations ;
- la superposition des plages de régulation de chaque compresseur engendre une étendue globale de variation de pression très significative ; cette amplitude est un facteur de surconsommation.

Une solution plus évoluée consiste à réguler sur une pression unique et à organiser l'ensemble de la cascade autour de ce seul pressostat.

Pour renforcer la pertinence des arbitrages de régulation, il est important d'avoir une bonne connaissance de la performance intrinsèque et de la capacité réelle de chaque compresseur. De ce point de vue, la mesure joue ici encore un rôle clé dans la définition et l'adaptation de la régulation.

Certains systèmes de régulation plus évolués, le cas échéant, prennent en compte ces caractéristiques et opèrent des arbitrages en temps réel pour établir une consigne et une cascade

optimale. Comme tout projet d'efficacité énergétique, une telle solution constitue un investissement dont il faut cadrer et définir les performances en amont du bon de commande, et en valider les performances réelles *a posteriori*, par la mesure.

Les bons conseils de l'ATEE

- Il arrive fréquemment que soient proposées, notamment par des constructeurs de compresseurs, des campagnes de mesures visant à dimensionner la future installation, et donc à caler sa future régulation uniquement sur la base de mesures de puissance électrique absorbée des compresseurs, associées à des mesures de pression relative de l'air comprimé. A partir de ces seules mesures, un calcul extrapole en général un débit global de la centrale en prenant en compte les caractéristiques théoriques des machines existantes. Il faut être très prudent à cet égard, car quand bien même cette approche fournit des ordres de grandeur avec une précision de l'ordre de $\pm 5\%$, l'erreur sur la mesure réelle de débit peut être conséquente et engendrer un investissement inadapté.
- Toutefois, ce calcul théorique présente l'intérêt de définir précisément le profil de consommation du site et ainsi d'aider à rechercher des solutions plus économes en énergie et optimiser le fonctionnement des machines déjà en place dans le respect du cahier des charges du site (entre autres, la qualité d'air requise aux points d'utilisation).

2.3.2. Entretien et suivi des dérives

2.3.2.1. Compresseurs

Pour tout responsable des services généraux, l'entretien des compresseurs est une évidence. A ce titre, une dérive de la température au refoulement du compresseur ou de la consommation spécifique d'une machine doit conduire à s'interroger sur l'état de « santé » du compresseur, voire sur la nécessité d'engager une investigation anticipée en maintenance.

Par ailleurs, la nécessité de changer à un moment donné le bloc vis d'un compresseur ou l'imminence d'une révision lourde de certains compresseurs (piston ou centrifuge) peut signifier des dépenses représentant jusqu'à 70% d'un compresseur neuf.

Le coût des opérations lourdes de maintenance des compresseurs amène les réflexions suivantes :

- A-t-on intérêt à faire cette opération coûteuse plutôt que réinvestir dans un matériel nouveau mieux adapté et durablement plus fiable ?
- N'est-ce pas l'occasion d'envisager l'investissement d'un compresseur à variation de vitesse ?
- Si l'on fait le choix de la maintenance, le prestataire est-il disposé à s'engager sur le retour ou le maintien des performances d'origine du compresseur ?

Les bons conseils de l'ATEE

- L'entretien des filtres à l'aspiration d'un compresseur est essentiel au maintien de ses performances.
- Le contrôle de l'huile par des analyses périodiques est le meilleur moyen d'assurer longévité et performances à un compresseur.

2.3.2.2. Auxiliaires des compresseurs

Quand bien même la maintenance préventive est un gage de sécurité et de fiabilité, la décision d'entreprendre par anticipation ou de reporter certaines interventions lourdes périodiques ou automatiques peut être prise en fonction des informations données par les indicateurs mis en place. L'impact énergétique de ces opérations est souvent un critère déterminant.

Il en va ainsi d'une indication de perte de charge sur les filtres ou sur les sécheurs. De la même façon, le suivi du point de rosée en sortie de séchage doit permettre de retarder ou inversement obliger à anticiper l'opération de changement des silicates d'un sécheur à adsorption.

2.3.3. Maintenance des réseaux et fuites

Les fuites représentent une part importante du débit à fournir par les compresseurs et peuvent s'élever à une valeur de 20% à 30%, et parfois plus, du débit total. Elles sont pernicieuses, car elles n'empêchent pas l'usine de fonctionner ; il est facile d'oublier de les combattre ou de remettre leur traitement à plus tard. Pourtant elles représentent souvent une grosse perte énergétique, donc économique. Elles sont malheureusement impossibles à éliminer à 100%, mais leur contrôle serré peut représenter des économies significatives.

Une action de recherche, de localisation, de marquage, d'identification et de réparation des fuites permet généralement de réduire rapidement de moitié leur volume, mais celui-ci revient toujours progressivement au niveau initial. Un suivi constant de la dérive des consommations d'air comprimé, et particulièrement des fuites par rapport à l'évolution de la production, est indispensable pour pérenniser les améliorations. Bien souvent une réflexion en termes de méthode de maintenance et de standard de réalisation des installations est incontournable.

Le premier facteur de la multiplication des fuites est sans doute le manque d'importance qu'y accordent les utilisateurs d'air comprimé. Par exemple, il est fréquent de découvrir des raccordements « provisoires »... qui restent en place pendant des années. Les fuites ne paraissent pas préoccupantes pour la plupart des utilisateurs d'autant plus que les volumes et les coûts en jeu ne sont pas connus.

La perception des utilisateurs d'air comprimé est celle de la gratuité de l'air et de sa facilité de mise en œuvre. Ce fluide fait par ailleurs partie des standards de nombreux constructeurs et industriels.

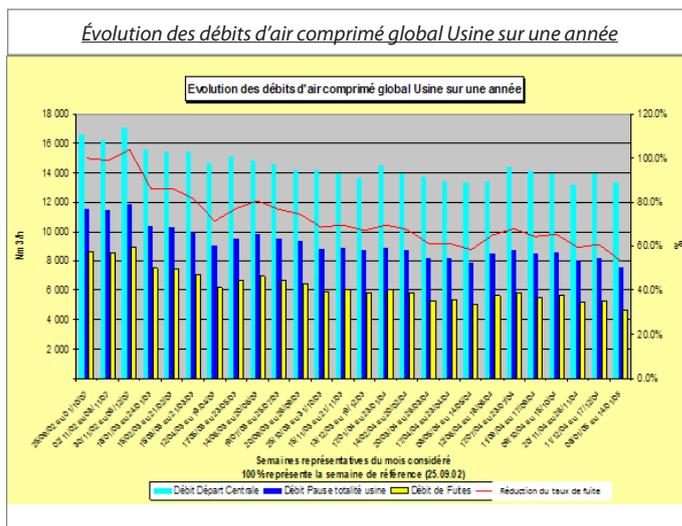
Les bons conseils de l'ATEE

- Une information, ou mieux encore une formation, permet de sensibiliser les utilisateurs.
- Toute portion de réseau ou tout équipement hors service doit être systématiquement isolé.
- Une première évaluation des fuites du réseau se fait rapidement par une simple mesure des consommations électriques en dehors des périodes d'activité de l'usine.
- Dans la plupart des cas, un objectif d'abaissement du taux de fuites jusqu'à un niveau de 10% à 15% est raisonnable ; au-delà, la rentabilité de la démarche devient souvent difficile à justifier.

> Gestion des fuites

Il faut savoir distinguer les « fuites process », incontournables, des « fuites fatales » qu'il faut impérativement traiter. Ainsi, il arrive qu'un débit de fuite global paraisse très impressionnant alors qu'il est dû essentiellement à des applications de process.

Pour y voir clair et déterminer les marges de manœuvre réelles, il faut mesurer ces fuites et les suivre dans le temps :



Les moyens pour mener un plan de réduction des fuites sont, par ordre d'efficacité croissante :



- le traitement des fuites de distribution par le remplacement ou le resserrage des composants défectueux lors d'opérations de maintenance préventive ou/et curative ;

- la détection auditive des fuites pendant les arrêts de production, facile à effectuer par des opérateurs en l'absence de bruit de fond ;

- l'application d'eau savonneuse aux endroits suspects, procédé couramment utilisé par les plombiers et gaziers, mais d'application difficile ou restreinte à des endroits limités ;

- la vérification permanente des débits d'air comprimé hors période de production par une mesure de débit si possible en temps réel ;

- la détection à l'aide d'appareils ultrasoniques permettant d'intervenir pendant les périodes de production au milieu du bruit environnant.

► **Exemple : coût d'une fuite dans le cas d'une ouverture d'une section équivalente à un trou de diamètre 3 mm dans un réseau à 7 bar relatifs :**

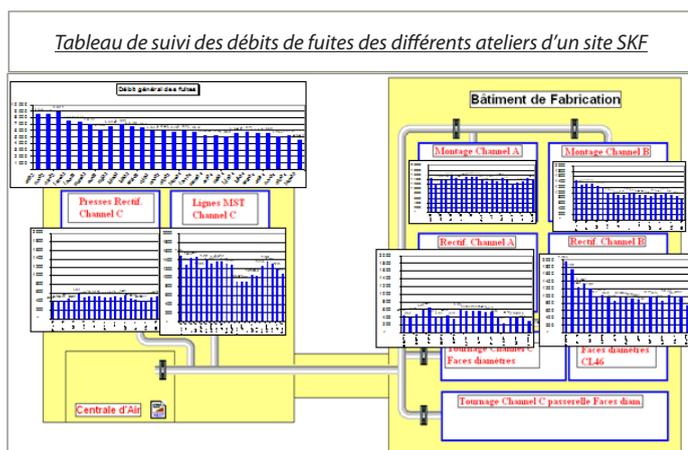
- la perte de débit est de l'ordre de 12,1 l/s ou 43,8 m³/h ;
- en régulation, il faut généralement de l'ordre de 0,16 kW pour obtenir 1 m³/h à 7 bar ;
- la puissance nécessaire pour compenser la fuite est donc de 7 kW ;
- d'où, avec un rythme moyen de 6 000 heures/an et un kilowattheure à 0,07 € HT, la consommation annuelle de 42 000 kWh correspond à une dépense de 2 940 € HT.

Conclusion : une seule fuite à travers un orifice de 3 mm de diamètre coûte environ 3 000 € HT par an.

> Management de l'action sur les fuites

L'action sur les fuites doit être le challenge de tous et non celui des seuls Services généraux. Ainsi, de manière à sensibiliser et encourager l'atteinte d'objectifs affichés, il est recommandé sur les sites importants de disposer de clés de répartition mesurées et suivies par secteur.

Exemple :



> Effets néfastes induits par les fuites

D'un point de vue hygiène et sécurité, les fuites d'air comprimé peuvent devenir un contributeur significatif de perturbation de l'ambiance dans les ateliers. En effet, elles sont d'abord génératrices d'une pollution sonore, à laquelle on s'habitue, mais qui participe à un inconfort pernicieux dans les zones de fabrication.

En outre, l'air comprimé véhicule tout ce que contient l'air aspiré : poussières, germes, eau, et tout ce que le processus de compression peut lui apporter : surtout de l'huile. Or malgré les dispositifs de traitement de l'air à la compression, les fuites sont une source de pollution, car l'air ainsi introduit dans les ateliers est plus à risque dans la mesure où il a évité le traitement ultime situé au point d'utilisation finale.

2.4. Utilisation de l'air comprimé

2.4.1. Rationalisation des usages

À l'instar de la problématique des fuites, tout usage inapproprié de l'air comprimé engendre un facteur de surconsommation et de surcoûts qui va à l'encontre des objectifs de contrôle des coûts de tout industriel.

Très souvent, sans information claire de ses consommations et du prix de son propre Nm³ d'air, l'industriel a du mal à comparer une solution à une autre. Quoi qu'il en soit, la simplicité et son coût de mise en œuvre en apparence relativement faible en font une solution plébiscitée depuis bien longtemps et dont il est difficile de faire évoluer la pratique.

Or, qui n'a jamais découvert de « solutions » bien pratiques telles qu'une armoire « refroidie » à l'air comprimé, des « pousses » à l'air détendu en continu, des séchages à l'air comprimé, etc. Du fait de sa simplicité, l'usage de l'air comprimé est souvent le royaume du bricolage et du provisoire qui dure.

Les bons conseils de l'ATEE

- Chaque application doit être pensée, et cela dès l'origine, en fonction non seulement de son coût de mise en œuvre, mais encore de son coût d'exploitation.
- Une méthode efficace et pas chère pour réduire les coûts d'exploitation de l'air comprimé est de baisser pas à pas la pression du réseau jusqu'à la limite de bon fonctionnement des machines.

> Cas particulier de la production d'azote

Certains sites produisent ou font produire par un prestataire de l'azote au moyen d'une technologie membranaire. Or, à la base de cette technologie se trouve un compresseur d'air comprimé traditionnel.

Cet équipement est toujours isolé et fonctionne de manière irrégulière avec une consommation spécifique médiocre. Il est intéressant d'étudier les synergies possibles avec le réseau principal d'air comprimé pour en optimiser le rendement et le secours.

2.4.2. Comportement des utilisateurs

Comme dans toute démarche d'efficacité énergétique, rien ne se fait de pertinent et de durable sans un volet managérial. Or de nombreuses dérives sont dues à un comportement inapproprié. Même s'il n'y a pas de mauvaise volonté, ces dérives proviennent d'une simple ignorance de l'incidence des comportements sur les enjeux énergétiques, financiers et environnementaux.

Ainsi que le prévoit la norme ISO 50001, il faut en premier lieu communiquer auprès des utilisateurs sur l'impact des comportements sur ces enjeux et leur rôle direct à cet égard. Cela peut s'opérer par la production d'un simple fascicule d'information, par l'affichage ou par la formation succincte des utili-

sateurs sur ce thème. L'alliance de toutes ces dispositions est évidemment optimale.

En second lieu, le management ne se fait efficacement qu'au moyen d'indicateurs à la fois simples et pertinents. On en revient ici à la mesure et à son corollaire du suivi continu et de l'analyse pertinente des relevés.

Il faut avoir une référence à laquelle se comparer : l'état de départ, l'objectif à terme et les jalons de progressions, assortis d'alertes en cas de dérives.

Ces indicateurs peuvent porter :

- pour les Services généraux : sur le rendement de la centrale (Wh/Nm³) ou le prix spécifique de l'air produit (c€/Nm³) ; des critères qualitatifs peuvent y être associés ;
- pour les utilisateurs : sur la consommation spécifique de chaque activité : kWh/t, nombre de pièces produites, ou sur un taux de fuites.

2.5. Approche contractuelle

Dans l'industrie, la recherche des meilleures solutions pour la fourniture d'air comprimé est une démarche normale du management.

Les questions qui se posent portent généralement sur le choix des moyens : centralisés ou décentralisés, sur l'externalisation de la fourniture, et sur la signature de Contrats de performance énergétiques (CPE) qui engagent le fournisseur sur une performance donnée définie par rapport à une référence existante.

L'approche contractuelle de la gestion des installations d'air comprimé peut passer par différents niveaux, du traditionnel contrat de maintenance des moyens de production d'air comprimé assuré par le constructeur ou l'un de ses représentants, jusqu'à l'achat de mètres cubes d'air comprimé avec Contrat de performance énergétique (CPE).

Ces contrats peuvent concerner, ensemble ou séparément, les trois aspects des coûts d'exploitation : maintenance des installations en place, financement des investissements, et consommations énergétiques (essentiellement électriques).

Différents contrats peuvent être souscrits pour la fourniture de prestations plus ou moins étendues :

- ♦ Visites et surveillance préventive des équipements
- ♦ Maintenance simple de premier niveau, entretien courant
- ♦ Maintenance de second niveau et curative des pièces principales
- ♦ Maintenance totale, préventive et curative de l'ensemble des équipements

Ces contrats peuvent être assortis de contrats de financement pour tout ou partie des équipements :

- Crédit classique
- Crédit-bail

- Crédit classique
- Crédit-bail
- Location longue durée avec, à terme, une valeur résiduelle symbolique ou réelle
- Cession à terme de la propriété des équipements.

Enfin pour la partie énergie, la plus importante des coûts d'exploitation, il peut être proposé :

- le simple engagement de performance énergétique sur contrôle périodique et ponctuel ;
- l'engagement de performance énergétique dans la durée avec comptages permanents ;
- la prise en charge de la consommation énergétique par la facture de mètres cubes délivrés ;
- le paiement direct aux fournisseurs d'énergie (en cas de cession de propriété).

Les frais d'assurances et les taxes et impôts ne doivent pas être oubliés dans ces contrats.

Ces contrats portent le plus souvent sur des périodes comprises entre cinq et dix ans, avec un point d'équilibre financier situé autour de sept ans. Ils doivent s'adapter au mieux aux besoins technico-économiques du client industriel.

Les bons conseils de l'ATEE

- Il est intéressant d'intégrer dans le CPE un objectif de performances ramené à la quantité de produits finis sortant de l'usine.
- Les questions les plus sensibles de ces contrats à long terme sont la prise en compte des risques, le partage des gains financiers et la pérennité des contractants.
- Parmi les risques les plus importants figure celui sur le coût de l'énergie qui représente couramment, et suivant les différents taux de charge des utilisations, une part comprise entre 50% et 90% des coûts d'exploitation. Dans l'intérêt du client, il est bon que la performance énergétique soit le facteur clé du contrat, d'où l'usage d'une fourniture au point de livraison exprimée en Wh/Nm³ à une pression donnée.
- Des avantages économiques non négligeables peuvent être trouvés auprès du système des Certificats d'économies d'énergie (CEE). Les fiches CEE directement ou potentiellement liées à l'air comprimé sont réunies en annexe en fin de document :
 - IND-UT-02 : Systèmes de variation électronique de vitesse sur un moteur asynchrone.
 - IND-UT-03 : Récupérateur de chaleur sur un compresseur d'air comprimé.
 - IND-UT-09 : Récupérateur de chaleur sur un compresseur d'air comprimé pour le chauffage de locaux.
 - IND-UT-14 : Moto-variateur synchrone à aimants permanents.
 - IND-UT-22 : Sécheur d'air comprimé à haute efficacité énergétique.
 - IND-UT-24 : Séquenceur électronique pour le pilotage d'une centrale de production d'air comprimé

3- Conception / rénovation

L'air comprimé est utilisé dans pratiquement tous les domaines pour des applications se répartissent en différentes familles :

- L'Air puissance (air moteur, air usine) pour les automatismes, les outils, les vérins...
- L'Air instrumentation (air régulation) pour les vannes de régulation, les organes sensibles...
- L'Air procédé (air process) pour des applications spécifiques qui demandent une qualité d'air précise et maîtrisable, par exemple l'alimentation d'une cellule laser, la pressurisation de cuves de ferments agroalimentaires, les biotechnologies...
- L'Air respirable pour les cabines de peinture, les zones à risques, la plongée sous-marine, l'atmosphère médicale.

A chacune de ces familles correspondent des fournitures d'air comprimé différentes en termes de qualité et de quantité ; à chacune de ces fournitures correspond un type de matériel adapté à la tâche demandée.

N. B. L'air comprimé à basse pression (< 2 bar) correspond à une technologie qui ne soulève pas les mêmes questions que l'air comprimé des ateliers (de 3 à 7 bar) qui n'est pas traité dans ce document.

3.1. Analyse des besoins

Un large choix de matériels à air comprimé est disponible sur le marché. Lors de l'achat de nouveaux équipements, il vaut mieux ne pas faire d'erreurs.

La sélection des usages de l'air comprimé de l'usine et la bonne connaissance des contraintes qu'ils induisent au niveau des quantités et des qualités de l'air comprimé est un préalable indispensable avant de déterminer l'architecture du réseau et les équipements à installer, de manière à éviter toute sur- ou sous-qualification préjudiciable à la performance et à l'économie de la production.

Les bons conseils de C'ATEE

- Dans tous les cas, l'utilisation de la pression la plus basse correspond à la meilleure économie : moindre effort de compression, moins de fuites, outils plus légers et moins onéreux, moindre usure... ; c'est cette idée qui doit diriger tous les choix d'équipement du réseau d'air comprimé de l'usine.
- Choisir des appareils qui fonctionnent à la pression des équipements les moins demandeurs du réseau de l'usine ; par exemple : écarter un appareil qui fonctionne avec une pression de 7 bar si les autres équipements de l'usine fonctionnent normalement avec une pression de 6 bar.
- Éviter les machines à mouvement réversible (visseuses-dévisseuses par exemple) qui consomment de 20% à 25% de plus que les machines non réversibles.
- Préférer des gros vérins à plus basse pression (6 ou 7 bar) plutôt que des vérins miniatures (10 bar).

3.1.1. Quantité

> Recensement des principaux usages

Pour constituer une installation d'air comprimé cohérente, il est nécessaire, lors de l'acquisition de nouveaux équipements, ou à l'occasion d'une démarche de rationalisation des utilisations, de recenser les principaux postes de consommation.

Les plus importants sont habituellement les équipements à air libre comme les buses et les soufflettes de toutes tailles. En revanche, contrairement au sentiment général, les automatismes pneumatiques ne sont habituellement pas des gros postes de consommation d'air comprimé, car ils consomment leurs volumes capacitifs multipliés par leur nombre de cycles, ce qui représente finalement des quantités relativement limitées.

Les bons conseils de l'ATEE

- Il ne faut pas oublier de prendre en compte les inévitables fuites d'air comprimé qui peuvent représenter des quantités significatives, de 10% à 20%.
- Rappelons ici que 1 kWh d'air comprimé à 7 bar équivaut à près de 10 kWh électriques consommés, et par ailleurs, qu'à un niveau de pression moyen de 6 à 7 bar, la fourniture de 1 bar complémentaire représente près de 7% d'énergie supplémentaire.

> Profils des consommations

Les profils des consommations de base sont obtenus à partir de mesures simultanées des débits et des pressions.

Les bons conseils de l'ATEE

- Il est plus facile d'effectuer ces mesures en sortie des centrales des compresseurs.
- Pour une meilleure analyse, puis pour une meilleure gestion des consommations, il faut sous-compter les données par bâtiment, par secteur, par application, par machine..., ce qui permet notamment de mieux localiser les déperditions dues aux fuites et aussi de rassembler les données nécessaires pour la construction de clés de répartition précises des consommations.

> Evaluation des besoins futurs

Au moment de lancer l'acquisition de nouveaux équipements, ou à l'occasion d'une démarche de rationalisation des utilisations, il faut commencer par chiffrer avec une précision suffisante les compléments de capacités de production d'air comprimé nécessaires, ce qui peut parfois s'avérer difficile.

Les bons conseils de l'ATEE

- Se contenter d'additionner les consommations nominales des machines n'est pas un bon calcul, car il est important, d'une part de prendre en compte un coefficient de foisonnement à estimer à partir du fonctionnement type de ces équipements, et d'autre part d'intégrer dès l'origine des fuites de 10% à 20%.
- On aura toujours intérêt à se référer de façon pragmatique à des installations similaires déjà présentes sur le site dont on connaîtra d'autant mieux les paramètres d'exploitation qu'une gestion rationnelle de leurs consommations aura été mise en place.
- L'exercice n'est pas facile, mais il permettra dans un premier temps de partir sur des hypothèses aussi fiables que possible. Celles-ci seront affinées ultérieurement grâce à des mesures réelles qui donneront une bonne connaissance des profils de consommation induits par les nouveaux équipements.

3.1.2. Qualité

> Recensement des besoins

Il est également nécessaire de recenser les différentes qualités appelées et leurs débits, à étudier pour chaque cas de figure.

Les bons conseils de l'ATEE

- Les limites admissibles d'humidité, d'huile, ou de poussières dans l'air comprimé sont généralement les facteurs les plus contraignants. On retiendra les cas les plus exigeants de l'usine, car ceux-ci définissent la qualité minimale de l'air comprimé du réseau produite dans l'usine.
- Vérifier les exigences des futurs appareils en termes de qualité d'air (teneur en huile, teneur en humidité) et vérifier leur compatibilité avec le réseau existant.

> Evaluation des besoins futurs

L'évaluation de besoins futurs devra tenir compte des nouvelles contraintes induites sur la qualité de l'air comprimé. Les coûts d'investissement et d'exploitation seront directement dépendants de l'adaptation de l'installation existante aux nouvelles spécifications sur la qualité, à la hausse comme à la baisse, ainsi qu'aux impacts énergétiques (pertes de charge de la filtration, consommation du séchage) et environnementaux (pollution par les hydrocarbures, traitement d'air comprimé à appliquer).

Les bons conseils de l'ATEE

- Les spécifications sur la qualité d'air comprimé à respecter peuvent conduire à utiliser des compresseurs soit lubrifiés, soit non lubrifiés, ce qui a un fort impact sur les coûts d'investissement et d'exploitation.
- Il faut éviter d'acheter des appareils qui doivent fonctionner avec de l'air de très bonne qualité quand l'air du réseau existant est produit par des compresseurs qui polluent l'air aspiré par de l'huile injectée. Car dans ce cas, des points de filtration et de séchage complémentaires seront nécessaires, ce qui augmentera les pertes de charge, donc les coûts.

3.2. Conception/rénovation des réseaux

> Qu'est-ce qu'un réseau de distribution d'air comprimé ?

C'est l'ensemble des éléments d'une installation d'air comprimé situés entre les équipements de production de l'air comprimé jusqu'aux utilisations de cet air. Ces éléments transportent, dirigent, répartissent, isolent, traitent, comptent, régulent, filtrent et lubrifient les flux d'air comprimé. Ils se composent de tuyauteries, vannes, raccords, débitmètres, filtres, régulateurs, lubrificateurs, purges, etc.

> Quels sont les enjeux ?

- ♦ Bilan énergétique : les pertes de pressions, aussi appelées pertes de charge, ont une influence majeure sur l'efficacité fonctionnelle et énergétique des installations ;
- ♦ Quantité : les besoins en air comprimé évoluent dans le temps ;
- ♦ Implantation : il faut anticiper les extensions de l'usine ;
- ♦ Cohérence : il faut éviter les extensions et les raccordements non contrôlés.

3.2.1. Matériaux

Les matériaux utilisés pour les éléments d'un réseau ont un fort impact sur la qualité de ce réseau. Ils doivent présenter :

- une faible rugosité pour limiter les pertes de charge ;
- une bonne résistance à la pression ;
- une bonne résistance aux contraintes mécaniques ;
- une bonne résistance à la corrosion ;
- une bonne flexibilité des liaisons pour faciliter les utilisations mobiles ;
- une bonne étanchéité pour limiter les fuites d'air comprimé.

Les matériaux généralement utilisés pour les tuyauteries sont l'acier noir ou peint, l'acier galvanisé, les aciers inoxydables, parfois en montage serti, l'aluminium peint ou non, le cuivre (particulièrement en pharmacopée), les résines synthétiques rigides et ductiles, et enfin pour les tuyaux souples, le caoutchouc et des résines synthétiques renforcées.

Les bons conseils de l'ATEE

- Comme ces différents matériaux ne présentent pas tous les mêmes caractéristiques chimiques et mécaniques, il faut apporter une vigilance particulière à leur compatibilité avec la nature de l'air comprimé à transporter ; par exemple, il faut se méfier des huiles de lubrification qui peuvent attaquer la résine des tuyaux flexibles.
- Les résines souples armées ont remplacé le caoutchouc pour les tuyaux flexibles, car elles résistent mieux dans le temps (une dizaine d'années en général) ; elles ont l'avantage d'un coefficient de frottement interne favorable, mais sont sensibles aux températures élevées (> 50°) : la proximité de sources de chaleur élevées ou l'exposition au soleil en été peuvent les dégrader rapidement.
- L'acier, noir ou galvanisé, est sensible à la corrosion, notamment aux points de soudure : il est très vulnérable à l'humidité résiduelle de l'air comprimé si le séchage n'est pas parfait ; toutefois, hors secteurs sanitaires, alimentaires ou à contraintes équivalentes, l'usage de l'acier garde tout son sens !
- Le cuivre qui présente de nombreuses qualités est imposé dans l'industrie pharmaceutique, mais il est cher.
- L'aluminium, particulièrement léger et insensible à la corrosion, est intéressant quand la pose de la canalisation est rendue difficile par le poids de la tuyauterie.
- L'acier inox fin et serti, plus cher, est très intéressant : il ajoute aux qualités de l'aluminium la résistance aux agressions extérieures.

3.2.2. Principaux composants

> Canalisations

L'ennemi numéro un des canalisations est la perte de charge. On se reportera au chapitre 3.2.3 pour étudier les différents paramètres à contrôler pour limiter les pertes de charge dues aux canalisations. Quant aux matériaux, les options parmi lesquelles il convient de choisir pour les canalisations sont vues ci-dessus.

> Réservoirs d'air

Un réservoir assure le maintien d'un certain volume d'air à la pression du réseau. Le réseau lui-même joue le rôle de réservoir ; à titre d'exemple, une conduite de 1 000 m de diamètre 150 mm représente un volume de 18 m³.

Les réservoirs sont des tampons qui évitent les chutes brutales de pression lors des pointes de consommation (il est préférable de limiter ces chutes à 1 bar), et qui réduisent le nombre de remises en compression ou de démarrages du moteur électrique du compresseur de régulation pour un écart « pression maxi-pression mini » donné. Il est judicieux de placer un réservoir juste avant un utilisateur ayant de gros débits non continus.

Dans le cas de réseaux équipés de compresseurs alternatifs, les réservoirs amortissent les pulsations de refoulement de ces machines.

Au-delà de leur rôle d'amortisseurs de pression, les réservoirs constituent également des points de purge centralisés ; il est donc judicieux de les équiper de décanteurs-déshuileurs pour répondre à la législation des Installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE).

Formule du volume V de réserve d'un réservoir tampon :

$$V = Q_{\text{moy}} \times t \times \frac{P_a - T}{P_{\text{max}} - P_{\text{min}}}$$

avec :

- Q_{moy}** : débit moyen des compresseurs (Nm³/h)
- t** : durée de la mise à vide dans un cycle « mise à vide + pompage » (mn)
- P_a** : pression atmosphérique (bar abs)
- P_{max}** : pression déclenchant l'arrêt du compresseur (bar abs)
- P_{min}** : pression déclenchant la marche du compresseur (bar abs)
- T_a** : température de l'air ambiant aspiré (°K)
- T** : température dans le réservoir (°K)

► Exemple 1

Pour un débit de 350 Nm³/h, une durée d'un cycle marche-arrêt de 5 mn, d'un taux de charge de 80%, d'une pression d'aspiration de 1 bar abs, de pressions de déclenchement P_{max} de 8,5 bar abs et P_{min} de 7,3 bar abs, de températures d'aspiration de 15°C et dans le réservoir de 25°C, et de temps d'arrêt sur un cycle de 5 x (1-80%) = 1 mn => le volume du réservoir est de 5 m³.

► Exemple 2

Pour passer une pointe de consommation avec un volume de réserve de 20 m³, un différentiel de pression de 1,7 bar, des températures $T = 25^{\circ}\text{C}$ et $T_a = 15^{\circ}\text{C}$, une pression P_a de 1 bar abs, et un débit de consommation de 1000 Nm³/h alors que le débit de production du compresseur est de 350 Nm³/h => la durée admissible de la pointe est de deux minutes.

> Vannes

Elles sont le plus souvent de type « quart de tour, à boule » ou « papillon », et sont choisies en fonction de leur section, leur encombrement et leur prix.



© Atlas Copco

Les bons conseils de l'ATEE

- Il ne faut pas oublier de vérifier leur adaptation à l'usage de l'air comprimé, et de mettre en priorité leur étanchéité et leurs faibles pertes de charge.
- Les vannes de type « quart de tour à boule, à passage intégral » sont recommandées pour limiter les pertes de charge.

> Raccords

Ils assurent le raccordement des canalisations flexibles aux canalisations rigides, et des utilisations au réseau. Ils sont de plusieurs types : les raccords « pompier » ou encore appelés « tête de chat », les raccords rapides, les raccords de sécurité, etc. Ils sont la source principale des fuites d'air comprimé d'une installation.



© Atlas Copco

Les bons conseils de l'ATEE

- Il est important de choisir des raccords de grande qualité, et il faut vérifier assez fréquemment leur étanchéité. Une attention particulière sera portée aux colliers à visser qui maintiennent les flexibles sur leurs cannelures et qui ont la mauvaise habitude de se desserrer au fur et à mesure des manipulations.
- Il est préférable d'utiliser des colliers à sertir plutôt qu'à visser, même s'ils présentent l'inconvénient d'être cassés et à remplacer lors d'un démontage des équipements.

> Filtres de ligne

Ils retiennent les particules liquides (huiles, eau) et solides (poussières) qui circulent dans le réseau.

Les cartouches des filtres génèrent des pertes de charge, estimées en moyenne pendant leur durée de vie à 0,3 bar dans un réseau à 6 bar.



Filtre à air au charbon actif

© Ingersoll Rand

Les bons conseils de l'ATEE

- Il est important d'assurer leur remplacement avec une périodicité suffisante (très variable, en fonction de leur taux d'encrassement).
- Leur utilité doit être vérifiée de temps en temps, car, à l'instar d'un certain nombre d'accessoires « historiques » du réseau, il arrive parfois que l'on découvre des filtres qui ne servent plus. Par exemple parce qu'une nouvelle filtration a été installée dans la salle des compresseurs, ou parce que les cartouches ne sont plus changées et sont totalement colmatées, ou parce qu'il n'y a plus de cartouche dans les corps de filtres...
- Il est très intéressant de faire en sorte que les filtres disposent d'un indicateur de colmatage (parfois en option) pour assurer un bon entretien de ces équipements.

> Filtres, régulateurs, lubrificateurs de bout de ligne : FRL

Ces équipements, généralement associés dans ce qui est appelé un « FRL », devraient systématiquement être installés aux extrémités des canalisations d'air comprimé, juste avant les utilisations.

- Filtres de bout de ligne

Les filtres de bout de ligne, aux mêmes fonctions que les filtres de ligne, sont la dernière protection des utilisations contre les particules diverses, juste avant leur connexion au réseau. Ils sont plus petits.

Les bons conseils de l'ATEE

Voir les filtres de ligne

- Régulateurs

Le rôle des régulateurs est de réduire et réguler la pression du réseau au niveau de celle(s) requise(s) par les utilisations. Ils doivent prendre en compte les variations de pression générées en amont dans le réseau et en aval par les utilisations. Ils peuvent permettre d'économiser un peu d'énergie en optimisant le niveau de pression utilisé, mais pas de récupérer l'énergie de détente.

Les bons conseils de l'ATEE

L'idéal est d'avoir autant de régulateurs que d'utilisations afin d'assurer une pression idéale à chaque utilisation.

- Lubrificateurs

Utiles pour lubrifier les pièces mobiles des outils pneumatiques, ces équipements sont installés juste avant les outils rotatifs et surtout pas avant les soufflettes ou les buses par exemple.

Les bons conseils de l'ATEE

- Eviter de positionner les lubrificateurs trop loin des utilisations, car cela conduit souvent à oublier de contrôler régulièrement leur remplissage ; les interruptions de la lubrification sont hautement préjudiciables à la longévité des outils.
- La lubrification des compresseurs ne dispense pas la lubrification des utilisations, car l'huile du compresseur perd ses qualités de lubrification dans le compresseur, et la lubrification des utilisations se fait normalement par brouillard d'huile.
- L'huile de lubrification des utilisations est généralement différente de celle des compresseurs dont les caractéristiques mécaniques sont plus sévères.

> Purges

Des purges sont installées à divers points du réseau de distribution pour évacuer l'eau condensée lors du refroidissement de l'air après sa compression. Un positionnement généralement retenu est le réservoir tampon. Tant la qualité de l'air comprimé délivré en aval que l'efficacité énergétique de l'installation dépendent du bon fonctionnement de ces purges.

Différentes techniques sont disponibles pour les purges :

- à commande manuelle ;
- automatique à flotteur mécanique (encrassement) ;
- cyclique avec temporisation par électrovanne qui fonctionnent selon une période prédéfinie : moins chère à l'achat tout en restant efficace ;
- capacitive à auto-déclenchement électrique par niveau (stockent les condensats, vidange actionnée par un flotteur) : les plus chères, mais les plus performantes.

Les bons conseils de l'ATEE

Les purges capacitatives comptent parmi les plus fiables et limitent au mieux les pertes dues aux échappements d'air comprimé

3.2.3. Les pertes de charge

Elles sont égales à la baisse de pression entre la sortie de la centrale de production d'air et l'utilisation. C'est le cas de la branche du réseau la plus défavorable qui conditionne le niveau de pression minimum requis à la sortie de la centrale. Les pertes de charge dépendent essentiellement de la géométrie et du schéma fonctionnel du réseau, de l'état de surface intérieur des tuyauteries et du dimensionnement des canalisations.

Les pertes de charge ont un impact très négatif sur la performance énergétique des installations d'air comprimé. Une chute de pression à l'utilisation dégrade rapidement les performances des équipements pneumatiques. A titre d'exemple, celles d'un outil, qui sont données pour une pression théorique de 6 bar, baissent de 25% à une pression de 5 bar.

Pour compenser rapidement l'impact des pertes de charge, il faut augmenter la pression à la source, ce qui impose une

augmentation de la puissance appelée par les compresseurs de l'ordre de 6% à 7% par bar supplémentaire à une pression voisine de 6 bar.

Ce coût supplémentaire est encore majoré par le fait que la hausse de la pression augmente les fuites. Par exemple, l'impact énergétique d'une fuite à 7 bar est 16,7% plus important qu'à 6 bar. Ainsi, si l'on retient un taux de fuite courant proche de 20%, l'impact sur la consommation énergétique d'une hausse de pression de 1 bar est globalement proche de 10% pour l'ensemble d'une installation. $[6,5\% + (20\% \times 16,7\% = 3,34\%) = 10\%]$.

Les bons conseils de l'ATEE

Il est très important, lors de l'installation d'un réseau, de soigner l'architecture du réseau, et de bien choisir la qualité et le diamètre des tuyauteries et des équipements.

> Géométrie et schéma fonctionnel, équipements : pertes par obstacles

Les pertes de charge imputables à la géométrie, au schéma fonctionnel et aux équipements sont générées par les turbulences provoquées par les changements brutaux de direction et par les obstacles. Les coudes, les raccords, les vannes, les filtres, les détendeurs, les régulateurs, les lubrificateurs, les équipements de mesure sont autant de perturbateurs de la progression de l'air et génèrent de nombreuses pertes de charge, surtout s'ils sont insuffisamment dimensionnés.

Pour estimer leur impact sur le réseau en termes de pertes de charge, il existe des abaques qui leur attribuent des valeurs en longueur équivalente de tuyauterie.

> Canalisations : pertes par frottement

La vitesse de l'air est généralement de l'ordre de 5 m/s, et peut aller jusqu'à 10 m/s. Les pertes de charge imputables à la canalisation sont générées par le frottement de l'air comprimé à l'intérieur des tuyauteries. Plus la canalisation est longue, plus le diamètre est faible, plus la surface interne est rugueuse ou déformée, plus la vitesse de l'air et la pression du réseau sont élevées, alors plus les pertes de charge sont importantes.

Les pertes de charge dans une canalisation se calculent de la manière suivante :

$$\Delta P = \frac{F \times L \times D^{1,85}}{d^5 \times P}$$

- ΔP = perte de charge en bar
- F = facteur d'écoulement (1.6 x 108 pour l'acier)
- L = longueur en m
- D = débit en m³/s
- d = diamètre intérieur du tube en mm
- P = pression en bar absolu

NB : quand ce calcul théorique s'avère par trop laborieux et peu précis, on peut se servir d'abaques.

Proportionnelles au carré de la vitesse de l'air, les pertes de charge sont relativement négligeables quand l'écoulement est normal avec des vitesses de passage de l'air dans les

canalisations jusqu'à 5 m/s. Mais, quand ces vitesses atteignent 10 m/s, voire 20 m/s, l'impact énergétique des pertes de charge est autrement significatif.

Les bons conseils de L'ATEE

- C'est à l'intérieur de la centrale de production de l'air comprimé et dans les premières canalisations situées en sortie de la centrale que pressions et débits sont les plus élevés dans le réseau. Les facteurs de pertes de charge y ont plus d'impact sur la performance énergétique de l'installation.
- Les tuyauteries posées à la création d'un réseau d'une usine ne sont habituellement pas changées lors des développements ultérieurs. Elles peuvent un jour s'avérer de diamètre insuffisant et provoquer des pertes de charge importantes, jusqu'à 1 à 3 bar pour des réseaux de pression de 6 à 10 bar. Il est donc recommandé de dimensionner largement les tuyauteries d'une nouvelle installation, en les choisissant d'une à deux tailles supérieures à ce qu'indiquent les calculs.
- Question matériau pour les tuyauteries, il vaut mieux éviter l'acier noir et l'acier galvanisé pour minimiser les pertes de charge.
- Compte tenu des prix aujourd'hui élevés de l'énergie, le remplacement de canalisations afin de diminuer les pertes de charge peut devenir rentable grâce aux économies d'énergie induites ; quelques ratios à garder en tête :
 - La division par 2 du diamètre d'une canalisation, en gardant le même débit d'air, augmente la vitesse de l'air et donc les frottements à tel point que la perte de charge est multipliée par ... 39.
 - Le doublement à l'identique d'une canalisation divise le débit de l'air par 2, donc la perte de charge par 4.
 - Le remplacement de deux canalisations de diamètre 120 mm par une canalisation de diamètre 170 mm (sections égales) maintient débit et vitesse de l'air aux mêmes niveaux, mais divise les pertes de charge par 3.2.

3.2.4. Etanchéité

Fuites (se reporter au chapitre 2.3.3)

Les bons conseils de L'ATEE

- Pour assurer la bonne réalisation des travaux sur les canalisations d'air comprimé, il est fortement recommandé de faire appel à du personnel spécialisé pour le gaz, car l'étanchéité d'un réseau gaz fait appel à des compétences que n'ont généralement pas les plombiers, spécialisés pour les fluides liquides.
- Les raccords à bille sont sensibles aux manques de précaution, ils ont tendance à devenir rapidement des facteurs de fuite.
- La maintenance doit porter une attention particulière aux canalisations flexibles en caoutchouc ou autres matières synthétiques qui sont plus fragiles.
- Il faut par-dessus tout se méfier des raccords « provisoires » qui ont tendance à « durer ».

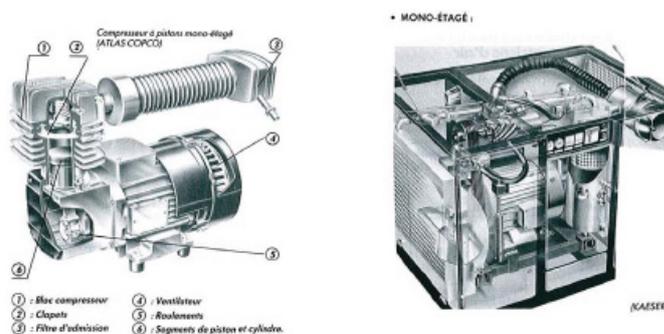
3.3. Conception/rénovation de la production d'air comprimé

3.3.1. Technologies des compresseurs

La compression parfaite en termes d'efficacité énergétique est une compression isotherme (à PV = constante). En pratique, il est impossible d'atteindre cet idéal, car cette solution nécessiterait un système de refroidissement parfait qui évacue en continu la totalité de la chaleur dégagée par la compression.

Pour s'en approcher, des systèmes de refroidissement à eau sont parfois installés, mais les tours de refroidissement nécessaires restent des outils volumineux et coûteux.

Une autre solution est la compression « multi-étages », justifiée pour des débits et pressions élevés. Plus onéreuse qu'une solution « mono-étage », elle introduit un refroidissement intermédiaire qui permet de s'approcher des conditions isothermes idéales, d'où une meilleure efficacité énergétique.



Les plus grosses machines peuvent être « multi-effet » : le même moteur entraîne deux blocs de compression en parallèle. On gagne en compacité, et généralement en coût quand les blocs sont standards.

Il existe deux grandes familles de compresseurs d'air industriel pour les utilités à moyenne pression (7 bar) :

> Les compresseurs volumétriques : la compression est obtenue par la réduction du volume de l'air absorbé

Compresseurs à pistons lubrifiés ou non lubrifiés



© Ingersoll Rand



© Atlas Copco

Compresseurs à vis lubrifiées ou non lubrifiées



© Atlas Copco



© Ingersoll Rand

Compresseurs à lobes non lubrifiés



© Atlas Copco

Compresseurs à spirales non lubrifiées



© Atlas Copco

Compresseurs à palettes lubrifiées
(surpresseurs à faible pression < 2 bar).



© ACER

Dans le cas d'une centrale de compression avec plusieurs compresseurs, la modulation est généralement assurée par un de ces compresseurs volumétriques, habituellement un compresseur à vis, bien adapté aux variations de débit.

> Les compresseurs dynamiques : les compresseurs centrifuges

Ces compresseurs sont équipés d'une turbine, toujours non lubrifiée. C'est la vitesse très élevée de l'air qui crée la compression : l'air est accéléré par une roue appelée « impulseur », et l'énergie cinétique obtenue se transforme en énergie potentielle de pression lorsque l'air est ralenti dans son entrée dans le diffuseur.

Cette technologie est peu adaptée aux débits intermédiaires : les compresseurs centrifuges sont les machines idéales (efficacité énergétique, absence de lubrification) pour produire en continu à leur niveau nominal, mais ils sont nettement moins performants énergétiquement pour les débits inférieurs au nominal. Quand il s'agit de moduler le débit produit, on leur préfère les compresseurs à vis (cf. supra).



© Ingersoll Rand



© Atlas Copco



© Ingersoll Rand

3.3.2. Energie spécifique

3.3.2.1. Production

Pour un compresseur pris individuellement, l'énergie spécifique du compresseur est l'énergie nécessaire pour fournir le débit d'air comprimé à pleine charge. C'est l'énergie effectivement absorbée par le compresseur rapportée au débit d'air comprimé délivré à la bride de sortie.

Comme le volume d'une certaine quantité de gaz, exprimé en m³, est dépendant de la température, de la pression et de la teneur en humidité de ce gaz, l'énergie spécifique est couramment exprimée en Wh/Nm³ (pour les unités, se reporter au chapitre 2.2.3.3).

Pour une installation complète de production d'air comprimé refroidi, traité, séché, filtré, et sans condensats, on parle d'énergie spécifique de production. C'est l'énergie totale consommée par tous les appareils et fonctions en service, dans le local dédié à la centrale, rapportée au débit d'air comprimé réellement délivré en sortie de l'installation. La mesure doit être réalisée avec un débitmètre corrigé en pression et température.

L'énergie spécifique de production est un indicateur qui se dégrade progressivement quand le niveau de charge du compresseur diminue. En effet, à l'autre extrémité de sa courbe d'utilisation, un compresseur qui tourne à vide consomme 1/3 de sa puissance à pleine charge sans produire de débit d'air comprimé. Toute situation intermédiaire est énergétiquement pénalisée par cette consommation initiale.

Par ailleurs, l'utilisation d'un compresseur à faible taux de charge peut générer des problèmes mécaniques dus par exemple à un échauffement supérieur. Il est généralement préférable de faire tourner les machines à taux de charge plus élevé en rejetant le débit d'air inutile à l'air libre.

On veillera donc à ne pas surdimensionner les machines pour éviter à la fois une mauvaise efficacité énergétique et une maintenance coûteuse.

Les bons conseils de l'ATEE

- L'énergie spécifique de production est un bon indicateur de la performance d'une centrale. En revanche, elle ne convient pas pour juger de l'efficacité d'une installation d'air comprimé globale d'une usine et peut mener à des conclusions erronées. En effet, les fuites du réseau améliorent l'énergie spécifique de production puisqu'elles font augmenter le taux de charge des compresseurs ; ainsi les fuites deviennent paradoxalement « facteurs d'efficacité » pour cet indicateur mal utilisé dans ce cas précis.

3.3.2.2. Utilisations

L'énergie spécifique aux utilisations est l'énergie totale absorbée par les installations d'air comprimé installées sur tout le réseau rapportée aux volumes d'air comprimé délivrés aux utilisations, c'est-à-dire après les déperditions dues aux fuites d'air comprimé.

C'est cette énergie spécifique « finale » qu'il faut utiliser pour comparer différentes solutions d'énergie pour un travail donné : air comprimé, électricité, diesel...

Les valeurs courantes d'énergie spécifique rencontrées pour l'air comprimé produit à 7 bar sont :

- 110 Wh/Nm³ pour un compresseur neuf à pleine charge dans les meilleures conditions ;
- 130 Wh/Nm³ pour des centrales avec régulation par vitesse variable ;
- 160 Wh/Nm³ pour des centrales avec régulation « tout-ou rien »
- compter environ 3% supplémentaires pour du séchage frigorifique ;
- compter environ 10% supplémentaires pour du séchage par adsorption électrique ;
- compter environ 20% supplémentaires pour du séchage par adsorption pneumatique ;
- compter en moyenne 30% de fuites d'air comprimé pour l'énergie spécifique aux utilisations ;
- 200 à 250 Wh/Nm³ sont les valeurs habituellement obtenues aux utilisations ; le niveau de 150 Wh/Nm³ aux utilisations apparaît comme un objectif difficile à dépasser.

3.3.3. Choix du ou des compresseurs

3.3.3.1. Taille

Dans un souci de cohésion de fonctionnement et de maintenance des installations, il est intéressant, quand on en a la possibilité, de s'orienter vers un parc de compresseurs de marque et de taille similaire.

Pour permettre la modulation du débit de la centrale, la meilleure solution est de produire le débit de base avec des compresseurs centrifuges, plus efficaces et non lubrifiés, et d'assurer la modulation avec un compresseur à vis à variation de vitesse (exempt d'huile pour ne pas polluer le réseau et ainsi ne pas avoir à ajouter d'équipements supplémentaires : filtres à huile, traitement des condensats...).

Le compresseur à vitesse variable (VEV) ne doit jamais fonctionner à moins de 20% de sa puissance nominale. Puisqu'il doit pouvoir moduler la plage de puissance d'un compresseur de base, il doit être choisi de la taille immédiatement supérieure pour fonctionner idéalement entre 20% et 120% de la puissance nominale d'un compresseur de base.

Les compresseurs de base sont choisis en nombre suffisant pour assurer le débit de pointe avec l'apport du compresseur à vitesse variable fonctionnant à son taux de charge nominal, et en base avec le compresseur à vitesse variable fonctionnant au taux de charge minimum de 20%.

Enfin, un compresseur de secours est indispensable ; il doit être de la taille des autres compresseurs de base s'ils sont identiques, sinon de la taille du plus gros des compresseurs de base de la centrale s'ils sont différents.

Ainsi, pour un besoin de pointe de Xm^3 , les combinaisons de compresseurs peuvent être les suivantes :

- $X/2 m^3 + (X/2 m^3 + 20\%) VEV + X/2 m^3$ (secours)
- $X/3 m^3 + X/3 m^3 + (X/3 m^3 + 20\%) VEV + X/3 m^3$ (secours)
- $X/4 m^3 + X/4 m^3 + X/4 m^3 + (X/4 m^3 + 20\%) VEV + X/4 m^3$ (secours), etc.

Les bons conseils de l'ATEE

La centrale doit être pilotée par un automate qui fournit les ordres de marche et d'arrêt aux machines en fonction de l'évolution du débit et en veillant à ce que le compresseur VEV soit toujours en ordre de régulation et jamais en base à sa puissance nominale. A l'inverse, il faut éviter qu'un compresseur sans VEV assure une modulation du débit, car l'énergie spécifique de production de la centrale serait significativement dégradée.

3.3.3.2. Technologie

Les principaux fabricants de compresseurs proposent actuellement sur le marché des machines d'une puissance allant jusqu'à 15 kW pour l'utilisation d'air standard industriel à une pression de 7 à 30 bar.

Les nouveaux compresseurs installés sont majoritairement des compresseurs à vis, lubrifiés ou non. Les autres technologies apparaissent réservées à des usages ou à des volumes et pressions spécifiques d'air comprimé.

Il serait difficile d'émettre des avis comparatifs tranchés sur les différentes technologies existantes, car le faire serait prendre parti pour des offres commerciales. Parmi les différentes solutions techniques, on retiendra :

- **Les compresseurs à pistons**, lubrifiés ou non : adéquats soit pour les petites puissances, soit pour les hautes pressions (plus de 20 bar).
- **Les compresseurs à spirales** : adéquats pour les petits besoins d'air comprimé exempt de lubrification ;
- **Les compresseurs à lobes** : adéquats pour les besoins moyens d'air comprimé exempt de lubrification ; ils sont de capacité supérieure aux compresseurs à spirales et inférieure aux compresseurs à vis exempts de lubrification ;
- **Les compresseurs à palettes** : adéquats pour les besoins petits et moyens d'air comprimé lubrifié ;
- **Les compresseurs volumétriques à vis** : adéquats pour les besoins importants d'air comprimé, non lubrifiés quand l'air doit être de bonne qualité.
- **Les compresseurs centrifuges** : adéquats pour les besoins importants et très importants d'air comprimé, surtout quand celui-ci doit être de très bonne qualité.

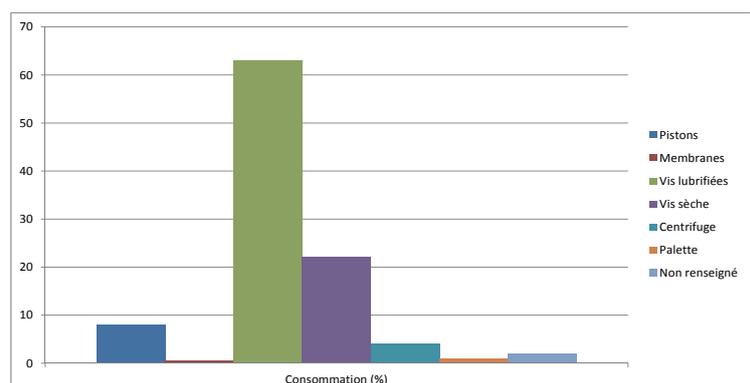
Pourquoi une lubrification ? Pour une question d'investissement initial, car pour des compressions d'air comprises entre 7 et 10 bar, la solution lubrification ne nécessite qu'un seul étage de compression. Sans lubrification, il faut des compresseurs non lubrifiés montés en deux étages de compression, avec refroidissement intermédiaire entre les étages, ce qui renchérit nettement l'investissement.

Si l'on opte pour la lubrification, il convient également d'installer des équipements supplémentaires pour le filtrage de l'huile et le traitement des condensats souillés.

Finalement, le bilan technico-économique de la solution lubrification est à étudier de près par rapport à une solution non lubrifiée :

- la maintenance des machines lubrifiées est plus onéreuse ;
- des équipements supplémentaires doivent être achetés et installés (coûts de main-d'œuvre et occupation de l'espace) ;
- les consommations électriques augmentent considérablement pour compenser les pertes de charge entraînées par les équipements supplémentaires ;

Répartition de la consommation des compresseurs d'air par type (moteur > 10 kW)



Source : Etude CEREN 2009 pour l'ADEME, EDF et RTE

- des coûts d'exploitation nouveaux apparaissent : des vidanges d'huile régulières, des changements de cartouches de filtres, des opérations de désencrassement, etc. Ces coûts apparaissent en augmentation constante à mesure que la réglementation environnementale devient plus sévère, notamment pour les installations classées ICPE.

Les bons conseils de l'ATEE

Quand les niveaux de production d'air sont importants, l'investissement supérieur d'une compression non lubrifiée « multi-étages » n'est généralement pas économique pour une utilisation de durée inférieure à deux ans, mais il le devient pour une utilisation de plus longue durée (cinq à dix ans), surtout si l'on prend en compte le durcissement régulier des réglementations environnementales liées à l'utilisation et aux rejets d'hydrocarbures.

3.3.3.3. Motorisation : VEV et haut rendement (asynchrones, à aimants permanents)

Lors de l'acquisition d'une nouvelle machine (compresseur, et aussi auxiliaire), il convient de regarder de près les caractéristiques de rendement des moteurs électriques, en se rappelant que sur une durée de vie de dix ans, le coût global d'un moteur électrique se répartit généralement en 2% à l'achat, 3% pour la maintenance et 95% pour la consommation électrique.

Pour ces raisons, il est intéressant de s'orienter vers les moteurs les plus énergétiquement performants : les moteurs de classe IE3 (Premium) de la norme européenne CEI 60034-30 concernant les moteurs à induction triphasés à cage. A noter que la classe IE2 (équivalent de l'ancienne classe EFF1) est devenue la classe minimum sur les marchés français et européen.

La variation électronique de vitesse (VEV) dont sont équipés ces moteurs permet de maintenir des rendements performants en dehors du fonctionnement à pleine charge, c'est-à-dire pendant les phases de régulation et de modulation de débit.

Les bons conseils de l'ATEE

Le choix de moteurs à haut rendement est à privilégier lors du remplacement de compresseurs, car la mise en place de tels moteurs (classe IE2 minimum) est une opération qui permet de bénéficier de CEE (certificats d'économie d'énergie), conformément à la fiche IND-UT-12 «Moteur haut rendement IE2» (cf Annexe 1).

3.3.3.4. Régulation du compresseur

La régulation joue un rôle important pour assurer une bonne efficacité fonctionnelle et énergétique du compresseur. Les divers modes de régulation, qui ont des impacts techniques et économiques différents, ne sont pas forcément appropriés pour tous les types de compresseurs :

- **marche-arrêt** : mode de régulation réservé aux plus petits compresseurs ;
- **« Tout-ou-rien »** : le compresseur tourne à vide et se remet à comprimer quand la pression tombe sous un seuil de 0,5 à 1

bar en dessous de la pression maximum du réseau. Ce mode est énergétiquement peu performant, car un compresseur consomme à vide près du tiers de l'énergie consommée à pleine charge. Les compresseurs à vis sont habituellement choisis pour ce type de régulation ;

- **progressif, par étranglement à l'aspiration (laminage)** : le compresseur fonctionne par rapport à un index de pression (sauf dans les faibles taux de charge dans le cas de régulation mixte). Ce mode est également énergétiquement peu performant, car il fait croître les taux de compression et l'énergie spécifique de compression à mesure que l'étranglement augmente ;

- **par valve spirale** : une valve spirale assure une modulation du débit par une variation non pas de la vitesse, mais du volume mobilisé, en introduisant l'air aspiré plus ou moins loin dans le bloc d'un compresseur à vis ;

- **par variation électronique de vitesse (VEV) du moteur électrique** : possible quand les moteurs du compresseur sont asynchrones, synchrones ou à aimants permanents. Le compresseur fonctionne autour d'un index de pression et la régulation fait varier la vitesse de la machine afin de produire le débit sollicité. C'est le mode de régulation des compresseurs à vis ;

- **par vanne de régulation à l'aspiration ou par vanne de « blow-off » (aubages directeurs associés à une vanne de mise à l'atmosphère)** : mode de régulation des compresseurs centrifuges qui doivent fonctionner à leur débit nominal. Ce mode n'est pas « énergétiquement correct », car il dégrade rapidement l'énergie spécifique aux utilisations des compresseurs. Il ne peut se justifier que pour de faibles variations du débit nominal (comprises entre 15% et 25%). Si la production doit baisser davantage, il faut un autre mode de régulation, car les pertes d'énergies deviennent trop importantes.

3.3.4. Régulation de la centrale de compression

La régulation de la centrale de compression est, plus encore que les performances individuelles de chacun de ses compresseurs, la condition essentielle d'une énergie spécifique de compression performante et d'une exploitation fiable et économique de la fonction compression de l'usine.

La régulation doit distribuer la charge de travail entre les machines afin d'optimiser les occurrences des opérations périodiques de maintenance, ou les changements de pièces maîtresses tels que les échanges standards des blocs-vis des compresseurs à vis.

Elle doit aussi piloter l'installation de la façon la moins énergivore possible – rappelons que l'énergie représente en moyenne 75% des coûts d'exploitation des centrales d'air comprimé.

Dans le cas d'une centrale équipée de plusieurs compresseurs centrifuges, la solution qui ne demande pas d'investissement est soit une régulation « tout-ou-rien » d'un des compresseurs si quelques changements d'état dans l'heure suffisent (trois au maximum), soit une régulation avec une faible variation simultanée du débit (de 15% à 25%) de tous les compresseurs de façon à globalement générer une modulation suffisante.

Ce dernier mode de régulation nécessite un automate très performant et un réglage particulièrement précis des index de pression de toutes les machines pour assurer une simultanéité parfaite de leur fonctionnement. L'idéal, pour moduler le débit d'une centrale de compresseurs centrifuges, reste l'intégration d'un compresseur à vis à variation électronique de vitesse (VEV) dans le parc de machines.

Les équipements de traitement d'air comprimé, particulièrement les sècheurs d'air comprimé (importance des points de rosée et des cycles de régénérations), et les unités de séparation d'huile des condensats peuvent nécessiter des régulations assez sophistiquées.

3.3.5. Auxiliaires

3.3.5.1. Sècheurs

Le séchage de l'air est indispensable pour éviter la corrosion quand les tuyauteries sont en acier noir ou galvanisé, ou dans le cas où le réseau est équipé d'une instrumentation qui réclame de l'air particulièrement sec.

Les compresseurs entraînent dans les canalisations l'humidité de l'air ambiant aspiré. Il faut sécher cet air une fois qu'il a été comprimé. Pour ce faire, on utilise des sècheurs qui en réalité retiennent les gouttelettes d'eau condensée. La qualité de l'air comprimé est régentée par la norme ISO 8573-1 à laquelle il faut se référer pour déterminer les performances du séchage nécessaire.

Il existe deux grandes familles de sècheurs : les sècheurs frigorifiques (par refroidissement), pour des points de rosée proches de +3°C sous pression et les sècheurs par adsorption (par contact), pour des points de rosée inférieurs, de -20°C à -70°C sous pression.

3.3.5.1.1. Les sècheurs frigorifiques

Le principe consiste à refroidir le mélange air comprimé/vapeur d'eau, d'où la condensation de la vapeur d'eau. Ils utilisent des fluides frigorigènes dont il est important de vérifier la conformité à la réglementation en vigueur et à ses évolutions. Ces équipements au fonctionnement délicat nécessitent l'intervention de frigoristes agréés. Ces sècheurs consomment couramment 2% à 3% de l'énergie nécessaire pour une compression d'air à 7 bar.



© Mark

Ces machines ne sont pas très puissantes, car 2 à 3 kW suffisent pour 1 000 m³/h à 7 bar. L'enjeu est plus qualitatif qu'énergétique.

Il existe plusieurs systèmes de sècheurs frigorifiques :

- Sècheurs frigorifiques à détente directe

L'air comprimé est d'abord pré-refroidi dans un échangeur entrée d'air comprimé chaud/sortie d'air comprimé frais. Dans un deuxième temps, l'air est refroidi jusqu'à la température de rosée dans un évaporateur air/fluide frigorigène. L'eau condensée est retenue avec ses impuretés (huiles, poussières)

par un séparateur qui est purgé automatiquement. Le traitement des condensats séparés nécessite une surveillance particulière pour des raisons de protection de l'environnement (présence d'hydrocarbures).

- Sècheurs frigorifiques à liquide frigoporteur intermédiaire

Pour les sècheurs plus gros, un circuit intermédiaire d'eau glycolée est ajouté. L'eau glycolée circule à contre-courant de l'air comprimé dans un échangeur air/eau pour refroidir l'air jusqu'à la température choisie. Au cours de cette opération, l'eau s'échauffe d'abord de quelques degrés, puis durant la phase suivante elle est refroidie dans l'évaporateur jusqu'à sa température initiale. Ce dispositif permet de traiter efficacement de gros débits d'air comprimé et d'envoyer les calories vers des aéro-réfrigérants secs ou humides.

- Sècheurs frigorifiques à masse thermique

Le principe de fonctionnement est proche de celui des sècheurs frigorifiques à détente directe ; la différence réside d'une part dans la plus grande inertie des montées et descentes en température, et d'autre part dans les fluctuations du point de rosée due à l'adjonction d'une masse thermique intermédiaire (solide ou liquide) autour des échangeurs de l'appareil.

Les bons conseils de l'ATEE

- Le moteur électrique du groupe compresseur frigorifique des sècheurs peut être équipé du dispositif de régulation VEV, et donc prétendre à l'attribution de CEE (Certificats d'économies d'énergie).
- L'enjeu énergétique étant relativement faible (2% à 3% de la consommation énergétique des compresseurs), l'investissement VEV n'est rentable que pour les gros sècheurs (> 50 kW).
- Il faut se méfier de la température affichée sur le sécheur, car il s'agit souvent de la température du fluide frigorigène, supérieure au point de rosée ; ajuster cette température au niveau du point de rosée ne suffit pas pour que soient respectées les spécifications du sécheur.

3.3.5.1.2. Sècheurs par adsorption

Ces sècheurs requièrent un air déshuilé. Si l'usine est équipée de compresseurs avec lubrification, les sècheurs sont nécessairement précédés en amont de filtres dépoussiéreurs et dévésiculateurs (eau + huile). Le principe de fonctionnement est basé sur l'affinité physique de rétention de la vapeur d'eau de certains produits comme le sulfate d'alumine. Les points de rosée de fonctionnement sont généralement inférieurs ou égaux à -20°C.



© Atlas Copco

Ils sont plus gourmands en énergie électrique ou pneumatique que les systèmes de séchage par réfrigération. Ils sont habituellement constitués de deux colonnes : pendant que l'une sèche l'air comprimé, l'autre est mise en mode régénération. Le cycle dure environ deux minutes.

Il existe quatre modes principaux de régénération par adsorption :

- Sans chaleur

Cette solution est la plus onéreuse du point de vue énergétique, car de l'air séché est prélevé dans la colonne en service pour être injecté dans l'autre colonne afin de régénérer la matière adsorbante. A des pressions proches de 6 à 7 bar, ces sècheurs prélèvent 15% à 20% du débit d'air comprimé séché. Pour limiter la consommation d'air séché de régénération, les cycles de ces sècheurs peuvent être pilotés en fonction du point de rosée. Cette configuration est réservée aux sècheurs à gros débit.

- Par chaleur externe

L'air ambiant circule avant compression dans des colonnes adsorbantes chauffées généralement par des résistances électriques extérieures, ou parfois par de la vapeur d'eau ou de l'eau surchauffée. Le flux d'air est généré soit par ventilation, soit par dépression au moyen d'une pompe à vide.

A des pressions d'air de 6 à 7 bar, ces sècheurs consomment 10% à 12% de l'énergie nécessaire à la compression. Ils sont moitié moins onéreux en énergie que le mode précédent de régénération sans chaleur.

- Par chaleur interne

Même principe que précédemment, mais des résistances électriques sont placées à l'intérieur des colonnes adsorbantes. Une attention particulière doit être apportée au risque de surchauffe des particules adsorbantes, selon le débit, la pression et la température de l'air comprimé. Par ailleurs, si les résistances électriques internes sont directement en contact avec les particules adsorbantes, il faut éviter que les particules se déposent sur les résistances, car cela diminuerait la performance calorifique des résistances.

- Par air comprimé chaud et recyclé

Ces sècheurs se présentent soit sous la forme de sècheurs à deux colonnes, soit sous la forme de sècheurs à tambour (roue Munters). Ils utilisent dans les deux cas une partie de l'air très chaud, exempt d'huile, envoyé par un compresseur dédié pour régénérer les particules adsorbantes. L'air chaud régénérateur est ensuite refroidi et réinjecté en amont du sécheur pour être traité à son tour. Ce mode est le plus économique en termes d'énergie, mais il nécessite un air exempt d'huile et son utilisation est limitée à certains types de compresseurs. Chaque sécheur est accouplé à un compresseur.

La consommation énergétique des sècheurs à tambour est très faible, car limitée à celle du moteur qui entraîne à petite vitesse le tambour contenant les particules adsorbantes. Ceci quel que soit le débit et avec une perte de charge de l'ordre de 0,25 bar (soit 2% d'énergie à 7 bar).

3.3.5.1.3. Combinaison sècheurs frigorifiques/sècheurs par adsorption

Un séchage frigorifique est utilisé en base pour l'ensemble des utilisations. Il est complété par un séchage par adsorption, utilisé notamment pendant les périodes les plus froides dans les régions soumises au gel.

Cette disposition permet d'une part de soulager la charge du sécheur par adsorption en économisant une partie de l'énergie consommée, et d'autre part d'atteindre des points de rosée très bas.

Comparaison des performances :

	Sans chaleur	Régénération par chauffage	Régénération par air chaud extérieur	Régénération par air chaud comprimé	Combinaison froid+adsorption
Point de rosée	-20°C à -40°C	-20°C à -40°C	-20°C à -40°C	-20°C à -40°C	-60°C à -80°C
Consommation pour 1 000 Nm ³ /h à 7 bars	15 kWh/h + air détendu (non négligeable)	8,5 kWh/h	8 kWh/h	<= 2,5 kWh/h	4,1 kWh/h

3.3.5.1.4. Sècheurs à perméation par membrane

L'air comprimé traverse des fibres creuses et poreuses qui bloquent les molécules d'eau. L'air ainsi asséché est dirigé vers le réseau. Des filtres dépoussiéreurs et dévésiculateurs (eau/huile) doivent être installés en amont des unités de séchage. Ces équipements sont habituellement compacts.

Ce mode de séchage est réservé au traitement de petits débits allant jusqu'à 150 m³/h, pour des points de rosée variables entre 10°C et -40°C. Généralement décentralisé, il permet d'assurer une protection des équipements sensibles quelque soit la qualité de l'air délivré par la centrale de compression.

La consommation d'air comprimé est d'environ 10%.

Les bons conseils de l'ATEE

Etudier les possibilités de subvention par des Certificats d'économies d'énergie (cf. fiches en annexe)

3.3.5.2. Lubrification des utilisations

Il existe sur le marché des outillages et automatismes sans lubrification, mais la plupart des outils et appareillages pneumatiques nécessitent une lubrification par brouillard d'huile. Les gouttelettes du brouillard idéales pour lubrifier les utilisations sont de taille comprise entre 0,3 micron et 0,01 micron.

N. B. L'huile de lubrification des compresseurs, spécialement formulée pour la production d'air comprimé, perd son pouvoir de lubrification et se charge de particules pendant la compression ; cette mixture ne conviendrait pas à la lubrification des utilisations et doit être séparée en sortie de centrale.

Les bons conseils de l'ATEE

La localisation des postes de lubrification des utilisations est importante si l'on veut s'assurer d'un remplissage régulier, car cette opération fait partie de celles qui « s'oublie » facilement.

3.3.5.3. Séparation des condensats

> Réglementation

Les installations de production d'air comprimé entrent dans la nomenclature des Installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE). Les condensats récupérés quand la compression est lubrifiée sont chargés d'hydrocarbures avec des teneurs pouvant atteindre jusqu'à 10 g/l.

Ces rejets sont particulièrement nuisibles à l'environnement, car ils sont difficilement biodégradables, ils entravent l'apport d'oxygène (DCO) et perturbent l'efficacité du processus d'épuration des boues par décomposition. La législation relative aux rejets d'hydrocarbures rend obligatoire le traitement de ces effluents polluants : Décret N°77-1133 du 21 septembre 1977, loi du 13 juillet 92, décret du 20 décembre 93, arrêté du 2 février 1998.



© Atlas Copco

Les valeurs de rejet sont notifiées par la réglementation. Pour les installations non classées, elles sont de 20 mg/l ; pour les installations classées, elles sont de 10 mg/l si le rejet dépasse 100 grammes de condensats par jour. Ces valeurs peuvent être durcies jusqu'à 5 mg/l par les autorités locales suivant les régions. Se renseigner auprès des agences de la Dreal, la préfecture, la sous-préfecture, ou la mairie.

Les contrôles sont en général effectués par les agents de la Dreal ou par leur délégation. D'autres fonctionnaires sont légalement autorisés à les réaliser : les agents appartenant aux douanes, à la Répression des fraudes, à l'Office national de la chasse, à l'Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer, aux officiers de port, à l'O.N.F., aux Parcs nationaux ; et les gardes champêtres.

> Équipements nécessaires

- Purges capacitatives

Tous les éléments d'une station d'air comprimé : les compresseurs, les sècheurs frigorifiques, les filtres, les cuves nécessitent l'utilisation de purgeurs automatiques de condensats. Dans le cas d'un système de traitement spécifique des condensats, il faut prévoir l'utilisation de purgeurs capacitatives adaptées à son bon fonctionnement.

- Séparateurs de condensats, unités de base

Les unités de base pour 20 mg/l utilisent une chambre de détente où les condensats arrivent sous pression, un collecteur où s'accumulent les impuretés solides, puis un réservoir séparateur où l'huile remonte à la surface par gravitation avant d'être évacuée vers un réservoir collecteur.

Le condensat doit ensuite traverser un système de filtrage par préfiltre coalescent puis un filtre à adsorption au charbon actif pour que soient retenues les dernières particules d'hydrocarbures. Ces unités deviennent plus complexes quand il s'agit d'atteindre 5 à 10 mg/l.

- Par membrane

Le même procédé est utilisé dans les unités de base avant d'alimenter un procédé d'ultrafiltration, après stockage intermédiaire dans une cuve tampon. Puis les molécules d'eau et d'huile sont filtrées : l'eau passe à travers la membrane d'ultrafiltration, et l'huile est retenue. L'eau épurée peut être rejetée à l'égout.

- Par floculation

Après le même procédé utilisé dans l'unité de base, une pompe aspire l'effluent à épurer dans la cuve de traitement de l'unité de fractionnement. Le traitement de l'effluent y est réalisé par l'ajout d'un floculant. Puis le fractionnement et la séparation de l'émulsion s'effectuent en une seule opération. Les particules d'huiles et les impuretés sont enrobées par le floculant et forment des flocons plus facilement filtrables qui sont acheminés dans des sacs et y sont filtrés. L'eau épurée peut être rejetée à l'égout.

3.3.5.4. Filtration de l'air comprimé

L'air comprimé doit être filtré pour éviter toute pollution et pour ne pas faire monter inutilement les coûts avec des entretiens plus fréquents et une génération plus rapide des fuites d'air. Il convient toutefois d'éviter le surdimensionnement de la filtration qui affecterait le rendement des installations.

La qualité de l'air comprimé est définie par la norme 8573-1 qui présente différentes classes selon la concentration en particules solides, en humidité (vapeur ou liquide), et en huile résiduelle. Le tableau ci-dessous précise les conditions de classement.

ISO8573-1:2010 CLASS	Solid Particulate				Water		Oil
	Maximum number of particles per m ³			Mass Concentration mg/m ³	Vapor Pressure Dewpoint	Liquid g/m ³	Total Oil (aerosol liquid and vapor) mg/m ³
	0.1 - 0.5 micron	0.5 - 1 micron	1 - 5 micron				
0	As specified by the equipment user or supplier and more stringent than Class 1						
1	≤ 20,000	≤ 400	≤ 10	-	≤ -100°F (-70°C)	-	0.01
2	≤ 400,000	≤ 6,000	≤ 100	-	≤ -40°F (-40°C)	-	0.1
3	-	≤ 90,000	≤ 1,000	-	≤ -4°F (-20°C)	-	1
4	-	-	≤ 10,000	-	≤ +37.4°F (+3°C)	-	5
5	-	-	≤ 100,000	-	≤ +44.6°F (+7°C)	-	-
6	-	-	-	≤ 5	≤ +50°F (+10°C)	-	-
7	-	-	-	5 - 10	-	≤ 0.5	-
8	-	-	-	-	-	0.5 - 5	-
9	-	-	-	-	-	5 - 10	-
X	-	-	-	> 10	-	> 10	> 10

La qualité de l'air comprimé délivré a une grande importance, car elle peut être la source d'une contamination (virus et bactéries), ou d'une pollution par des hydrocarbures (huile à l'état de vapeurs, aérosols et liquides s'il y a lubrification), par des gaz divers parfois toxiques (CO, CO₂, H₂S, NO_x), par des poussières présentant une forte agressivité (pH compris entre 3 et 4)...

D'autres polluants peuvent apparaître au niveau des utilisations : des particules métalliques, de la rouille, de la calamine, etc., ainsi que de l'humidité résiduelle (même quand un séchage est installé en centrale).

L'huile, dégradée et mélangée aux poussières et à l'humidité, génère dans les réseaux de distribution des aérosols qui font une « mayonnaise » très abrasive. Celle-ci peut être responsable d'une usure prématurée des joints et des organes des vérins et distributeurs, des outillages et de tous les appareillages pneumatiques en général, et finit fatalement par conduire à des dysfonctionnements. L'encrassement des filtres finaux, des organes de commande, des distributeurs pneumatiques, des silencieux d'échappement peuvent également être à l'origine d'autres dysfonctionnements qu'il est préférable d'éviter.

Ces aérosols indésirables, d'une taille généralement comprise entre 0,3 micron et 0,01 micron, sont facilement captés par les filtres coalesceurs. Ces filtres industriels retiennent des particules jusqu'à 0,01 mg/m³ et ont des seuils de filtration de 0,01 micron. Ils sont placés en centrale, et/ou en décentralisé près des points d'utilisation.

> Stérilisation de l'air comprimé

Dans certains cas d'utilisation, il peut être également nécessaire de stériliser l'air comprimé pour qu'il soit exempt de micro-organismes. Un filtre stérile est alors installé au plus près du point d'utilisation afin de retenir avant les procédés les éventuels micro-organismes ayant migré depuis le traitement primaire de l'air comprimé.

Ces micro-organismes sont retenus à 0,01 micron avec une efficacité supérieure à 99,99% et détruits par un cycle de stérilisation. Cette stérilisation se fait soit en autoclave, et il y a risque de contamination pendant les manipulations, soit plus sûrement en ligne avec de la vapeur.

> Etages de filtration

La filtration se fait généralement en plusieurs étapes. D'abord un premier étage assure une préfiltration pour atteindre la « classe 2 » de la norme ISO 8573-1 suffisante pour la plupart des utilisations d'air industriel, encore appelé air puissance, air moteur, etc.

Un deuxième étage assure ensuite une filtration fine pour atteindre la « classe 1 » de la norme ISO 8573-1, nécessaire pour les utilisations sensibles, appelée air instrumentation, air régulation, etc.

Puis peuvent éventuellement se succéder des étages de filtration de l'air comprimé au charbon actif pour déshuiler (0,003 mg/m³), désodoriser (usages agroalimentaires par exemple) ou encore stériliser l'air comprimé.

Pour ces usages qui demandent des caractéristiques supérieures aux spécifications de la classe 1 de l'ISO 8573-1, on utilisera le terme de « classe 0 ».

Les caractéristiques des filtres sont généralement données pour une température d'air comprimé de 21°C. Une augmentation de la température et/ou de l'humidité de l'air comprimé fait rapidement évoluer à la hausse les quantités de vapeurs d'huile et d'huile résiduelles dans l'air comprimé. D'où, d'une part, une accélération du colmatage des cartouches filtrantes et donc du rythme de leur remplacement, et, d'autre part, une hausse des pertes de charge cumulées.

> Inconvénients de la filtration

La filtration présente des inconvénients, particulièrement en termes d'énergie.

Les filtres installés en ligne augmentent les pertes de charge de 0,3 bar en moyenne par cartouche de filtre pendant leur durée d'utilisation. Chaque filtre est ainsi responsable d'une surconsommation énergétique de l'ordre de 2 à 3% (+1 bar = +6% à +7% d'énergie pour les compresseurs). Il est recommandé de limiter au strict nécessaire leur nombre, ainsi que le degré de filtration recherché. La production d'air comprimé sans lubrification, qui permet d'éviter la filtration pour déshuilage, est une solution souvent retenue dans le cas d'une utilisation intensive d'air comprimé et/ou si l'on veut que l'air soit de qualité « classe 0 ».

Les bons conseils de l'ATEE

- Les filtres sont généralement placés au niveau de la production et au niveau des utilisations. Parfois, de vieux filtres peuvent être repérés ailleurs dans le réseau. Il est bon de périodiquement vérifier leur intérêt, car il arrive que certains événements, tels que par exemple l'installation d'une nouvelle filtration dans la salle des compresseurs pour simplifier l'architecture du réseau, auront rendu ces anciens filtres parfaitement inutiles.
- Tous les filtres inutiles génèrent des pertes de charge, ils doivent impérativement être supprimés, à l'instar des autres vieux équipements (vannes, purges...), « verrues oubliées » dans le réseau.
- D'autres cas de figure typiques sont à traiter en urgence, tels que les filtres colmatés faute de remplacement des cartouches, ou les filtres sans cartouche.
- Il est important de limiter les installations et les différents équipements de traitement d'air comprimé au strict nécessaire pour atteindre la qualité requise pour les utilisations. Tout suréquipement de séchage ou de filtration entraîne irrémédiablement une hausse des coûts d'exploitations, non seulement à cause du nombre de pièces et de cartouches filtrantes supplémentaires, mais encore et surtout parce que les pertes de charge générées se traduisent par une augmentation de la facture énergétique (1 bar = 6% à 7% d'énergie supplémentaire).

3.3.5.5. Refroidissement

Il est important de souligner la nécessité d'un refroidissement des compresseurs et des sécheurs pour obtenir les meilleures performances énergétiques, le maintien de leur fiabilité et la meilleure qualité d'air comprimé. Ces dispositifs de refroidissement, communs à beaucoup de machines tournantes (compresseurs d'air, de froid, machines de procédés, etc.), demanderaient tout un guide particulier. Ne seront ici évoqués que les principaux aspects.

Pour un compresseur volumétrique, le rendement est d'autant meilleur que la quantité d'air produit est élevée et que le travail nécessaire à cette production est faible. Ainsi, plus l'air introduit dans le compresseur est frais, plus il est dense pour un même effort mécanique, plus les calories sont évacuées efficacement pendant la compression, et plus on se rapproche d'une compression isotherme idéale qui nécessite un moindre temps de travail. Le rendement de la compression est proportionnel à la température donnée en degrés Kelvin.

A titre d'exemple, le rendement de compression d'une machine avec de l'air entrant à 25°C (soit 298° kelvin) augmente de 10/298, soit 3,4%, si la température de l'air entrant baisse de 10°C pour passer à 15°C. C'est pour cette raison qu'il faut apporter une importance particulière à la température de l'air aspiré. Il est toujours rentable de capter un air plus frais à l'extérieur des locaux, de réaliser des gainages de ventilation des compresseurs refroidis par air pour évacuer les calories...

Les conditions d'ambiance jouent de la même façon un rôle important pour les sécheurs, les sécheurs frigorifiques en particulier.

Le refroidissement par eau des machines est une bonne solution quand les productions sont importantes ou les conditions d'ambiance difficiles. Il reste à évacuer les calories captées par l'eau vers des dispositifs tels que les aéro-réfrigérants secs ou humides, en tenant compte pour ces derniers des problématiques liées à la prolifération possible de légionelles.

Les bons conseils de l'ATEE

- Il est fortement déconseillé d'utiliser le réseau d'eau glacée. En effet, d'une part le bilan énergétique est largement en défaveur d'une telle solution, et d'autre part un refroidissement à une température trop basse de l'huile du compresseur peut avoir des conséquences néfastes sur sa lubrification et son fonctionnement. Par ailleurs, il existe toujours un risque de contamination de l'eau glacée par l'huile, ce qui est fortement préjudiciable dans certains secteurs tels que l'industrie agroalimentaire.
- Si les configurations hydrogéologiques sont favorables, il peut être envisagé un refroidissement des machines au moyen d'une « géothermie inverse » : un puits de production, un échange, un puits de réinjection. Ce type de projet nécessite de regarder attentivement la qualité de l'eau et la capacité de la nappe phréatique. Un dossier administratif spécifique est alors requis pour lequel il est conseillé de recourir aux services d'un hydrogéologue.

3.3.5.6. Récupération de chaleur

Les dispositifs de refroidissement des compresseurs offrent la possibilité de récupérer la chaleur des compresseurs pour d'autres usages.

Il existe des facteurs limitants : les déperditions dans le transport, la disponibilité des machines, la possibilité de récupérer la chaleur lorsque le compresseur n'est qu'en charge partielle, le niveau des températures véhiculées par rapport aux besoins. Dans certains cas, la chaleur récupérée ne peut être considérée que comme une source auxiliaire disponible uniquement pendant les périodes de production.

Sur les compresseurs refroidis par air, la récupération de l'air chaud véhiculé dans les gaines de ventilation peut permettre de récupérer jusqu'à 95% de la chaleur dégagée par le compresseur. Il faut bien entendu veiller au respect de la réglementation sur la qualité sanitaire de l'air chaud obtenu, surtout si les compresseurs sont lubrifiés.

La plupart des compresseurs refroidis par air peuvent être équipés de kits standards de récupération de chaleur comportant un échangeur huile/eau. Ces dispositifs permettent, dans les conditions habituelles de fonctionnement, de récupérer une eau à des températures proches de 70°C, ce qui représente près de 70% de l'énergie appliquée. Cette récupération de chaleur peut générer l'attribution de certificats d'économies d'énergie (cf. fiches CEE réf. IND-UT-03 et IND-UT-09 figurant en annexe).

D'autre part, les compresseurs refroidis directement par eau se prêtent particulièrement bien à la récupération de chaleur du fait de l'excellent pouvoir calorifique de l'eau : près de 95% de l'énergie peut être récupérée aux mêmes températures que précédemment. A noter le cas particulier des compresseurs exempts de lubrification qui, avec une adaptation de circonstance, permettent d'obtenir une température proche de 95°C.

Les bons conseils de l'ATEE

Par précaution, il est recommandé de conserver les dispositifs de refroidissement initiaux des machines afin de pouvoir assurer leur bon fonctionnement en regard de la fluctuation quotidienne et de la disparition périodique des besoins de récupération d'énergie.

3.3.6. Implantation de la centrale

La configuration, le positionnement et la localisation des machines sont à étudier soigneusement :

- l'accessibilité des machines : pour faciliter les interventions de maintenance, et notamment s'assurer de la possibilité de manutention d'équipements lourds comme les moteurs électriques ; par exemple, au-delà de 75 kW, prévoir un rail ou un portique mobile au-dessus des machines ;
- l'emplacement des machines : pour anticiper une éventuelle introduction de nouveaux équipements ;

- la qualité mécanique du sol : il doit être capable de supporter la charge statique et être adapté au fonctionnement des machines ;
- une situation la plus centrale possible par rapport aux utilisations : pour limiter les réseaux et pertes de charge ;
- la pression dans le local : elle doit être la plus proche possible de la pression atmosphérique standard (1 bar) pour éviter tout phénomène de mise en dépression de la salle. L'altitude influe bien entendu sur ce paramètre ;
- les conditions d'ambiance dans les salles des machines : d'une part, la température ambiante ne doit pas excéder 40°C, et d'autre part, il faut généralement assurer la mise hors gel des équipements pendant l'hiver ;
- l'orientation de la prise d'air : tournée vers le nord pour que l'air soit plus frais (dans l'hémisphère nord !), en évitant d'être face aux vents dominants pour limiter les poussières et pollens qui gênent la ventilation. NB : la nature de l'air aspiré en termes de poussières ou même de gaz peut être également dangereuse ou préjudiciable à la fiabilité des machines (risques d'explosion, présence d'acides dans l'eau de condensation, etc.) ;
- implantation locale et insonorisation : les nuisances sonores doivent être compatibles avec la réglementation en vigueur pour la protection des travailleurs et des riverains.

3.3.7. Connexions entre les équipements

La cohérence des sections de raccordement des différents équipements tels que cuves, filtres et sécheurs permet de limiter les pertes de charge générées. Assez souvent le critère de choix est le débit passant. Les sections de passage des filtres et sécheurs, et les orifices de cuves doivent être bien évalués dans cette optique.

3.3.8. Bouclage

Le bouclage du réseau de l'usine apporte une redondance qui améliore la fiabilité de la fourniture de l'air comprimé et assure une meilleure alimentation des équipements gros consommateurs les plus éloignés de la centrale, pour un coût généralement très raisonnable.

3.3.9. Réception

Il est particulièrement recommandé que toute livraison d'un nouvel équipement d'air comprimé important fasse l'objet d'une réception instrumentée pour vérifier ses caractéristiques énergétiques suivant un protocole à cadrer dès la commande.

4- Conclusion

L'air comprimé non seulement coûte cher, de 10% à 20 % du budget électricité, mais il conditionne la qualité de l'environnement interne, et indirectement externe à l'entreprise : sécurité, conditions de travail, bruit, et émissions de gaz à effet de serre...

Les différentes facettes de l'air comprimé présentées ici ne sont qu'à moitié traitées si elles sont prises individuellement. C'est en étudiant la question de façon **globale** que l'on arrive à la bonne solution.

Pour cela, dans l'entreprise, chacun doit jouer son rôle.

La direction doit coordonner l'action des différents collaborateurs sur ce sujet : les responsables de la production, de la maintenance, des méthodes et des travaux. Elle doit les mettre en relation et se faire aider pour rechercher la meilleure solution.

Les fuites, les machines qui restent sous pression pénalisent les coûts de production : il faut agir sur les comportements. Le responsable de la production doit donc vérifier si la concordance des pressions entre la fourniture et les besoins des outils est bonne. La pression et les débits sont-ils réglables ?

L'air comprimé est délicat : il doit être disponible et rester bon marché. De son côté, le responsable de la maintenance ne doit pas hésiter à se faire aider pour optimiser le réseau.

Enfin, pour les responsables des méthodes et des travaux, une ligne changée sur un cahier des charges peut faire gagner beaucoup d'argent à l'entreprise : faire réaliser une analyse énergétique avant d'acheter une machine, et ne pas se faire imposer la pression d'utilisation par le fabricant de la machine, mais, au contraire lui imposer la pression de votre réseau. Cela permet de rester maître de vos coûts en évitant les inflations fâcheuses.

5- Annexes

Annexe 1

Certificats d'économies d'énergie, fiches d'opérations standardisées relatives à l'air comprimé

- IND-UT-02 : Systèmes de variation électronique de vitesse sur un moteur asynchrone.
- IND-UT-03 : Récupérateur de chaleur sur un compresseur d'air comprimé.
- IND-UT-09 : Récupérateur de chaleur sur un compresseur d'air comprimé pour le chauffage de locaux.
- IND-UT-12 : Moteur haut rendement IE2
- IND-UT-14 : Moto-variateur synchrone à aimants permanents.
- IND-UT-22 : Sécheur d'air comprimé à haute efficacité énergétique.
- IND-UT-24 : Séquenceur électronique pour le pilotage d'une centrale de production d'air comprimé

Annexe 2

Principes de la norme NF EN ISO 50 001

Annexe 3

Fiches ADEME - Exemples de bonnes pratiques énergétiques en entreprise

Annexe 1

***Certificats d'économies d'énergie
Fiches d'opérations standardisées relatives à l'air comprimé***



Certificats d'économies d'énergie

Opération n° IND-UT-02

Système de variation électronique de vitesse sur un moteur asynchrone

1. Secteur d'application

Industrie.

2. Dénomination

Installation d'un système de variation électronique de vitesse (VEV) sur un moteur asynchrone de puissance comprise entre 0,37 kW et 1 MW.

3. Conditions pour la délivrance de certificats

Sans objet.

4. Durée de vie conventionnelle

15 ans.

5. Montant de certificats en kWh cumac

Application	Montant unitaire en kWh cumac/kW pour $P \leq 630$ kW	X	Puissance du moteur en kW
Pompage	17 000		P
Ventilation	21 000		
Air comprimé	8 100		
Compresseur froid	9 800		
Broyeurs, convoyeurs, agitateurs	7 500		



Certificats d'économies d'énergie

Opération n°IND-UT-03

Récupérateur de chaleur sur un compresseur d'air comprimé

1. Secteur d'application :

Industrie.

2. Dénomination :

Installation d'un récupérateur de chaleur sur un compresseur d'air comprimé pour valorisation en procédé industriel (hors chauffage du bâtiment).

3. Conditions pour la délivrance de certificats :

Sans objet

4. Durée de vie conventionnelle

10 ans.

5. Montant de certificats en kWh cumac

Montant unitaire en kWh cumac/kW

26 000 x P

P = Puissance nominale du moteur



Application	Montant unitaire en kWh cumac/kW pour P > 630 kW		Puissance du moteur en kW
Pompage	28 000	X	P
Ventilation	28 000		
Air comprimé	13 000		
Compresseur froid	12 000		
Broyeurs, convoyeurs, agitateurs	13 000		



Certificats d'économies d'énergie

Opération n° IND-UT-09

Récupérateur de chaleur sur un compresseur d'air comprimé pour le chauffage de locaux ou la production d'eau chaude sanitaire

1. Secteur d'application

Industrie.

2. Dénomination

Installation d'un récupérateur de chaleur sur un compresseur d'air pour le chauffage de locaux ou la production d'eau chaude sanitaire sur un site industriel.

3. Conditions pour la délivrance de certificats

Sans objet.

4. Durée de vie conventionnelle

10 ans.

5. Montant de certificats en kWh cumac

Réfrigérant	Mode de fonctionnement du site	Montant de certificats en kWh cumac				
		Puissance nominale du moteur (en kW)	Zone climatique			
			H1	H2	H3	
Récupération sur réfrigérant d'huile	1x8h	P	X	5 400	5 000	4 300
	2x8h			12 900	12 000	10 200
	3x8h avec arrêt le week-end			16 600	15 600	13 200
	3x8h sans arrêt le week-end			22 500	21 100	17 900
Récupération sur réfrigérant d'air	1x8h			5 500	5 200	4 400
	2x8h			13 200	12 400	10 500
	3x8h avec arrêt le week-end			17 100	16 000	13 600
	3x8h sans arrêt le week-end			23 100	21 700	18 400



Certificats d'économies d'énergie

Opération n° **IND-UT-12**

Moteur haut rendement IE2

1. Secteur d'application

Industrie.

2. Dénomination

Mise en place d'un moteur haut rendement de classe IE2 certifié selon la norme NF EN 60034-30.

3. Conditions pour la délivrance de certificats

Seules les actions engagées avant le 16 juin 2011 donnent lieu à la délivrance de certificats d'économies d'énergie.

4. Durée de vie conventionnelle

15 ans pour des moteurs de puissance nominale inférieure ou égale à 15 kW.

20 ans pour des moteurs de puissance nominale supérieure à 15 kW.

5. Montant de certificats en kWh cumac

Montant en kWh cumac en fonction de la puissance nominale du moteur Pn en kW		
	Pompes, ventilateurs, compresseurs	Autres moteurs
Pour Pn ≤ 15 kW	750 x Pn + 4 300	490 x Pn + 2 800
Pour Pn > 15 kW	590 x Pn + 10 000	380 x Pn + 6 600



Certificats d'économies d'énergie

Opération n° **IND-UT-14**

Moto-variateur synchrone à aimants permanents

1. Secteur d'application

Industrie.

2. Dénomination

Installation d'un moto-variateur synchrone à aimants permanents de puissance comprise entre 0,75 kW et 500 kW.

3. Conditions pour la délivrance de certificats

Sans objet.

4. Durée de vie conventionnelle

15 ans.

5. Montant de certificats en kWh cumac

Application	Montant unitaire en kWh cumac/kW
Pompage	23 000
Ventilation	27 000
Compresseur air	12 000
Compresseur froid	15 000
Convoyeur, broyeur, agitateur	12 000

X

Puissance du moteur en kW
P



Certificats d'économies d'énergie

Opération n° IND-UT-22

Sécheur d'air comprimé à haute efficacité énergétique

1. Secteur d'application

Industrie.

2. Dénomination

Installation d'un sécheur à adsorption utilisant un apport de chaleur pour la régénération du sécheur.

3. Conditions pour la délivrance de certificats

Sans objet.

4. Durée de vie conventionnelle

15 ans

5. Montant de certificats en kWh cumac

Mode de fonctionnement du site	Montant unitaire en kWh cumac/kW
1x8	2 050
2x8	5 100
3x8 avec arrêt le week-end	6 300
3x8 sans arrêt le week-end	8 150

X

$P_{\text{compresseur(s)}}$

$P_{\text{compresseur(s)}}$ est la puissance électrique indiquée sur la plaque du ou des compresseurs en kWél ou dans les données techniques du fabricant.



Certificats d'économies d'énergie

Opération n° IND-UT-24

Séquenceur électronique pour le pilotage d'une centrale de production d'air comprimé

1. Secteur d'application

Industrie.

2. Dénomination

Installation d'un séquenceur électronique assurant le pilotage centralisé des compresseurs d'une centrale de production d'air comprimé.

3. Conditions pour la délivrance de certificats

Mise en place réalisée par un professionnel.

4. Durée de vie conventionnelle

15 ans.

5. Montant de certificats en kWh cumac

Type de séquenceur	Nombre de compresseurs pilotés	Montant unitaire en kWh cumac/kW	Puissance totale des compresseurs pilotés (kW)
Séquenceur simple sans option « optimisation d'énergie »	2	550	X P
	3	1100	
	4	1650	
	5	2200	
	6	2700	
	7	3200	
	8	3700	
Séquenceur avec option « optimisation d'énergie »	2	2500	
	3	3050	
	4	3600	
	5	4100	
	6	4700	
	7	5200	
	8	5700	

Annexe 2

Présentation synthétique de la norme NF EN ISO 50 001

Pour l'amélioration de la performance énergétique : la norme NF EN ISO 50001 Systèmes de management de l'énergie

Dans le contexte économique et environnemental actuel, la performance énergétique constitue un objectif prioritaire et stratégique pour les organismes (entreprises, autorités ou institutions de droit public ou privé). Elle permet de diminuer les coûts liés à l'énergie et conduit à une réduction des émissions de gaz à effet de serre et des autres impacts environnementaux associés.

Destinée à tous les organismes, la norme NF EN ISO 50001 a pour objectif de les aider à développer une gestion méthodique de l'énergie pour améliorer leur performance énergétique¹. Elle s'inspire des principes de la norme d'origine européenne NF EN 16001 qu'elle remplace dans les collections nationales. Publiée le 15 juin 2011 par l'ISO, l'ISO 50001 a été reprise à l'identique par les organismes de normalisation européens CEN et CENELEC en octobre 2011.

NF EN ISO 50001 - Principes

La norme NF EN ISO 50001 spécifie les exigences liées à un système de management de l'énergie et fournit des recommandations de mise en œuvre.

La norme requiert que l'organisme définisse une politique énergé-

tique adaptée à ses usages et à sa consommation. Cette politique inclura un engagement de mise à disposition des informations et ressources nécessaires et encouragera l'achat de produits et de services économes en énergie ainsi que la conception en vue de l'amélioration de la performance énergétique.

La direction devra démontrer son engagement à soutenir la démarche et elle désignera un représentant, doté des compétences nécessaires pour assurer le bon fonctionnement du système de management de l'énergie.

Au cours de la revue énergétique², les secteurs à forte consommation et les opportunités d'amélioration de la performance énergétique seront identifiés. La consommation de référence sera un des éléments de sortie de la revue énergétique. La norme exige par ailleurs la définition d'indicateurs de performance énergétique.

Pour assurer le bon suivi des caractéristiques de son activité déterminant la performance énergétique, l'organisme définira et mettra en œuvre un plan de mesure de l'énergie adapté.

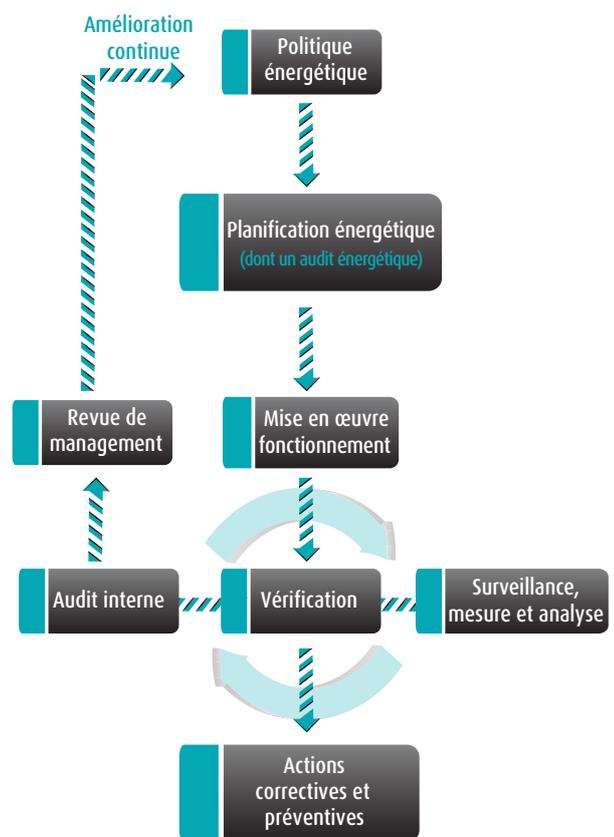


Figure 1 : modèle de système de management de l'énergie suivant la norme NF EN ISO 50001. La boucle de l'amélioration continue « planifier – faire – vérifier – agir » (PDCA) sur laquelle est fondée cette norme la rend compatible avec les autres normes de systèmes de management.

¹Performance énergétique résultats mesurables liés à l'efficacité énergétique, à l'usage énergétique et à la consommation énergétique ISO 50001 : 2011.

²La revue énergétique s'apparente à un diagnostic ou à un audit énergétique au sens du référentiel BP X 30-120 ou du projet de norme pr EN 16247.

Il établira des **objectifs et cibles** cohérents avec sa politique énergétique et les **plans d'actions** correspondants.

En accord avec les exigences de la norme, les **organismes évalueront et réviseront leur système de management de l'énergie** pour adapter leur politique énergétique et la mettre en œuvre.

Ils seront alors à même de démontrer leur conformité à la norme internationale par une **auto-évaluation ou par une certification tierce partie**.

NF EN ISO 50001 - Caractéristiques

Cette norme reprend la structure de la norme NF EN ISO 14001 sur le management environnemental : elle repose sur l'**approche PDCA** et s'appuie sur l'**analyse des usages et consommation énergétiques** pour identifier les secteurs d'usage énergétique significatifs et les potentiels d'amélioration.

La norme fixe comme priorité l'**amélioration continue de la performance énergétique** de l'organisme, objectif mesurable inscrit dans la durée, et vise le développement d'une **comptabilité analytique de l'énergie**.

Surveillance et mesurage sont au cœur de la démarche : la définition et la mise en œuvre d'un plan de mesure énergétique, adapté à la taille et à la complexité de l'organisme, est une exigence de la norme.

Outre intégrer la **performance énergétique parmi les critères d'évaluation des offres** lors de l'achat d'équipements, de matières premières et de services, la norme demande également que l'organisme prenne en compte les opportunités d'amélioration lors de la **conception ou la rénovation d'installations, équi-**

pements, systèmes et processus pouvant avoir un impact significatif sur la performance énergétique.

Un système de management de l'énergie conforme à la NF EN ISO 50001 : l'assurance d'un usage optimisé de l'énergie

La norme ISO 50001 s'inspire de la norme européenne EN 16001 et de plusieurs normes et bonnes pratiques nationales développées par certains pays (Chine, Danemark, Irlande, Suède, Pays Bas, USA...). Les pouvoirs publics ou les agences de l'énergie de ces pays ont mis en place des accords avec des organisations sectorielles ou des entreprises, qui requièrent la mise en place de systèmes de management de l'énergie conformes à un référentiel (actuellement remplacé progressivement par la norme ISO 50001), par exemple, accords de long terme aux Pays-Bas, programme EAP de Sustainable Energy Ireland (SEI), programme PFE en Suède... Les entreprises qui s'engagent bénéficient en retour d'aides publiques et d'appui technique.

En France, afin d'inciter les organismes à mettre en œuvre la norme NF EN ISO 50001, **une fiche d'opération standardisée bonifiant les certificats d'économies d'énergie** des opérations réalisées dans le périmètre d'une certification en cours de validité ou en cours d'instruction a été adoptée par **un arrêté ministériel du 28 mars 2012**³.

Senternovem, agence de l'énergie néerlandaise, rapporte que les **entreprises impliquées** dans les accords de long terme montrent, sur la période 2001-2007, **une amélioration de leur efficacité énergétique annuelle de 2,4 %** contre une amélioration de seulement 1 % pour les entreprises hors accords de long terme.

SEI témoigne que l'amélioration de la performance énergétique pour **les entreprises ayant mis en place un système de management** a été supérieure, respectivement **de 8 et 6 % en 2007 et 2008**, à celle des sociétés simplement engagées dans de bonnes pratiques de maîtrise de l'énergie, respectivement de 1 et 4,7 % (résultat exceptionnel lié au prix du baril très élevé en 2008).

En Suède, les opportunités d'investissement révélées en appliquant des systèmes de management de l'énergie normalisés dans une centaine d'entreprises ont permis **l'économie de 1 TWh annuel d'électricité**. De plus, souligne l'Agence de l'énergie nationale, les investissements permettant ces économies furent **20 % moins onéreux** que des investissements pour une même quantité d'électricité produite à partir d'installations éoliennes ou nucléaires. Par ailleurs, la majorité des entreprises avaient **développé au préalable des systèmes de management environnemental** et identifié l'énergie comme un aspect important ; néanmoins les **systèmes de management de l'énergie ont eu une forte valeur ajoutée**.

ISO 50001 - la référence mondiale sur le management de l'énergie

Dans son rapport 2008 présentant 25 recommandations pour des politiques d'efficacité énergétique, l'AIE rapporte qu'au sein de l'OCDE l'adoption de **pratiques de management de l'énergie** par les industries fortes consommatrices permettent **d'économiser de 5 à 22 % d'énergie finale**. Suite à la recommandation 6.3 sur le management de l'énergie, l'agence a publié un guide pour des programmes gouvernementaux dans ce domaine, lequel fait largement référence à la norme ISO 50001⁴.

³ Arrêté publié au J.O.R.F. du 11 avril 2012.

Pour plus d'informations, consultez le site internet :

www.developpement-durable.gouv.fr, rubriques Énergies et climat, Économies d'énergie, les dispositifs d'aides, certificats d'économies d'énergie

www.developpement-durable.gouv.fr/-Certificats-d-economies-d-energie,188-.html

⁴ Policy Pathways: Energy Management Programmes for Industry, Publication de l'AIE et de IIP.



**Ministère de l'Écologie,
du Développement durable,
et de l'Énergie**
Direction générale de l'Énergie et du Climat

Arche Nord
92055 La Défense Cedex
Tél. 01 40 81 21 22
www.developpement-durable.gouv.fr



Annexe 3

Fiches ADEME

Exemples de bonnes pratiques énergétiques en entreprise

Fiches extraites du « guide des fiches de bonnes pratiques énergétiques en entreprise (49 exemples de bonnes pratiques) » à télécharger gratuitement sur le site web de l'ADEME



Economies d'énergie chez Gemalto à Pont-Audemer (27)

- Economies d'énergie
- Haute-Normandie

Pourquoi agir ?



gemalto

Organisme

Société Gemalto

Partenaires

- ADEME Direction régionale Haute-Normandie

Coût (HT)

- Diagnostic énergétique : 6 250 €
- Investissement : 167 k€ dont 107 k€ pour les compresseurs et 60 k€ pour les systèmes de récupération de chaleur des groupes froid
- Financement ADEME : 3 125 € (50% du coût du diagnostic énergétique)

Bilan « Développement Durable » en chiffres

- 80% de réduction de la consommation en gaz depuis 2004
- 10% de réduction de la consommation électrique depuis 2006
- 75% de réduction de la dépense en gaz entre 2008 et 2010
- 19% de réduction de la facture énergétique globale entre 2008 et 2010

Date de lancement

2005

La société Gemalto est spécialisée dans la fabrication de composants électroniques et de cartes à puces. Engagée dans une démarche de développement durable, l'entreprise reçoit en 2004 la certification ISO 14001 reconnaissant la qualité de sa politique environnementale. Depuis plusieurs années, elle consacre une partie des investissements de son site normand de Pont-Audemer à la maîtrise et à la réduction de ses consommations d'énergie. L'enjeu est très important car le process industriel de Gemalto nécessite beaucoup d'énergie, en particulier pour assurer une température constante de 20°C et un taux d'hygrométrie stable d'environ 50% indispensables au bon séchage des colles et à la bonne conservation des produits. En 2005, elle décide d'installer des récupérateurs de chaleur sur les groupes froid de son système de climatisation. Et à partir de 2008, elle remplace ses compresseurs « tout ou rien » à vitesse fixe par des compresseurs à vitesse variable. Ces équipements vont lui permettre de faire baisser de façon significative ses consommations d'énergie et de réaliser des économies financières non négligeables.

L'efficacité énergétique du secteur industriel est au cœur de la problématique visant à réduire les émissions de gaz à effet de serre et à lutter contre le changement climatique. Au niveau national, le législateur a ainsi décidé de réduire de 2% par an d'ici 2015 et de 2,5% d'ici 2030 l'intensité énergétique française, c'est-à-dire le rapport entre la consommation d'énergie et la croissance économique. Pour sa part, la société Gemalto est très sensible à ces questions car ses consommations d'électricité et de gaz ont augmenté de 50% entre 1998 et 2005 !

La direction régionale de l'ADEME en Haute-Normandie a souhaité accompagner la société Gemalto dans la réalisation de son diagnostic énergétique. Ce diagnostic a permis d'identifier les actions et les investissements impactant directement les consommations énergétiques de l'entreprise.

Exemples à suivre téléchargeables sur le site de l'ADEME (www.ademe.fr).

Enseignements :

M. Pascal Costey, responsable des services généraux sur le site Gemalto de Pont-Audemer :

« Depuis plusieurs années, à partir de choix technico-économiques très réfléchis, nous remplaçons nos équipements énergétiques par des systèmes plus modernes et moins énergivores. Cette politique nous permet de conserver une image de progrès et d'ancrer notre stratégie d'entreprise dans une réelle perspective de développement durable, ce qui est très apprécié par nos clients. »



Récupération de l'eau chaude sur un groupe froid

Crédit : Gemalto

Présentation et résultats

Gemalto a décidé d'une part d'installer des récupérateurs de chaleur sur les deux groupes froid de son système de climatisation et d'autre part de remplacer les compresseurs de son système d'air comprimé.

Le premier groupe froid a été remplacé en 2005 par un groupe à récupération de chaleur. Sur le condenseur, un système d'échangeur récupère l'énergie thermique générée par la production de froid. Cette énergie, auparavant perdue, permet désormais de produire de l'eau chaude à 50°C. Aujourd'hui, ce système alimente les centrales de traitement de l'air utilisée pour la climatisation d'une partie du site (environ 1/3 de l'usine). Fort de ce succès, Gemalto a doté en 2010 son deuxième groupe froid d'un système de récupération de chaleur. Comme le premier groupe, le système d'échangeur permet de récupérer l'énergie thermique et de produire de l'eau chaude à 50°C. La quantité produite est tellement importante qu'elle subvient aux besoins en eau chaude de l'usine pratiquement toute l'année. L'installation est couplée avec une chaudière à gaz et une vanne trois voies afin d'effectuer un complément d'eau chaude pendant la période d'hiver : la chaleur auparavant produite par cette chaudière étant désormais récupérée sur l'échangeur, l'utilisation de la chaudière n'est nécessaire que lors des temps les plus froids. Désormais la chaleur dégagée par l'échangeur du groupe froid est récupérée pour chauffer les locaux administratifs, les magasins de stockage et le reste des ateliers du site. Le système de récupération de chaleur du dernier groupe représente un surcoût de 50 000 € amorti en à peine deux ans.

Pour optimiser son installation d'air comprimé, Gemalto a décidé de remplacer ses compresseurs « tout ou rien » fonctionnant avec une vitesse continue et une puissance de 110 kW par des compresseurs à vitesse variable dotés de variateurs électroniques intégrés. En 2008, la société a acquis un premier compresseur à vitesse variable de 90 kW capable de fonctionner à 60% de sa charge maximale. Avec un coût de 67 000 € et une diminution de 25% de la consommation énergétique, le retour sur investissement a été de deux ans. En 2009, la société a acquis un deuxième compresseur de 75 kW, lui aussi capable de fonctionner à 60% de sa charge maximale. Avec un investissement de 40 000 € et une diminution de 30% de la consommation énergétique, le retour sur investissement a été inférieur à deux ans. Ces différentes actions ont permis de baisser les consommations énergétiques : la consommation en gaz a baissé de près de 80% depuis 2004 et la consommation électrique a diminué d'environ 10% depuis 2006. Entre 2008 et 2010, la dépense en gaz a baissé de près de 75% et le coût des consommations énergétiques globales du site a été réduit de 19%.

Focus

Comme une démarche d'utilisation rationnelle de l'énergie ne se limite pas à des questions techniques, Gemalto a également mis en œuvre une politique de sensibilisation et de formation pour impliquer l'ensemble des personnels de l'entreprise. Les salariés ont ainsi reçu des recommandations pour appliquer les bons gestes : fermer les portes lorsqu'il y a du chauffage, éteindre les lumières dans les sanitaires et les bureaux, éteindre le matériel informatique et bureau-tique en fin de journée.

Facteurs de reproductibilité

L'ADEME, en particulier par l'intermédiaire de ses directions régionales, peut apporter un accompagnement pour les projets concernant l'utilisation rationnelle de l'énergie dans l'industrie et l'agriculture. L'objectif recherché est d'encourager la mise en œuvre opérationnelle de techniques exemplaires permettant une utilisation performante de l'énergie dans les entreprises.

POUR EN SAVOIR PLUS

■ Sur le site internet de l'ADEME : www.ademe.fr/economies-energie

■ Le site de la société Gemalto : www.gemalto.com

CONTACTS

■ Société Gemalto
Tél : 02 32 56 77 00
pascal.costey@gemalto.com

■ ADEME Direction régionale Haute-Normandie
Tél : 02 35 62 24 42
ademe.haute-normandie@ademe.fr



Amélioration de l'efficacité énergétique du système d'air comprimé et des procédés en plasturgie

Retour sommaire



Mots clés

- Air comprimé
- Moteur électrique
- Substitution hydraulique

MANUPLAST

Activité :

Code NAF :

Effectif :

Région :

Basse-Normandie



Adresse :

Usine de Fimbrune
61600 LA FERTE-MACE



Système de mise en chauffe de l'appareil de production

Contexte & enjeux

MANUPLAST accompagne ses clients : de la conception à la production de pièces techniques en plastique par la mise en œuvre des technologies d'extrusion-soufflage et d'injection. Ces technologies, très énergivores, offrent un potentiel d'optimisation énergétique important. Dans ce cadre, l'entreprise a participé au programme régional « objectif -20% » soutenu par l'ADEME afin de réaliser un diagnostic du site de La Ferté Macé et cibler les actions prioritaires à mettre en place.

Bilan de l'opération

Gains énergétiques :

Le bilan énergétique	50 % sur la consommation électrique du procédé d'injection en kWh/an
Économie d'énergie	116,2 MWh/an (10 Tep/an)

Gains financiers : 5 000 €/an

Temps de retour brut sur investissement : 2 ans

Gains environnementaux :

Tonnes CO ₂ évitées	31t/an
--------------------------------	--------



TÉMOIGNAGE

« Nous avons déjà commencé à travailler sur les économies d'énergie et cette opération nous a permis de conforter nos connaissances et d'accentuer l'intérêt porté à certains sujets. Nous souhaitons continuer à impliquer les salariés dans cette démarche de management de l'énergie. »

Alain Le Penven

Enseignement

Les actions opérées ont été fructueuses en matière d'économies d'énergie. Le potentiel reste encore important sur le site. Le point bloquant reste le temps de retour sur investissement qui est parfois trop long pour engager des projets. L'entreprise, engagée dans une politique énergétique volontariste, envisage de mener un projet d'optimisation du système de refroidissement de l'eau.

Présentation de la démarche

MANUPLAST a réalisé un diagnostic énergétique afin d'analyser les consommations d'énergie et mettre en place une campagne de mesures sur les moyens de production, les compresseurs d'air et le système de refroidissement d'eau. Les résultats du diagnostic, qui ont mis en évidence les postes de consommation pouvant être optimisés (mise en chauffe de l'appareil de production, réseau d'air comprimé, motorisation des machines,...) ont permis à l'entreprise de mener les opérations suivantes :

- > Optimisation de la mise en chauffe des machines le lundi matin (processus qui dure environ 8h) : il s'agit de mettre la machine-outil en chauffe afin que sa température optimale soit atteinte au moment même où elle commence à opérer. Le planning global a donc été modifié afin de synchroniser la montée en température de l'appareil avec le besoin de production.
- > Lancement d'une campagne de réduction des fuites d'air comprimé, couplée à la mise en place d'électrovannes sur les soufflettes de refroidissement des carottes de plastiques (l'air n'est donc plus soufflé en permanence, mais seulement lorsque qu'une carotte est présente et doit être refroidie). Les résultats ont permis une diminution de 10 à 15 % de la consommation d'air comprimé.
- > Remplacement des moteurs hydrauliques des machines de production par des moteurs électriques et optimisation de la pression d'injection nécessaire.
- > Instauration d'une visite de maintenance préventive sur le site.

Bilan économique

Coûts	10 000€ pour le diagnostic et l'accompagnement à la mise en oeuvre
Participation ADEME	2 500 €
Participation Région	2 500 €

Reproductibilité

L'ensemble des actions mises en place sur le site est reproductible car le temps de retour sur investissement reste raisonnable et les technologies mises en œuvre sont parfaitement maîtrisées.

Autres retombées

MANUPLAST a été récompensée à Caen pour son action en faveur du développement durable lors de la Journée régionale de l'Excellence organisée par l'Association Qualité Management de Basse-Normandie (AQM).

EN SAVOIR +

Contacts :

Contact entreprise :
MANUPLAST
Alain LE PENVEN
maintenance@manuplast.fr
Tél : 02 33 30 66 66

Autre contact :
ADEME
Basse Normandie
Damien GREBOT
damien.grebot@ademe.fr



Amélioration de l'efficacité énergétique du système d'air comprimé



Mot clés

- Air comprimé
- Fuites

FERSO-BIO

Activité :

Equarissage

Code NAF : 3832Z

Production de l'entreprise :

130 000 tonnes de coproduits transformés par an

Effectif : 200 personnes

Région :

Aquitaine



Adresse :

Monbusq
BP36
47520 Le Passage



Usine Ferso-Bio

Contexte & enjeux

Dans le cadre du programme « -20% Énergie » de l'ADEME, un audit énergétique de l'entreprise a été réalisé. Celui-ci a permis de faire remonter plusieurs pistes d'amélioration sur l'énergie consommée. Les trois principales pistes concernent :

- > l'air comprimé,
- > la vapeur,
- > l'activité transport de la société via l'optimisation des tournées de camions.

Voir également les fiches 17 et 33.

Bilan de l'opération

Gains énergétiques :

Le bilan énergétique	Avant : 500 000 kWh/an Après : 420 000 kWh/an
Économie d'énergie	80 000 kWh électrique/an

Gains financiers : 4 000 €/an

Temps de retour brut sur investissement : moins de 1 an

Gains environnementaux :

Tonnes CO ₂ évitées	1,811 Tonnes de CO ₂ évitées
--------------------------------	---

Gains financiers :



TÉMOIGNAGE

« Au départ, l'entreprise a souscrit au programme « -20% Énergie » pour deux raisons : l'échange avec les autres entreprises et la visibilité pour Ferso-Bio. Toutefois, le diagnostic énergétique a permis de faire émerger des pistes d'améliorations et a créé une dynamique interne, ce qui oblige l'entreprise à se positionner et donc à agir. »

Dominique Verzeni,
Responsable technique

Enseignement

Pour réussir ce genre de démarche, il faut que le personnel soit conscient des actions de l'entreprise et qu'il se sente impliqué. En effet, un bon pilotage des machines permettra de meilleurs résultats en terme de réductions des consommations énergétiques.

EN SAVOIR +

Présentation de la démarche

L'implication du service technique dans cette opération a permis à l'usine d'économiser 22 % de sa consommation d'électricité pour l'air comprimé, en réalisant des actions souvent simples à mettre à place.

- > **identification des fuites et réparation :**
La détection des fuites a été réalisée lors de l'arrêt du site le week-end. Leur réparation a permis 6 % d'économie sur ce poste.
- > **gestion :**
Deux compresseurs de 37 kW fonctionnaient 7j/7 alors que le week-end la demande en air comprimé est moindre et ne sert qu'à alimenter la chaufferie et la station d'épuration (STEP). Trois compresseurs de 2,2 kW ont été installés pour ces besoins localisés, et les deux compresseurs plus puissants ont été arrêtés, entraînant 16 % d'économie sur ce poste.
- > **détermination des pressions de réglages afin d'optimiser la consommation du réseau en réduisant la pression sur le réseau :**
L'opération a porté sur l'ensemble du réseau d'air comprimé du site. Elle a consisté à déterminer les pressions de réglages du réseau et à optimiser les pressions de travail. De nombreuses personnes ont été impliquées dans cette démarche concernant le service maintenance et le service technique.

Bilan économique

Coûts d'investissement	3 400 € pour l'achat des deux petits compresseurs d'appoint
Participation ADEME	L'ADEME et le conseil régional ont financé le diagnostic énergétique dans le cadre de l'opération « -20% Énergie »
Participation Région	

Reproductibilité

L'opération est reproductible sur n'importe quel réseau d'air comprimé. Il est conseillé de trouver la pression minimum utile et nécessaire en diminuant la pression par **paliers** successifs. Les fuites d'air comprimé peuvent être évaluées en période **d'inactivité** (pas de besoin en air comprimé).

Contacts :

Contact entreprise :
FERSO-BIO
Dominique VERZENI
Responsable technique
d.verzeni@fersobio.fr
Jérôme JOLY
Responsable QHSE
jjoly@fersobio.fr

Autre contact :
ADEME Aquitaine
Anne LABADIOLE-CHASSAGNE
anne.labadiolechassagne@ademe.fr

ADEME

Agence de l'Environnement
et de la Maîtrise de l'Énergie

Fiche n°45

Retour
sommaire

Installation d'un compresseur à vitesse variable et détection de fuites chez un fabricant de meubles



Mots clés

- Air comprimé
- VEV
- Fuites

STEELCASE

Activité :

Fabrication de meubles
de bureau et de magasin

Code NAF : 3101Z

Production de l'entreprise :

480 927 produits en 2009

Effectif : 170 personnes

Région :

Alsace



Adresse :

Site
de Wisches
Rue de la Mazière
67130 WISCHES

Compresseur à VEV

Contexte & enjeux

L'opération mise en place sur le site de WISCHES visait à réduire les consommations énergétiques liées au réseau d'air comprimé, poste de consommation important pour assurer la production du site. Afin d'y parvenir, deux actions ont été mises en place :

- > Le remplacement du parc de compresseurs fonctionnant en tout ou rien (TOR) par des compresseurs à marche variable équipés de variation électronique de vitesse (VEV),
- > La diminution des fuites sur le réseau d'air comprimé de l'usine de 19 600 m².

Le projet résulte de l'estimation du potentiel d'économies d'énergies sur la production d'air. En effet, les estimations laissaient entrevoir une diminution de la consommation affectée à l'air comprimé de 50 %, soit une diminution de 7 % de la facture en électricité pour l'entreprise.

Bilan de l'opération

Gains énergétiques :

Le bilan énergétique	Electricité : Avant : 2 804 MWh/an Après : 2 600 MWh/an
Économie d'énergie	204 MWh/an

Gains financiers : 15 000 €/an en électricité

Temps de retour brut sur investissement : 2,3 ans



TÉMOIGNAGE

« Le remplacement des compresseurs tout ou rien par des compresseurs équipés de variations de vitesse n'a de sens que si la recherche de fuites est efficace. En couplant ces deux opérations, on actionne un levier qui permet un retour sur investissement rapide avec une solution pérenne dans le temps. »

André Michel,
 Responsable Maintenance

Enseignement

Les actions de recherche de fuites et d'installation de compresseurs à VEV ont été menées simultanément et ont permis d'impacter de manière substantielle les gains énergétiques, comparé à des actions isolées sur le réseau d'air comprimé.

Fort de ce premier succès, il a été décidé de mener d'autres actions d'économie d'énergie. Sur le poste éclairage: remplacement des tubes fluorescents standards par un éclairage iodure avec couverture minimale d'éclairage et optimisation sur poste de travail.

Présentation de la démarche

L'opération a d'abord consisté à réaliser un diagnostic des consommations d'énergie liées à l'air comprimé. L'étude a permis de hiérarchiser les investissements et les bonnes pratiques énergétiques à mettre en œuvre sur le site. Deux actions prioritaires ont alors été mises en place :

- > L'installation de deux compresseurs : un compresseur à vitesse variable de 75 kW en charge de la production d'air en fonction des besoins du site (à noter qu'en période de production normale, ce compresseur tourne entre 60 et 80 % de ses capacités). Un second compresseur de réserve, d'une puissance de 90 kW et d'un débit de 978m³/h, qui sert à augmenter la pression du réseau lors de l'ouverture du site (le lundi matin notamment) et prend le relais en cas de panne du premier compresseur.
- > La mise en place d'une campagne de chasse aux fuites au cours de laquelle les salariés du site ont été sensibilisés et formés à la détection des fuites d'air afin qu'ils les localisent et qu'elles puissent être traitées.

Le succès du projet et la durée limitée du temps de retour sur investissement ont conduit Steelcase à mettre en place les mêmes opérations sur deux autres sites : Marlenheim et Sarrebourg.

Bilan économique

Coûts d'investissement	35 000 €
Participation ADEME	L'ADEME a participé au financement du prédiagnostic énergie à hauteur de 1 610 €

Reproductibilité

Les compresseurs à VEV représentent une technologie mature et maîtrisée pouvant être installée dans de multiples sites industriels ayant un réseau air comprimé. Ce type d'installations peut donner lieu à l'attribution de certificats d'économies d'énergie (CEE). La fiche d'opération standardisée IND-UT-02: système de variation électronique de vitesse sur un moteur asynchrone couvre les compresseurs d'air (en rénovation ou pour un nouvel équipement).

Contacts :

Contact entreprise :

STEELCASE
Mickaël SCHMITT
 Responsable QSE
 mickael.schmitt@steelcase.com

Autre contact :

ADEME
Florence HUC
 florence.huc@ademe.fr

André MICHEL
 Responsable Maintenance
 Tél : 03 88 48 40 40

EN SAVOIR +

ADEME

Agence de l'Environnement
et de la Maîtrise de l'ÉnergieRetour
sommaire

Fiche n°44

Optimisation de l'efficacité énergétique des systèmes d'air comprimé chez un équipementier automobile



Mots clés

- Air comprimé
- VEV
- Fuites

ROBERT BOSCH France S.A.S Site de Rodez

Activité :

Fabrication d'équipements
automobiles pour moteur
diesel :

- Injecteur Common-rail
- Buse d'injection
- Bougie de préchauffage

Code NAF : 2932Z

Effectif : 1 800 personnes

Chiffre d'affaires :
2008 : 230 M€

Région :

Midi-Pyrénées

Adresse :

ZI
de Cantarrane
BP 3212
12032 RODEZ



Contexte & enjeux

Suite à un pré diagnostic co-financé par l'ADEME, il est apparu que plus de 50 % de la consommation d'énergie de l'usine était directement liée aux utilités. Dans ce cadre, la société s'est engagée dans une optimisation du réseau 7 bars d'air comprimé et a adopté deux axes de travail :

- > réduire de moitié les fuites sur le réseau, qui représentait 60 % de la consommation d'air comprimé sur le site
- > augmenter le rendement des compresseurs de 10 %.

Bilan de l'opération

Gains énergétiques :

Le bilan énergétique	Electricité : baisse de 5 % de la facture énergétique liée à l'air comprimé.
Économie d'énergie	2 700 MWh/an à fin 2009

Gains financiers : 185 k€/an

Temps de retour brut sur investissement : entre 4 et 5 ans

Gains environnementaux :

Tonnes CO ₂ évitées	229 t CO ₂ /an
Réduction des émissions	Impact sur la consommation d'eau de refroidissement.

Optimisation de l'efficacité énergétique des systèmes d'air comprimé chez un équipementier automobile

Fiche n°44



Retour
 sommaire

« Nous avons deux voies d'optimisation : éviter les gaspillages par les fuites et mieux produire de l'air par un meilleur rendement des compresseurs. Les mesures prises publiées en reporting mensuels deviennent des outils de sensibilisation ; les bonnes pratiques génèrent des Benchmarks. Des challenges récompensés au niveau groupe et par le label européen Motor Challenge avec l'Award en 2009 ! »

Vincent LAMIC

Enseignement

Deux points clés ont été identifiés lors de la conduite du projet.

Premièrement, il a fallu mesurer les débits d'air et la consommation électrique associée au réseau d'air comprimé. Ensuite, il a été nécessaire de suivre le taux de fuite et le rendement des compresseurs.

La pression est maintenant lissée dans le réseau et la qualité de l'air a été améliorée.

L'opération mise en place à RODEZ fait du site un précurseur à l'échelle internationale. L'action a ensuite été diffusée en interne comme bonne pratique et suscite de nombreux Benchmarks.

Présentation de la démarche

Dès le lancement du projet, l'objectif prioritaire était de réduire au strict minimum la consommation d'air comprimé lorsque les machines de production ne fonctionnaient pas. En outre, un objectif secondaire a été instauré et visait à augmenter le rendement énergétique des compresseurs de 10 %.

Une fois ces deux objectifs établis, le projet s'est déroulé en quatre phases successives :

- > Un pré-diagnostic pour estimer la répartition de la consommation électrique (52 % sur les utilités : air comprimé, éclairage...).
- > Un diagnostic approfondi avec mise en place d'appareils de mesure fixes et enregistrement permanent des données (pressions, débits, Température, puissance électrique de chaque compresseur).
- > Un plan d'action pour la recherche/suppression de fuites et la réduction au strict minimum hors période de production.
- > Un plan d'action sur le rendement énergétique des compresseurs (systèmes motorisés).

En suivant ce chemin critique, l'entreprise a réduit le taux de pertes de l'air comprimé, passant de 60 % à moins de 40 % (objectif 2010 : 35 %).

En parallèle, un compresseur à débit variable de technologie centrifuge a été installé en remplacement de deux anciens compresseurs de technologie vis sèche. Un système centralisé gère le fonctionnement des 5 compresseurs du site et l'usine affiche maintenant une consommation spécifique moyenne de 120Wh/Nm³ soit 15 % de mieux que la valeur mesurée au départ.

D'autre part, le travail sur les fuites a fait baisser les besoins en air comprimé et donc permis de revoir à la baisse la capacité de production d'air comprimé du site.

Afin de s'assurer de la pérennité des actions, un management des utilités a été mis en place sur la base des mesures permanentes des flux (consommation et production) et permet de diffuser chaque mois les résultats en terme de taux de fuite et de consommation pour différents secteurs de l'usine.

Bilan économique

Participation ADEME

L'ADEME a participé activement aux phases de pré-diagnostic et diagnostic instrumenté. La subvention s'élève à hauteur de 50 % pour les études.

Reproductibilité

L'air comprimé est une énergie courante sur un site industriel, la démarche est donc facilement transposable à d'autres sites de production. Se donner un objectif de taux de fuites permet de structurer la démarche.

Autres retombées

Site récompensé en interne par le groupe pour l'aspect développement durable du projet « Excellence Énergie » et la réduction d'émissions de CO₂.

En Externe, le label européen Motor Challenge a été reçu en 2007 et un prix Award Motor Challenge reçu en septembre 2009.

Contacts :

Contact entreprise :

ROBERT BOSCH
Vincent LAMIC (RzP/TEF33)
 Responsable du projet
 Excellence énergie vincent.
 lamic@fr.bosch.com
 Tél : 06 65 67 78 58

Autre contact :

ADEME Midi Pyrénées
Jérôme LLOBET
 jerome.llobet@ademe.fr

EN SAVOIR +



Optimisation d'installations d'air comprimé en industrie pharmaceutique



Mots clés

- Air comprimé
- VEV : Variation Electronique de Vitesse

CAPSUGEL

Activité :
Fabrication de gélules vides

Code NAF : 2110Z

Production de l'entreprise :
19 milliards de gellules en 2009

Effectif : 350 personnes

Chiffre d'affaires :
84,7 M€

Région :
Alsace



Adresse :
10, rue Timken
68000 COLMAR



Compresseurs T/R de 90kW

Contexte & enjeux

CAPSUGEL est le leader mondial de la production de gélules. Sur le site de Colmar, comprenant une usine de production, un centre R&D et un centre de développement dédié à la formulation liquide, l'opération mise en place par Capsugel a consisté à installer trois nouveaux compresseurs afin de réduire la facture énergétique du site. En effet, la volonté du site, couplée aux objectifs fixés par la maison mère en termes de consommation énergétique, ont conduit l'entreprise à réduire la consommation du poste à plus fort gisement d'économie d'énergie : les installations d'air comprimé.

Jusqu'en 2002, le site de Colmar était équipé de compresseurs à génération fixe qui assuraient une production à même de répondre aux pics de demande (synonyme de pertes quand la demande en air n'est que partielle). L'entreprise a donc opté pour un appareil productif plus souple qui s'adapte aux variations de consommations d'air comprimé.

Bilan de l'opération

Gains énergétiques :

Le bilan énergétique	Consommation électrique des compresseurs
	avant : 1 300 MWh / an après : 950 MWh / an
Économie d'énergie	350 000 kWh / an

Gains financiers : 15 000 €/an

Temps de retour brut sur investissement : 11 ans



TÉMOIGNAGE

« L'analyse a permis à Capsugel de dimensionner de manière adéquate l'installation à mettre en place. Elle répond dorénavant de manière optimale au besoin tout en réduisant la consommation électrique du site. »

Nathalie Ludmann,
responsable projet

Enseignement

Fort du succès de l'opération, le site de Colmar a poursuivi ses objectifs de réduction de ses consommations énergétiques et a focalisé ses efforts sur la récupération de chaleur, l'entraînement à vitesse variable, le traitement d'air par « free cooling » et l'éclairage.

Présentation de la démarche

Assistée par un bureau d'études qui a réalisé l'étude de faisabilité technico-économique (étude devant servir de point de départ pour le remplacement des compresseurs et sécheurs d'air comprimé), Capsugel s'est engagé en 2002 dans l'acquisition de trois compresseurs 90 kW (2 en Tout/Rien et 1 VEV) et deux sécheurs d'air :

- > Les deux compresseurs T/R de 90 kW assurent la production d'air comprimé pour un besoin standard (soit environ 1 200 m³(n)/h) tandis que le compresseur à VEV (Variation Electronique de Vitesse), lui aussi de 90 kW, assure la production d'air en cas de demande supérieure aux capacités des deux compresseurs T/R. En outre, ces compresseurs, qui étaient auparavant dispersés, ont été regroupés au sein d'un local spécifique afin d'assurer un point d'alimentation unique pour tout le réseau d'air comprimé.
- > Les sécheurs assurent une qualité de l'air (humidité faible, absence d'huiles et de particules) compatible avec la production d'excipients. Ils ont en charge le refroidissement de l'air permettant une condensation de l'eau et de son élimination sous forme liquide en amont du réseau d'air comprimé.

Bilan économique

Coûts d'investissement	1 64 k€
Participation ADEME	Financement du prédiagnostic énergie et du diagnostic air comprimé (respectivement aides de 2 070 € et 3 804 €)

Reproductibilité

La mise en œuvre des compresseurs à VEV est d'ores et déjà maîtrisée. Ils peuvent être installés au sein des sites où la demande en air comprimé est élevée et fluctuante. Ce type d'installations peut donner lieu à l'attribution de certificats d'économies d'énergie (CEE). La fiche d'opération standardisée IND-UT-02 couvre les compresseurs d'air (en rénovation ou pour un nouvel équipement).

Autres retombées

Amélioration de la qualité des gélules grâce à un air exempt d'humidité, d'huiles et de particules.

EN SAVOIR +

Contacts :

Contact entreprise :
CAPSUGEL
Benoît ARBEZ
Responsable Utilité
Tél : 03 89 20 57 47
benoit.arbez@capsugel.com

Autre contact :
ADEME Alsace
Florence HUC
florence.huc@ademe.fr



Remplacement d'un compresseur d'air



Mots clés

- Air comprimé
- VEV : Variation Electronique de Vitesse
- Refroidissement

ETERNIT

Activité :

Fabrication de plaques profilées fibres-ciment pour la couverture des bâtiments.

Code NAF : 2365Z

Production de l'entreprise :

90 000 tonnes par an représentant 5 000 000 m² de toiture

Effectif : 110 personnes

Région :

Midi-Pyrénées

Adresse :

BP 1
81150
TERSSAC



Nouveau compresseur à vis à vitesse variable

Contexte & enjeux

Eternit est une société spécialisée dans la fabrication de matériaux de couverture, de façade et de construction. Suite à une campagne de mesure effectuée sur le site de Terressac, un potentiel d'économie d'énergie a été identifié sur la production d'air comprimé. La mise en place de compresseurs d'air comprimé à vitesse variable en remplacement de compresseurs fonctionnant à vitesse fixe permet d'obtenir des économies d'énergie substantielles de l'ordre de 15 %.

La variation électronique de vitesse est le seul type de régulation qui permet d'obtenir une consommation d'énergie quasiment proportionnelle au débit sur une plage de débit allant de 15 % à 100 % du débit nominal. En outre, cette technique autorise une meilleure précision dans le maintien de la pression de consigne.

Bilan de l'opération

Gains énergétiques :

Le bilan énergétique	Avant : 817 MWh d'électricité pour la production d'air comprimé Après : 745 MWh/an pour la production d'air comprimé
Économie d'énergie	72 MWh/an, soit 9 % d'économie sur la production d'air comprimé

Gains financiers : 3 528 € par an

Temps de retour brut sur investissement : 11,5 ans

Gains environnementaux :

Réduction des émissions	Suppression de la consommation en eau potable liée au refroidissement de l'air comprimé
-------------------------	---



Retour
sommaire

TÉMOIGNAGE

« L'installation de compresseurs à vitesse variable nous a permis de diminuer notre consommation d'énergie mais aussi de diminuer fortement les coûts d'entretien liés à la production d'air comprimé. De plus, Eternit étant certifié ISO 14001 depuis 1998, cette action a été valorisée lors de notre dernier audit et a contribué à la conservation de cette certification environnementale. »

M. Depert,
Responsable maintenance
et travaux neufs

Enseignement

Grâce au recours à deux entreprises externes dont les cœurs de métier répondaient aux exigences du projet (mesure et installation), l'installation du compresseur à vitesse variable s'est faite sans difficultés majeures.

EN SAVOIR +

Présentation de la démarche

Eternit a des besoins en air comprimé journaliers variables (taux de charge de 64 % pour le compresseur principal et de 12 % pour le compresseur d'appoint). En 2002, Eternit a donc décidé de remplacer ses deux anciens compresseurs à piston (2 x 90 kW) refroidis à eau par deux compresseurs à vis à vitesse variable refroidis par air (2 x 75 kW).

Ces compresseurs ont permis une économie d'énergie de 72 MWh/an. Par ailleurs, le fait de remplacer un compresseur refroidi par eau par un compresseur refroidi par air a permis d'éliminer la tour aéroréfrigérante qui produisait l'eau de refroidissement.

Bilan économique

Coûts d'investissement	41 135 € HT
------------------------	-------------

Reproductibilité

Les compresseurs d'air à vitesse fixe constituent l'essentiel du parc de compresseurs rencontrés dans les entreprises, même si ces dernières années les compresseurs à vitesse variable tendent à émerger. Environ 25 % plus coûteux à l'achat qu'un compresseur à vitesse fixe (en fonction de la puissance), le temps de retour sur investissement est d'autant plus court que les besoins en air comprimé sont variables au cours du temps. Ce type d'installations peut donner lieu à l'attribution de certificats d'économies d'énergie (CEE). La fiche d'opération standardisée IND-UT-02 couvre les compresseurs d'air (en rénovation ou pour un nouvel équipement).

Autres retombées

Réduction du bruit, réduction de la maintenance et allongement de la durée de vie des équipements.

Contacts :

Contact entreprise :
ETERNIT
Frédéric DEPERT
Responsable maintenance
et travaux neufs
Tél : 05 63 53 76 30
frederic_depert@eternit.fr

Autre contact :
ADEME Midi-Pyrénées
Jérôme LLOBET
jerome.llobet@ademe.fr

