

POSSIBILITÉS D'AMÉLIORATION DU RENDEMENT ÉNERGÉTIQUE

DANS LES INDUSTRIES
DES PRODUITS EN BOIS MASSIF

Un projet appuyé par :

le Conseil des industries forestières
le Programme d'économie d'énergie
dans l'industrie canadienne
Ressources naturelles Canada

INTRODUCTION

Au nom du Groupe de travail sur les produits du bois du Programme d'économie d'énergie dans l'industrie canadienne (PEEIC), le Conseil des industries forestières de la Colombie-Britannique a retenu les services de Carroll-Hatch (International) Ltd. (CHI) pour recueillir et analyser les données relatives à l'utilisation de l'énergie industrielle dans le secteur des industries canadiennes des produits en bois massif, et pour déterminer les possibilités d'améliorer le rendement énergétique.

Le PEEIC comprend 16 groupes de travail qui représentent les divers secteurs industriels canadiens. Le président actuel du Groupe de travail sur les produits du bois en fait partie.

Les groupes de travail du PEEIC sont des centres de coordination où l'on détermine le potentiel de rendement énergétique et les possibilités d'améliorer ce rendement, en établissant des objectifs de rendement propres à chaque secteur, en examinant les obstacles et en trouvant des solutions pertinentes, ainsi qu'en élaborant et en mettant en œuvre des stratégies pour réaliser les objectifs.

Le Conseil des industries forestières de la Colombie-Britannique a pour mandat de créer, au sein de l'industrie forestière de la Colombie-Britannique, un climat qui privilégie un développement économique stable et vigoureux. Dans le cadre de ce mandat, la principale stratégie du Conseil consiste à mettre en place et à promouvoir une politique industrielle visant à améliorer la position concurrentielle de l'industrie forestière. Le Groupe de travail sur les produits du bois du PEEIC a donc prié le Conseil d'assurer, en son nom, la coordination d'une étude sur les possibilités d'améliorer le rendement énergétique.

Les informations contenues dans le présent rapport tentent d'abord de mettre en lumière les possibilités offertes aux industries des produits en bois massif d'accroître leur rendement énergétique, puis de favoriser l'élaboration d'un objectif sectoriel de rendement énergétique suivi d'un plan d'action permettant de réaliser cet objectif.

Le rapport est tiré de la publication intitulée « Energy Efficiency Opportunities for the Canadian Solid Wood Industries. A Practical Guide Book ».

La mention de raisons sociales ou de marques de commerce n'implique aucunement la sanction d'une personne morale ou d'un produit commercial.

TABLE DES MATIÈRES

1.0 POSSIBILITÉS D'AMÉLIORATION DU RENDEMENT ÉNERGÉTIQUE	2
1.1 Air comprimé	2
1.1.1 Possibilités techniques d'économies d'énergie dans les réseaux de distribution d'air comprimé.....	2
1.1.2 Production de l'air comprimé	2
1.1.3 Traitement de l'air comprimé	4
1.1.4 Intégrité du réseau de distribution d'air comprimé	6
1.1.5 Utilisation de l'air comprimé	8
1.1.6 Sources d'énergie en remplacement de l'air comprimé	10
1.2 Systèmes hydrauliques	10
1.3 Manutention des matériaux	11
1.3.1 Régulation des principales machines	12
1.3.2 Asservissement hydraulique	13
1.3.3 Possibilités d'économies d'énergie	13
1.3.4 Utilisation de l'hydraulique	13
1.3.5 Positionnement linéaire (asservissement hydraulique)	15
1.3.6 Possibilités d'économies d'énergie	15
1.4 Ventilateurs	16
1.4.1 Ventilateurs centrifuges	18
1.5 Installations de transport pneumatiques	20
1.5.1 Installations de transport pneumatiques haute pression	20
1.5.2 Installations de transport pneumatiques basse pression	24
1.6 Entraînements	27
1.6.1 Entraînements flexibles	27
Courroie plate	27
Courroie trapézoïdale	27
Courroie de synchronisation	27
Chaîne à rouleaux	27
1.6.2 Réducteurs à engrenages	27
Engrenage à vis sans fin	28
Engrenage cycloïdal	28
Engrenage planétaire	28
Engrenage hélicoïdal	28
1.6.3 Possibilités d'économies d'énergie	28
1.7 Moteurs	29
1.8 Gaz naturel	31
2.0 NOUVELLES TECHNOLOGIES FAVORISANT LE RENDEMENT ÉNERGÉTIQUE	33
2.1 Électricité	33
2.1.1 Entraînements de chariot	33
2.1.2 Entraînement à jet de vapeur	33
2.1.3 Cylindre à jet d'eau sous pression	33
2.1.4 Entraînement à amplidyne c.a./c.c.	33
2.1.5 Entraînement transistorisé par variation de fréquence (moteur à c.a.)	34
2.1.6 Actionneur linéaire commandé par moteur électrique	34
2.1.7 Moteurs linéaires	34
2.1.8 Actionneurs	34
2.2 Gaz naturel	35
3.0 ÉVALUATION DES PROGRAMMES	36
3.1 Économies d'énergie électrique	36
3.2 Gaz naturel	37
3.3 Résumé	37
4.0 PLAN D'ACTION	40
4.1 Économies d'énergie électrique	40
4.2 Gaz naturel	41
Annexe A : Liste de contrôle des possibilités d'économies - Air comprimé	42
Annexe B : Liste de contrôle - Entraînements flexibles et réducteurs à engrenages	44

1.0 POSSIBILITÉS D'AMÉLIORATION DU RENDEMENT ÉNERGÉTIQUE

1.1 Air comprimé

1.1.1 Possibilités techniques d'économies d'énergie dans les réseaux de distribution d'air comprimé

Les possibilités d'économiser l'énergie dans les réseaux de distribution d'air comprimé peuvent être groupées en quatre catégories (qui conviennent à la majorité des industries) :

- 1) la production de l'air comprimé;
- 2) le traitement de l'air comprimé;
- 3) l'intégrité du réseau de distribution d'air comprimé;
- 4) l'utilisation d'air comprimé.

Pour évaluer la consommation d'énergie des réseaux de distribution d'air comprimé et déterminer les économies potentielles, il est impératif de considérer le réseau comme un tout et non pas nécessairement comme la somme de ses composants. La modification d'un composant du réseau, sans égard à l'interaction de celui-ci avec les autres composants, peut entraîner une importante réduction d'air utilisé – mais une très faible diminution de la demande d'énergie finale. Il en est ainsi notamment dans le cas des techniques courantes de régulation par modulation des compresseurs dotés d'un régulateur à action progressive de type laminage à l'aspiration qui exige pratiquement 70 p. 100 de la pleine puissance pour produire un volume d'air comprimé négligeable. **Le rendement énergétique du compresseur est élevé lorsque la demande en air comprimé est au maximum de la capacité du compresseur mais diminue sensiblement lorsque la demande en air comprimé diminue.**

Voici une brève description des techniques et des équipements les plus répandus dans les industries de fabrication du secteur des produits en bois massif et des panneaux dérivés du bois. Elle ne couvre pas toutes les techniques actuelles. D'ailleurs, étant donné la diversité des besoins de cette industrie et la non-rentabilité de certaines des nouvelles techniques appliquées à la modernisation de l'équipement, il serait impossible de traiter de cette technologie de façon exhaustive dans la présente section. L'annexe C de la publication source (voir l'introduction à la page couverture intérieure) du présent rapport, intitulée « *Compressed Air Energy Conservation Seminar Presentation* », fournit un examen approfondi des économies d'énergie possibles dans le domaine de l'air comprimé.

Un résumé des mesures simples et des changements majeurs qui offrent des possibilités d'économies d'énergie est présenté à l'annexe A – **Possibilités d'économies d'énergie – air comprimé**, du présent rapport.

1.1.2 Production de l'air comprimé

La production de l'air comprimé comprend le processus par lequel l'air atmosphérique est comprimé. Ainsi, non seulement le module de compression d'air est en cause, mais l'entrée, le refroidissement et la pressurisation de l'air le sont également.

Le compression à l'aide de compresseurs à vis monoétage refroidis à l'huile est la technique de compression d'air la plus usuelle dans l'industrie des produits en bois massif et des panneaux dérivés du bois. Les usines de produits du bois qui consomment un très grand volume d'air pour alimenter les dispositifs de commande et de contrôle ont avantage à utiliser des compresseurs hélicoïdaux biétages sans huile qui garantissent un très bon rendement et des tolérances serrées de fonctionnement. Les

compresseurs alternatifs qui étaient très populaires avant les années soixante-dix, le sont moins depuis peu en raison de l'arrivée sur le marché des compresseurs à vis qui sont plus élémentaires mécaniquement (bien que moins efficaces), moins coûteux et plus faciles d'entretien que ces derniers.

La technologie employée pour contrôler ces compresseurs à de grandes répercussions sur le niveau d'énergie utilisée. Les premiers compresseurs hélicoïdaux étaient contrôlés au moyen d'un régulateur à action progressive (laminage à l'aspiration). Le volume d'air comprimé produit était réglé par l'entrée d'air atmosphérique dans le compartiment de compression. La restriction de l'orifice d'entrée d'air, dans le but de réduire le volume d'air comprimé généré, crée une dépression à l'aspiration du compartiment de compression au moment où le robinet à papillon de l'entrée se ferme. Cette dépression augmente sensiblement le rapport entre la pression de refoulement et la pression d'aspiration. Par conséquent, bien que le volume de refoulement du compresseur diminue, l'effet d'accroissement du rapport de pression entre l'air atmosphérique aspiré et l'air comprimé refoulé peut ne pas entraîner une baisse importante de consommation d'énergie. La réduction de la demande énergétique pour engendrer une puissance inférieure à la pleine puissance du compresseur n'est pas proportionnelle à la baisse de volume. Habituellement, dans ces réseaux à puissance maximale, les compresseurs demanderaient environ 110 p. 100 de la pleine puissance pour fournir un refoulement nul. Ils utiliseraient encore de 65 p. 100 à 70 p. 100 de la pleine puissance. Les progrès technologiques concernant la régulation des compresseurs ont permis de mettre au point des dispositifs de modulation modifiés grâce auxquels la puissance requise pour un refoulement nul est sensiblement réduite. Une technologie récente permet d'amener le dispositif de modulation à quelque 40 p. 100 de la pleine puissance, et au-dessous de cette valeur, le compresseur commute à un mode de décharge réelle; la puissance alors requise se situe entre 15 p. 100 et 20 p. 100 de la pleine puissance. Certains fabricants de compresseurs offrent des dispositifs de régulation de type tout ou rien permettant au compresseur soit de produire sa pleine puissance, soit de fournir un refoulement « zéro », avec une puissance correspondante allant de maximale à environ 20 p. 100 sans charge. L'inconvénient du dispositif de type tout ou rien est la fréquence à laquelle le compresseur doit procéder aux fonctions de charge et de décharge en raison des débits d'air très variés qu'exigent les diverses opérations d'une scierie type.

Le problème de l'utilisation de l'énergie se complique lorsque plusieurs compresseurs sont employés. Maintes fois, les dispositifs de régulation des compresseurs ne sont pas réglés correctement, chacun annulant les effets de l'autre. Par exemple, dans un groupe de trois compresseurs dotés de régulateurs à action progressive, tous peuvent fournir un refoulement d'air de 30 p. 100 (chacun utilisant 75 p. 100 de sa pleine puissance) au lieu qu'un seul compresseur assure un refoulement de 90 p. 100 en utilisant 95 p. 100 de sa pleine puissance, alors que chacun des deux autres serait déchargé à 20 p. 100 ou au moins un compresseur serait mis hors réseau.

Du point de vue du rendement énergétique, en règle générale, par ordre croissant, le régulateur à action progressive classique est le moins efficace, suivi des divers dispositifs de modulation modifiés, puis du dispositif de régulation de type charge-décharge qui s'avère le plus efficace.

Voici quelques techniques qui permettent de réduire la consommation d'énergie liée à la production d'air :

Nouvelles installations

Les caractéristiques techniques des compresseurs doivent être déterminées et les compresseurs choisis non seulement en fonction du prix et du rendement, mais aussi de leur consommation énergétique. Cela supposerait l'installation des dispositifs de régulation les plus efficaces comme les dispositifs de modulation modifiés ou, dans la mesure où cela serait approprié, un dispositif de régulation de type charge-décharge réelle.

Dans le cas de compresseurs multiples, il faut prévoir un régulateur de réseau qui assure la régulation de tous les compresseurs depuis un régulateur électronique unique mettant en séquence les compresseurs selon un ordre de priorités et en fonction de la demande de pression du réseau de distribution.

Réseaux de distribution en place

Dans la majorité des cas, il est possible d'améliorer le rendement énergétique des réseaux existants, d'une façon tout à fait élémentaire, en procédant à une vérification et à un réglage systématiques du mécanisme de régulation conformément aux conditions d'origine. Les plus anciens dispositifs de régulation par modulation sont dotés d'un régulateur de pression piloté qui se dérègle facilement et entraîne un mauvais fonctionnement du réseau. Quelques régulateurs à action progressive peuvent être transformés en dispositifs de régulation de type tout ou rien. Ces modifications doivent toutefois être effectuées par un personnel compétent qui en évalue la pertinence en fonction des conditions particulières d'usine.

Étant donné que la majorité des usines de produits en bois massif et de panneaux dérivés du bois sont munies de compresseurs multiples – de deux à cinq dans la plupart des cas – un séquenceur de contrôle des compresseurs s'avère un outil essentiel pour garantir un bon rendement énergétique. Le séquenceur peut être adapté à presque tous les systèmes de compresseurs. Beaucoup de fabricants de compresseurs offrent des dispositifs « prêts à utiliser », tandis que d'autres mettent au point un dispositif de mise en séquence conçu en fonction des besoins précis d'une usine.

En production d'air, il est important de réduire au minimum la perte de charge à l'entrée. Toute perte de charge injustifiée provoque une légère dépression à l'entrée, qui à son tour accroît le rapport entre la pression de refoulement et la pression d'aspiration entraînant une consommation d'énergie accrue.

Une hausse de température de l'air admis a également des effets négatifs sur le rendement énergétique. Par conséquent, il est important que l'air admis provienne d'une zone relativement froide.

1.1.3 Traitement de l'air comprimé

Le traitement de l'air comprimé comporte la dessiccation de l'air comprimé, la filtration primaire de l'air comprimé et la stabilisation de la pression du réseau.

Lorsque l'air est comprimé à une pression de service de 100 psig par exemple et quitte le compresseur après avoir été refroidi, sa température est supérieure à la température d'air intérieure ou extérieure, et est généralement saturé. À mesure que l'air s'écoule dans le conduit, la température baisse et la vapeur d'eau se condense. Parallèlement à ce phénomène, lorsque l'air comprimé est projeté à travers un orifice tel un robinet à la pression atmosphérique, ce rapide effet de décompression provoque une baisse sensible de température qui augmente la condensation de l'eau condensé dans l'air. À des températures ambiantes élevées, l'eau condensé est extrait au moyen d'un purgeur. Toutefois, au cours des mois les plus froids de l'hiver, la condensation dans les conduits et dans les composantes crée des problèmes de gel. Pour éviter une telle situation, on a recours à des assécheurs d'air autonomes.

Les méthodes de dessiccation de l'air auxquelles ont recours, en règle générale, les industries des produits en bois massif et des panneaux dérivés du bois, sont les suivantes :

- À l'intérieur uniquement, il est possible d'utiliser un assécheur d'air à frigorigène. Ce dispositif permet d'abaisser le point de rosée de l'air à environ 1 °C (34 °F) et consomme très peu d'énergie par m³/min asséché.
- Dans des cas où la température se situe sous le point de congélation, des assécheurs d'air à matériel dessicatif régénérable sont utilisés. Les plus courants sont les assécheurs d'air à matériel dessicatif régénérable sans échauffement (technologie de la modulation en pression) qui permettent d'utiliser quelque 15 p. 100 de l'air industriel qui a été asséché à régénérer le matériel dessicatif. Il y a aussi le type à matériel dessicatif régénérable avec échauffement qui a recours soit à une soufflante et à un appareil de chauffage externes, soit à un appareil de chauffage interne pour régénérer le déshydratant. À l'occasion, un assécheur d'air à compression est utilisé. Dans celui-ci, la chaleur de compression dégagée par le compresseur au cours du procédé de compression contribue à réactiver le déshydratant de l'assécheur – ce qui évite souvent le recours à une source additionnelle de chaleur ou d'air asséché pour régénérer le déshydratant.

Parmi ces systèmes, suivant un ordre croissant de rendement énergétique, l'assécheur d'air sans échauffement offre le rendement énergétique le plus faible, suivi du type à échauffement interne, puis du type à soufflante et appareil de chauffage externes, et enfin de l'assécheur utilisant la chaleur de compression.

Quel que soit le type d'assécheur utilisé, le rendement énergétique peut être sensiblement accru grâce à une technique appropriée de contrôle de la régénération. Dans la majorité des usines de produits du bois, à un moment ou l'autre, l'assécheur d'air n'est pas utilisé à plein régime. Étant donné le caractère cyclique des procédés industriels, le volume d'air qui passe dans un assécheur d'air, selon les dimensions de l'assécheur, peut varier de l'écoulement minimal à la capacité maximale. Un assécheur qui n'est pas pourvu d'un régulateur de purge régénérative fournira un volume déterminé d'air sec (type sans échauffement) pendant une période déterminée (ou une quantité de chaleur déterminée pendant une période déterminée) indépendamment du volume d'air asséché. Les régulateurs de purge régénérative contrôlent la quantité d'humidité absorbée par le déshydratant et modifient la fréquence de mise en marche du procédé de régénération, réduisant ainsi la consommation d'énergie.

Parallèlement au régulateur de purge régénérative, il existe une autre technique qui permet de réduire les besoins énergétiques, le régulateur de point de rosée. Grâce à ce dispositif, il est possible de régler le point de rosée de l'air industriel expulsé de l'assécheur d'air. Lorsqu'il n'est pas nécessaire d'obtenir un point de rosée bas pour un procédé précis ou lorsque la température extérieure ne chute pas sous le point de congélation, le point de rosée peut être haussé à une valeur supérieure à celle requise en hiver. Généralement, pour les temps froids, le point de rosée est établi à -40 °C. Il est possible, avec le régulateur de point de rosée, de modifier ce réglage et de déterminer la valeur pertinente pour éviter le gel du système. Ainsi, il n'est plus nécessaire d'enlever, par le procédé de régénération, une trop grande proportion d'humidité du déshydratant; la consommation d'énergie est, par le fait même, réduite.

Voici quelques techniques qui permettent de réduire la consommation d'énergie liée au traitement de l'air :

Nouvelles installations

Les caractéristiques techniques des assécheurs doivent être déterminées et les appareils choisis en fonction de leur rendement et de leur consommation énergétiques. Il est très important d'établir d'une manière réaliste les caractéristiques techniques des volumes d'air affluent qui doivent être asséchés. La température, la pression et le volume de l'air amené sont des facteurs essentiels pour déterminer le dimensionnement et le rendement de l'assécheur. Une température d'entrée supérieure à la température de calcul de l'assécheur force l'assécheur à extraire une plus grande proportion d'humidité que prévu selon le réglage d'origine et exige plus d'énergie pour régénérer le déshydratant. Tous les assécheurs doivent être munis d'un régulateur de purge régénérative qui réagit à la charge d'humidité en temps réel et au réglage du point de rosée. La majorité des fabricants d'assécheurs offrent aussi des régulateurs de purge régénérative. Toutefois, certains fabricants n'ont pas de régulateurs de point de rosée. Des entreprises fabriquent sur commande des régulateurs de point de rosée qui répondent aux besoins particuliers d'une installation.

Installations existantes

Les assécheurs à régénération qui ne sont pas dotés de régulateurs de purge régénérative doivent en être munis. Il serait également bon de les doter d'un régulateur de point de rosée, s'ils n'en ont pas. Parmi les premiers régulateurs de purge régénérative, quelques-uns n'ont pas donné un rendement soutenu et, à l'occasion, le personnel de l'usine les ont débranchés. Ces anciens régulateurs doivent être vérifiés et, dans certains cas, remplacés.

Quelques-uns des premiers assécheurs à régénération étaient munis d'un robinet de commutation de réservoir qui pouvaient mal fonctionner ou fuir et laisser échapper de l'air industriel asséché dans l'atmosphère. Ces appareils doivent être inspectés et réparés. Certains fabricants offraient des composants de rechange qui permettaient d'améliorer la situation.

Un autre aspect important du procédé de dessiccation qui est souvent négligé est l'effet d'une perte de charge dans l'assécheur qui commence à l'entrée du préfiltre et se termine à la sortie du filtre terminal. À mesure que les filtres s'encrassent, la perte de charge s'accroît dans le composant. De la même façon, lorsque le déshydratant commence à se détériorer, les plus petites particules s'accumulent et augmentent la perte de charge dans le lit du déshydratant. Cette perte de charge accrue demande une plus grande énergie pour que le processus se poursuive en aval. C'est pourquoi l'entretien continu de l'assécheur est essentiel. Il n'est pas inhabituel d'observer des pertes de charge dépassant 10 psig mano dans certains réseaux. Il faut remédier rapidement à ces situations pour qu'une telle perte de charge additionnelle ne survienne pas.

1.1.4 Intégrité du réseau de distribution d'air comprimé

Cette section renvoie à la conception globale et au fonctionnement général du réseau de distribution d'air en tant que système monobloc, et comporte trois volets : les fuites d'air du réseau, la conception de la tuyauterie de distribution d'air du réseau et la capacité de stockage du réseau.

Fuites d'air

Les fuites d'air des réseaux de distribution d'air constituent un problème dans la majorité des usines. Cela s'observe notamment dans les usines du secteur du bois massif et du panneau dérivé du bois à cause des dures conditions auxquelles est soumis le réseau et du milieu dans lequel ce dernier fonctionne. Les vibrations et les dégâts matériels sont une préoccupation dans ces industries, de même que le degré de pollution de l'air atmosphérique et, plus particulièrement, de la poussière et des saletés. Tous ces facteurs sont à l'origine des fuites des raccords et de l'usure des composants. La poussière et les saletés provoquent l'usure interne des pièces coulissantes et endommagent les joints étanches des cylindres à air.

Dans la pratique, il est impossible d'éliminer les fuites, il faut plutôt les gérer. L'usure des pièces coulissantes et mobiles à l'intérieur des composants pneumatiques est inévitable. Toutefois, elle peut être réduite. Dans l'industrie des produits du bois, l'expérience a démontré que la gestion des fuites est un problème grave qui monopolise entre 10 p. 100 et 50 p. 100 de la puissance du compresseur selon la gravité des cas. Par exemple, dans une usine de conversion du bois, il a fallu consacrer deux des cinq compresseurs à la seule tâche de compenser les fuites du réseau. L'industrie s'est fixé un objectif réaliste de 15 p. 100 de fuites, en moyenne, bien que certaines usines aient réussi à baisser cette perte à 10 p. 100. Dans les installations existantes, il faut gérer les fuites de façon à ne pas dépasser le seuil maximal de 15 p. 100. Dans la majorité des usines, il est dépassé. La plupart des services publics ont élaboré un programme d'économies d'énergie relatives à l'air comprimé accordant des incitatifs afin de diminuer les fuites. B.C. Hydro a mis en œuvre un programme de réduction des fuites en vertu duquel elle offrait aux usines un débitmètre à orifice du type Airflow Energy LP07, tout à fait élémentaire mais efficace, pour contrôler les fuites de façon systématique et constante. En retour, chaque usine devait s'engager à mettre sur pied un programme de réduction des fuites.

Conception de la tuyauterie de distribution d'air

La tuyauterie de distribution d'air doit être conçue avec soin de manière à garantir une utilisation efficace de l'air comprimé. Le dimensionnement des conduites joue un rôle important dans le contrôle des pertes de charge. Le seuil maximal des pertes de charge dans le réseau de distribution ne doit pas être supérieur à 2 ou 3 psig mano. De fortes pertes de charge ajoutent à la demande énergétique et se manifestent souvent sous la forme d'une insuffisance d'air ou de pression. Les réseaux de distribution doivent idéalement comporter un branchement de la tuyauterie en boucle; ce type de réseaux offre le meilleur rendement énergétique et est le plus rentable, particulièrement lorsque les demandes d'air sont cycliques et atteignent des sommets extrêmes.

Capacité de stockage du réseau

Le niveau de stockage de l'air comprimé dans le réseau peut nuire à son fonctionnement. Une capacité de stockage inappropriée exige une puissance accrue du compresseur à l'amont pour fournir l'air pendant les courtes périodes de pointe. Par contre, il y aura une baisse de pression perceptible à l'utilisation finale, qui risque de ne pas fournir la puissance requise ou qui se manifestera par un volume d'air insuffisant entraînant le ralentissement d'une opération. Si la capacité du réservoir d'air est suffisamment accrue, l'air stocké à haute pression sera utilisé à une pression inférieure à la pression de stockage. L'air extrait à basse pression déplace un volume moins important que l'air extrait du réservoir.

voir à haute pression. Il est possible d'améliorer encore le réseau en installant un régulateur de pression d'air de refoulement qui contrôle la pression d'air s'écoulant en aval (avant de procéder à cette installation, il faut étudier la dynamique du réseau).

1.1.5 Utilisation de l'air comprimé

En dernière analyse, les demandes d'utilisation finale d'air comprimé dictent le choix et le dimensionnement de tous les composants du réseau de distribution d'air comprimé. La baisse logique de la demande finale grâce à l'emploi de techniques efficaces influera sur les systèmes de production et de traitement de l'air. Dans certains cas, il faudra peut-être mettre un ou des compresseurs hors réseau et réduire l'humidité dans les assécheurs d'air, les besoins énergétiques seront ainsi diminués.

L'air est utilisé principalement dans deux domaines distincts :

- a) aux fins de la production;
- b) à des fins autres que la production.

Les usages non compris dans la production peuvent être l'utilisation de l'air pour purger l'équipement, le nettoyage de la zone de travail, alimentation des outils pneumatiques et même la fourniture de pression pour garder chargés les réseaux d'incendie à soupapes différentielles. Si le réseau d'incendie est raccordé au réseau de distribution d'air principal de l'usine pour garantir sa pression, le réseau principal doit, en règle générale, être continuellement maintenu en pression à l'aide d'au moins un compresseur, même en dehors des quarts de travail.

Utilisation de l'air aux fins de la production

Les principales utilisations de l'air comprimé aux fins de la production sont généralement les suivantes :

- les cylindres à air des chargeuses, des balayeurs, des culbuteurs, des portes, des engins de levage, etc.;
- les dispositifs de tension ou d'amortissement du type coussins pneumatiques ou de courses;
- les jets d'air pour garder les cellules photoélectriques et autres appareils d'optique électroniques exempts de poussière et de débris;
- les jets d'air pour prévenir l'accumulation de poussière dans les chutes et pour nettoyer les courroies de convoyeurs;
- les moteurs à air utilisés à l'occasion pour actionner les agitateurs dans les réservoirs de liquide de traitement anti-coloration et les pompes des circuits de lubrification.

L'utilisation efficace de l'air des cylindres à air des culbuteurs et des engins de levage de divers genres, dans l'industrie des produits du bois, présente de nombreuses difficultés. En règle générale, la masse des grumes et des bois débités n'est pas uniforme et peut varier sensiblement. Par conséquent, le dispositif mécanique (culbuteur, balayeur, etc.) doit être conçu pour s'adapter à toute la gamme des pièces de bois qu'il reçoit. Les exigences en puissance varient donc énormément. Afin de fournir la puissance appropriée, les cylindres à air sont dimensionnés pour déplacer les plus grosses pièces à une pression nominale de 10 p. 100 à 20 p. 100 inférieure à la pression du réseau. Cela garantit la puissance nécessaire pour déplacer la plus grosse pièce, le cas échéant. Toutefois, lorsque les pièces sont de taille moyenne ou sont soumises à une pression de fluide supérieure à la pression nominale, il y a un excédent d'énergie inutilisé. Dans le cas de l'air comprimé, s'il y a plus

d'énergie stockée inutilisée que d'énergie utile, l'énergie inutilisée se dissipera dans l'équipement (culbuteurs, balayeurs, etc.) même si elle ne sert à rien. Cet excédent d'énergie se traduira par un accroissement de l'accélération et des vitesses au-delà de ce qui est nécessaire. L'accroissement des vitesses est ensuite contrôlé au moyen de régulateurs de débit.

Du point de vue du rendement énergétique, la régulation de pression ne doit être utilisée que pour faire face au pire cas qui se présente. L'écart entre cette pression de service et la pression de l'installation reste dans le réseau de distribution sous forme d'énergie stockée. Souvent, les cylindres à air sont surdimensionnés relativement aux pièces à déplacer afin de résister à la surcharge physique. Le cas échéant, la pression réelle demandée risque d'être largement inférieure à la pression de l'installation.

Une autre variante de ce genre d'utilisation de l'air comprimé est le cas où de grandes forces ne sont utiles que dans un seul sens de l'actionnement du cylindre. L'équipement, comme les culbuteurs et les balayeurs, exigent généralement une grande puissance pour déplacer les grumes ou les bois débités dans une seule direction, alors que la course de retour ne demande que la puissance nécessaire pour ramener le composant de l'équipement à sa position de départ. Cette course de retour ou course à vide exige une pression inférieure à celle dans l'autre sens. Un réseau bipression convient la plupart du temps à de telles situations, offrant une pression au cylindre dans une direction et une deuxième pression, inférieure à la première, dans la direction opposée. La plus basse pression, au retour, peut réduire la consommation d'air de 25 p. 100 dans certains cas. Cette économie devient importante lorsque l'installation comporte de gros cylindres ou que l'opération est cyclique.

Dans certains cas où le cylindre exerce une force verticale, le culbuteur ou l'engin de levage reviennent à leur position de départ par la seule pesanteur. Quelquefois, il convient d'utiliser l'air comprimé aux fins de levage dans la seule course ascendante et de l'éliminer dans la course descendante. L'effet du coussin pneumatique - un dispositif à simple action - est alors reproduit. L'élimination de l'air comprimé dans la course de retour réduit sensiblement la demande d'air.

Dans les cas où l'air comprimé sert à garder les appareils de surveillance optiques exempts de poussière et de débris, d'autres techniques plus efficaces peuvent être employées. Par exemple, une petite conduite d'air de 1/4 po à 3/8 po (0,635 cm à 1,905 cm), dotée d'un robinet d'isolement à commande manuelle et, éventuellement, d'un régulateur de pression, peut être amenée jusqu'à l'appareil optique et projeter de l'air en permanence. Cette technique est fréquemment employée pour les cellules photo-électriques et certains dispositifs de détection peu complexes. Une autre technique répandue qui utilise une variante de l'effet tourbillon exigeant un ordre de grandeur et un faible volume d'air comprimé produit un résultat similaire. Pour accroître l'efficacité de la technique, le jet d'air peut être contrôlé au moyen d'un robinet électromagnétique temporisé et actionné au besoin.

Lorsque les jets d'air à pression dans les conduites servent à dégager les chutes ou les courroies de convoyeur, la technologie de l'effet tourbillon peut être quelquefois appliquée pour réduire sensiblement le volume d'air utilisé. Pour dégager la courroie, une autre méthode permet d'économiser beaucoup d'énergie. Par exemple, une soufflante basse pression peut remplacer l'air comprimé et permettre d'économiser jusqu'à 75 p. 100 de l'énergie normalement consommée.

Utilisation de l'air à des fins autres que la production

Parmi les principales utilisations de l'air comprimé à des fins autres que la production, soulignons le nettoyage ou la purge, l'alimentation des outils à air et la mise en pression du réseau d'incendie. Comme il a été mentionné plus haut, aux fins de nettoyage, la technique de la soufflette à venturi permet de réaliser des économies d'énergie. Lorsqu'un réseau d'incendie est pressurisé depuis le réseau de distribution d'air principal, l'usine doit habituellement garder au moins un compresseur en marche continue. Le compresseur fonctionne donc même lorsque l'usine est fermée, c'est-à-dire pendant les fins de semaine et les jours fériés. Comme tous les réseaux de distribution d'air fuient, le compresseur en marche doit fournir au moins suffisamment d'énergie pour maintenir la pression malgré les fuites. Cela signifie généralement que le compresseur en marche soutire une grande proportion de la pleine puissance pour compenser les fuites afin de pressuriser le réseau d'incendie. Dans maints cas, à l'usine où fonctionne un compresseur ordinaire de 150 HP hors des heures de travail, ce compresseur peut soutirer 125 HP en raison du dispositif de modulation de son régulateur. L'installation de compresseurs moins puissants (de 3/4 HP à 2 HP) destinés aux seules soupapes différentielles permet de fermer les compresseurs en dehors des quarts de travail.

1.1.6 Sources d'énergie en remplacement de l'air comprimé

Il convient quelquefois de remplacer l'air comprimé par d'autres sources d'énergie, telle que l'énergie hydraulique, qui s'avèrent plus rentables et garantissent un rendement supérieur à celui de l'air comprimé. En règle générale, un système hydraulique offre un rendement de 65 p. 100 à 85 p. 100, alors que celui de l'air comprimé est évalué à environ 15 p. 100, étant donné qu'une très grande partie de l'énergie d'entrée du compresseur est perdue en chaleur de compression.

1.2 Systèmes hydrauliques

Les systèmes hydrauliques sont de plus en plus courants dans l'industrie des produits en bois massif et des panneaux dérivés du bois. Les dispositifs de transport d'énergie qui étaient actionnés au moyen d'entraînements électriques et de mouvements linéaires engendrés par des cylindres à air ont été largement remplacés par des systèmes hydrauliques. À l'origine, les systèmes hydrauliques étaient des systèmes à fonction unique, c'est-à-dire une seule pompe par moteur hydraulique. Actuellement, un seul dispositif de pompage (groupe générateur de pression hydraulique) alimente plusieurs moteurs hydrauliques ou cylindres hydrauliques.

L'industrie des produits du bois a souvent recours à l'hydraulique en positionnement linéaire. L'empilement de cylindres à air combinés, étagés de diverses façons et dont on se servait auparavant, est désormais remplacé par des servovalves, une technologie empruntée à l'industrie de l'aéronautique. Cette technique est désormais fort répandue dans les scieries qui l'appliquent aux scies de guidage, aux coupeuses-déchiqueteuses, aux tables de prépositionnement, etc. Certaines usines ont tenté de reproduire le concept du réseau de distribution d'air comprimé au moyen de dispositifs de pompage hydrauliques multiples mettant en pression un réseau de collecte hydraulique et alimentant en huile plusieurs moteurs et cylindres hydrauliques en fonction de la demande. Certaines de ces méthodes, bien qu'efficaces dans des contextes définis, peuvent ne pas représenter une excellente solution du point de vue du rendement énergétique dans les dures conditions de charges cycliques et variables qui existent dans le secteur des produits du bois.

Voici une brève description des types de systèmes hydrauliques les plus usuels du secteur du bois massif et du panneau dérivé du bois et des fins auxquelles ils sont utilisés, ainsi que des possibilités d'économies d'énergie qu'ils offrent. Il ne s'agit pas d'un exposé exhaustif sur la technologie offerte actuellement sur le marché, mais plutôt d'un exposé sur l'état général de l'industrie. L'annexe E « **A General Background to Efficiency of Industrial Hydraulic Systems** » de la publication source du présent rapport, traite plus en profondeur le sujet des systèmes hydrauliques et des économies d'énergie que ceux-ci génèrent. Cette annexe a d'ailleurs été rédigée par Carroll-Hatch (International) Ltd., dans le cadre du programme Power Smart (Éconergique) de B.C. Hydro.

1.3 Manutention des matériaux

Le secteur du bois massif et du panneau dérivé du bois a recours à l'énergie des fluides hydrauliques pour la manutention des matériaux, dans les opérations à mouvements rotatifs (moteurs hydrauliques) et dans les opérations à mouvements linéaires (cylindres hydrauliques).

Au moment du sciage de contreplaqué et de panneaux de grandes particules orientées, les moteurs hydrauliques sont fréquemment employés pour entraîner les convoyeurs et les plates-formes de transport à chaînes multiples. La manutention des grumes se fait dans plusieurs cas par hydraulique. Étant donné que les convoyeurs à grumes et les plates-formes de transport de grumes sont soumis à des charges fluctuant par à-coups violents et à de fréquentes séquences de marche-arrêt, ils sont particulièrement bien servis par l'hydraulique. Les moteurs hydrauliques sont également employés pour la manutention des bois débités dans les scieries où les charges varient considérablement, les séquences de marche-arrêt sont fréquentes et les variations de vitesses sont nombreuses.

Pour ce qui est des mouvements linéaires, les cylindres hydrauliques remplacent de plus en plus les cylindres à air comprimé dans des composants d'équipement comme les bras de culbuteurs, les butées et les chargeuses de grumes. Dans certaines fonctions industrielles traditionnelles, l'air comprimé est désormais remplacé par les cylindres hydrauliques, particulièrement lorsque les températures sont extrêmement froides et les charges très importantes.

Bien qu'à l'occasion, les systèmes hydrauliques soient plutôt une question de préférence qu'un choix logique, ils sont habituellement utilisés pour des motifs valables.

Il y aurait avantage à utiliser des moteurs hydrauliques dans des cas de surcharges par à-coups violents, de grandes variations de charges, de fréquentes séquences de marche-arrêt ou d'inversion de marche et de multiples variations de vitesses, et dans les conditions exposées ci-dessus. Si des dispositifs d'entraînement électromécaniques étaient utilisés, des demandes aiguës seraient engendrées, ce qui provoquerait le grillage des moteurs ou des pannes mécaniques prématurées à moins que l'entraînement ne soit inutilement surdimensionné.

Voici quelques utilisations types de l'hydraulique en manutention de grumes :

- les plates-formes d'aménagement de grumes;
- les convoyeurs d'aménagement de grumes vers les opérations de tronçonnage et d'écorçage;
- les plates-formes de stockage des grumes;
- les séparateurs et les démêleurs de grumes.

Souvent, le circuit hydraulique des systèmes de manutention de grumes et les entraînements multiples sont intégrés dans un seul groupe générateur ce qui réduit la puissance installée grâce à la répartition de la charge. (Toutefois, si le système n'est pas conçu pour fournir un bon rendement énergétique, les pertes d'énergie peuvent être importantes.)

Dans le domaine de la manutention des bois débités :

- les démêleurs de bois débités;
- les transporteurs de très lourdes charges de bois débités;
- les transporteurs-classeurs de bois débités;
- les trieuses de bois débités et le matériel de manutention de bois débités emballés.

L'hydraulique convient particulièrement aux charges lourdes et aux séquences de marche-arrêt fréquentes.

Les situations auxquelles les cylindres hydrauliques conviennent le mieux sont celles dans lesquelles on retrouve de lourdes charges et des températures extrêmement froides. Dans plusieurs opérations de manutention de grosses grumes, la force nécessaire pour culbuter, balayer ou faire pivoter les grumes est supérieure à la puissance que peuvent fournir les cylindres à air du plus grand diamètre couramment offerts sur le marché.

Les entreprises côtières qui employaient traditionnellement les vieux cylindres à vapeur remplacent de plus en plus ceux-ci par des cylindres hydrauliques.

Dans quelques-unes des usines de conversion du bois du Nord, à l'intérieur des terres, les cylindres hydrauliques sont substitués aux cylindres à air comprimé qui gèlent en hiver à cause des froids extrêmes. L'hydraulique n'est toutefois pas au-dessus de tous les problèmes qu'engendre le froid.

Les cylindres hydrauliques remplacent aussi les cylindres à air lorsque la vitesse doit être réglée avec précision. La vitesse du cylindre hydraulique étant liée au réglage du volume de pompage ou du débit, il est facile de varier la vitesse avec toute la précision requise; l'air comprimé est très limité à cet égard.

Ainsi, compte tenu que, pour accroître le rendement énergétique, la conversion de l'énergie électrique à l'énergie hydraulique est beaucoup plus efficace que la conversion à l'air comprimé, il y a lieu d'envisager l'installation de cylindres hydrauliques là où cela est possible sans nuire au rendement recherché.

1.3.1 Régulation des principales machines

Une grande partie de l'hydraulique dans la fabrication des produits du bois est réservée à la régulation des machines qui composent l'équipement d'origine de l'installation. L'équipement de sciage et de fabrication du contreplaqué et des panneaux dérivés du bois est souvent vendu comme un ensemble, doté de ses propres dispositifs hydrauliques hautement spécialisés. Par exemple, dans l'industrie des panneaux dérivés du bois, les presses comportent un système hydraulique complexe; et dans les scieries, les machines à scier en plateaux et les déligneuses sont généralement toutes munies de leur propre système hydraulique. Il s'agit la plupart du temps de systèmes à fonction unique exigeant des normes de rendement rigoureuses.

Mais étant donné la forte concurrence au sein de l'industrie de fabrication des machines, l'étude et l'acquisition d'un système hydraulique par une usine sont basées sur le meilleur devis présenté sans grand égard au rendement énergétique du système. Voilà une bonne occasion d'avertir les responsables des usines de se préoccuper du rendement énergétique en étudiant les diverses caractéristiques techniques des systèmes et en choisissant les composants les plus efficaces.

1.3.2 Asservissement hydraulique

La technologie de l'asservissement de l'industrie aéronautique a eu d'importantes répercussions dans l'industrie des produits du bois. Au cours de la dernière décennie, les servovalves ont été largement utilisées pour assurer le contrôle rapide et précis des cylindres et des moteurs et pour garantir des tolérances extrêmement serrées comme le réglage des déligneuses et des tours à contreplaqué et également des tolérances moyennes dans d'autres cas.

Pour qu'une servovalve fonctionne conformément à ses caractéristiques théoriques, une chute de pression d'environ 1 000 psi doit exister dans cette valve; mais cette chute de pression se traduit par une forte perte de chaleur à l'intérieur de la valve (donc une perte de puissance). Grâce à une technologie de pointe et à la fiabilité des régulateurs à action proportionnelle qui fonctionnent à une chute de pression de quelque 300 psi dans le robinet, il est possible de réaliser des économies d'énergie dans beaucoup de cas en remplaçant les servovalves par des régulateurs à action proportionnelle. Il en est ainsi notamment lorsqu'il n'y a pas lieu de rechercher une précision très rigoureuse. La majorité des scieries modernes sont équipées de plusieurs systèmes d'asservissement; la rénovation ou la modernisation des scieries plus anciennes comportent généralement l'ajout de systèmes à servovalves.

1.3.3 Possibilités d'économies d'énergie

Pour déterminer les possibilités de diminuer la consommation d'énergie par les systèmes hydrauliques dans les usines de produits du bois, il faut examiner et comprendre divers facteurs. Il est important de définir clairement les exigences en matière de rendement de chaque composant de l'équipement, la nature des charges imposées aux systèmes hydrauliques ainsi que la fréquence et la fluctuation de la charge sur une période déterminée (tout en évaluant les types de systèmes hydrauliques couramment utilisés dans ces cas). Une fois ces données connues, les possibilités d'amélioration du rendement énergétique peuvent être démontrées.

1.3.4 Types précis et caractère de l'utilisation de l'hydraulique

Dans les scieries qui ont recours à l'hydraulique, cette forme d'énergie sert à diverses fonctions dont l'entraînement des convoyeurs, des transporteurs à chaînes, des treuils et des rouleaux, ou l'actionnement des bras, des barres ou des palettes qui poussent, balayent ou culbutent les grumes ou les bois débités d'un lieu à un autre. L'annexe F de la publication source du présent rapport fournit quelques exemples de systèmes hydrauliques.

Les convoyeurs, les transporteurs à chaînes et les entraînements à rouleaux sont soumis à des charges très variables et à des séquences de marche-arrêt fréquentes. Il y a de fortes pointes de charge lorsque les grumes ou les bois débités tombent sur le convoyeur ou s'accumulent, ou encore lorsque le convoyeur se met en marche pleinement chargé et doit vaincre la force d'inertie. Dans certains cas, il faut varier la vitesse. Ces exigences opérationnelles sont plutôt courantes. L'hydraulique doit donc fournir la puissance nécessaire pour répondre à ces besoins.

Il n'existe aucun système hydraulique qui convienne à la fois à toutes ces fonctions. Les scieries plus anciennes peuvent avoir recours à une pompe à cylindrée fixe avec régulateur de débit et à une vanne à centre ouvert qui purge l'excédent d'huile dans un régulateur-diviseur de débit. Lorsque l'entraînement ne fonctionne pas, l'huile basse pression est refoulée vers le réservoir en passant par le centre ouvert de la vanne. Un grand nombre de ces fonctions sont désormais con-

trôlées au moyen d'une pompe de régulation de pression munie d'un distributeur tout-ou-rien qui pompe l'huile à une pression constante et ne la distribue qu'en fonction de la demande. Quelques systèmes comprennent un capteur de charge installé sur la pompe de régulation de pression qui non seulement règle le débit utile, mais fournit la seule pression nécessaire sans dépasser la valeur de consigne maximale. Un autre système – le système hydrostatique – convient particulièrement aux fonctions exigeant une variation de la vitesse de fonctionnement. C'est un système bouclé, et le réglage du débit de la pompe est modifié par le signal d'un régulateur en fonction des exigences du moment. Le système fournit la seule pression utile.

Les culbuteurs, les balayeurs, les chargeuses, les portes et les engins de levage sont utilisés pour déplacer des grumes ou des bois débités, habituellement, un à la fois, d'un transporteur à chaînes à un convoyeur, d'un convoyeur à un autre, d'un convoyeur à un transporteur à chaînes; pour pousser le bois sur une plate-forme de stockage ou le charger sur une machine; pour lever des portes, des butées ou des rouleaux. Dans ces cas-ci également, les charges peuvent varier beaucoup, surtout durant la manutention des grumes alors que celles-ci sont amenées, sans égard à leur diamètre, à leur longueur et même à leur degré d'humidité. Et tous ces paramètres peuvent différer amplement d'une pièce de bois à l'autre. Lorsque ce type de manutention est utilisé pour les bois débités, les dimensions des pièces peuvent être plus uniformes que celles des grumes, mais suivant l'opération (p. ex., culbutage des planches derrière la tête d'une scie à ruban), les dimensions des planches peuvent considérablement varier. Cette charge n'est pas continue étant donné que le système n'est actionné qu'au moment du déchargement de la grume ou du bois débité. Dans ces cas, les cylindres hydrauliques (pistons) conviennent.

Soulignons à nouveau qu'il n'existe aucun système particulier qui réponde à la fois à toutes les exigences des diverses opérations.

Plusieurs anciens équipements étaient dotés de pompes à cylindrée fixe avec vanne à centre ouvert; l'huile s'écoulait à basse pression par le centre ouvert de la vanne pour revenir dans le réservoir lorsqu'il n'y avait pas lieu d'actionner le système. Dans certains circuits inefficaces, l'excédent de débit ou le débit lorsque l'actionneur n'était pas utilisé était retourné au réservoir en passant par une soupape de décharge. Il n'y a pas très longtemps, ces systèmes étaient munis de pompes de régulation de pression et, dans certains cas, d'un capteur de charge.

Dans ces deux cas, et dans les cas des convoyeurs, des transporteurs et des entraînements à rouleaux, le système hydraulique est doté d'un seul dispositif de pompage distribuant l'huile à un certain nombre de moteurs ou de cylindres hydrauliques. Les moteurs et les cylindres sont souvent combinés. Dans plusieurs situations, les actionneurs ne se déclenchent pas tous à la fois, et les demandes de pressions maximale et moyenne varient largement. D'un point de vue énergétique, la solution n'est pas excellente. En effet, si une pompe de régulation de pression est installée, l'huile est sans cesse refoulée à la pression maximale quelle que soit la demande.

Les principaux rouleaux d'aménagement, les transporteurs à chaînes et les engins de levage à rouleaux de l'installation déplacent des charges variées, bien que ces grandes machines ne subissent pas de mises en marche et d'arrêts fréquents. Mais étant donné que les machines déplacent des grumes, des équarris ou des planches, un à la fois, sauf si ces pièces sont amenées bout à bout, pendant un moment seuls les rouleaux ou les chaînes sont entraînés.

Ces systèmes peuvent être entraînés au moyen des systèmes hydrauliques décrits ci-dessus.

1.3.5 Positionnement linéaire (asservissement hydraulique)

Étant donné l'augmentation croissante des niveaux de production et le besoin d'une précision accrue dans la coupe du bois, le positionnement linéaire devient de plus en plus utile. Cela se voit notamment dans le réglage de la largeur des scies ou du positionnement d'une pièce de bois dans le sens qui permet la meilleure coupe du bois débité dans cette pièce. Il fut un temps où ces fonctions étaient exécutées à la main ou à l'aide d'une combinaison de cylindres. Ensuite, on a utilisé à une plus grande échelle les servovalves et, plus récemment, grâce aux progrès technologiques, les régulateurs à action proportionnelle. Dans ces cas, les scies sont réglées ou encore le bois débité est positionné, une pièce à la fois. Ainsi, l'utilisation n'est pas continue. La charge moyenne est généralement constante, puisque seuls les scies ou les bras-guides sont déplacés plutôt que la pièce de bois, sauf si des positionneurs linéaires sont utilisés pour régler l'orientation de la grume sur le chariot alimentant la tête de la scie à ruban. Généralement, chacun de ces systèmes est muni de multiples cylindres de positionnement alimentés par un seul dispositif de pompage.

Les types de systèmes hydrauliques les plus usuels sont les pompes de régulation de pression à servovalves et les cylindres de positionnement linéaire dotés d'un transducteur linéaire qui transmet les positions à la servovalve. Ces servovalves sont perforées de très petits orifices qui assurent la précision de rendement recherchée, exigeant généralement une chute de pression dans la valve de quelque 1 000 psi. Cette chute de pression est de l'énergie perdue sous forme de chaleur. Par contre, les régulateurs à action proportionnelle gagnent en popularité sur les servovalves en raison d'un coût d'achat plus bas et d'une plus grande tolérance à la contamination. Ils exigent également une chute de pression inférieure dans le robinet pour atteindre le rendement prévu selon leurs caractéristiques techniques.

1.3.6 Possibilités d'économies d'énergie

Les possibilités d'économies d'énergie dans ces deux types d'utilisation comportent deux volets. Le premier consiste à envisager l'utilisation de composants qui assurent un rendement accru comme des pompes, une robinetterie, des moteurs et des dispositifs de réglage de pompes qui sont mieux conçus que le matériel en place. L'autre volet est la conception du circuit hydraulique comme tel, particulièrement dans le cas d'une seule pompe à fonctions multiples. L'optimisation des composants à haut rendement en fonction du circuit hydraulique va de soi.

Idéalement, le système serait constitué de la pompe la plus efficace pompant l'huile dans le meilleur robinet entraînant le moteur ou les cylindres les plus efficaces en ne fournissant que la pression utile et au seul moment opportun. Mais comme cela ne ressemble nullement à la situation habituelle dans l'industrie des produits du bois, compte tenu des restrictions budgétaires et opérationnelles, d'autres solutions sont étudiées.

Dans le cas d'entraînements de convoyeurs exigeant une fluctuation de vitesse, lorsque le système exécute une seule fonction, une transmission hydrostatique dans un système bouclé serait plus efficace qu'une pompe de régulation de pression avec régulateur de débit à action proportionnelle. Dans le dernier cas, la pompe fournirait sans cesse un refoulement à pression maximale, y compris l'énergie perdue par le régulateur de débit à action proportionnelle.

Dans les entraînements ou dans les cylindres linéaires qui n'exigent pas de fluctuation de vitesse et qui sont raccordés à une pompe unique à fonctions multiples, la méthode courante d'alimentation de ces composants au moyen d'une pompe de régulation de pression peut se révéler très énergivore. Le cas échéant, l'huile pompée est sans cesse refoulée conformément au réglage du com-

pensateur de pression qui correspond à la pression maximale que la pompe doit fournir pour satisfaire aux plus fortes demandes de pression qui lui sont imposées. Par conséquent, si le point de consigne maximal est fixé à 2 000 psig et que la demande moyenne de pression est évaluée à 1 000 psig, seuls 50 p. 100 environ de l'énergie est requise, mais la pompe fournit toujours 100 p. 100 de l'énergie requise et perd les 50 p. 100 inutilisés en chute de pression dans un régulateur de débit ou dans un robinet qui engendre de la chaleur. Si une seule des fonctions exige la pression maximale et les autres n'exigent que de 15 p. 100 à 25 p. 100 de la pression, une fois de plus la pompe refoule l'huile à la pression maximale et gaspille beaucoup d'énergie.

Le rendement peut être amélioré de diverses manières :

- Grouper les fonctions selon leurs exigences en matière de pression si les besoins sont soutenus. Chacune de ces catégories de pression serait desservie par sa propre pompe de régulation de pression. Si les besoins de pression ne sont pas continus, la pompe doit être dotée d'un capteur de charge.
- Isoler chaque fonction avec son propre dispositif de pompage. Si la pompe à cylindrée fixe est correctement dimensionnée en fonction de chaque système, seule la pression nécessaire à chaque fonction sera fournie. Cette méthode est généralement plus coûteuse que la première.
- Ajouter un capteur de charge à la pompe de régulation de pression avec la robinetterie d'asservissement appropriée. Ce système ne fournira que la pression maximale et le débit qu'exigent tous les actionneurs dans des conditions déterminées. Cette méthode n'est pas aussi efficace que les deux précédentes, mais elle est préférable au premier cas exposé.

Lorsqu'il faut recourir au positionnement linéaire, les possibilités de réduire la consommation d'énergie sont nombreuses grâce au régulateur à action proportionnelle dans la mesure où ce dispositif convient aux opérations. Le régulateur à action proportionnelle exige une chute de pression relativement faible et se satisfait d'une filtration moins parfaite que divers autres composants, ce qui a pour effet de diminuer l'importance de la propreté de l'huile et de la chute de pression au filtre.

Les possibilités d'améliorer le rendement énergétique de ces systèmes sont directement liées à l'installation et à l'opération visées; elles doivent donc être évaluées dans leur contexte propre. Par conséquent, toute généralisation sur des économies d'énergie types n'aurait pas de véritable fondement.

1.4 Ventilateurs

Les ventilateurs sont essentiellement des pompes utilisées pour déplacer des gaz de tous genres dont le plus courant est l'air. Le ventilateur déplace l'air en créant à sa sortie une pression supérieure à la pression d'entrée. Cette pression différentielle est désignée delta P ou ΔP . La roue du ventilateur transmet à l'air non seulement une pression statique (ou énergie potentielle) mais en plus, comme l'air est aspiré dans le ventilateur, une pression dynamique (énergie cinétique)

La majorité des ventilateurs sont actionnés par des moteurs électriques. La puissance que doit fournir le moteur correspond au travail effectué pour pousser l'air à travers le ventilateur, et aux pertes de charge par frottement. Cette chaleur due au frottement est aussi engendrée par les roulements du ventilateur et par le dispositif d'entraînement entre le moteur et le ventilateur. Pour réduire l'énergie électrique utilisée pour entraîner le ventilateur, il faut choisir un ventilateur avec un circuit qui produit le moins de pertes possible.

Comme il a été souligné précédemment dans ce rapport, les ventilateurs et les soufflantes offrent de façon déterminée le plus grand potentiel d'économies d'énergie dans les usines de produits du bois. Ce grand potentiel s'explique en partie par le fait que les ventilateurs et les soufflantes, en règle générale, fonctionnent continuellement et soutirent une grande partie de la puissance maximale de moteur installée (ou puissance nominale), sans exception. Cela contraste, par exemple, avec un convoyeur d'usine de conversion de bois qui, en moyenne, utilise un faible pourcentage de sa puissance installée, étant donné que son moteur doit avoir la puissance maximale nécessaire pour démarrer le convoyeur (vaincre le frottement statique) lorsque le convoyeur est surchargé. Lorsque le convoyeur ne transporte que peu de matériaux, il n'a besoin que de peu d'énergie.

Abordons en premier lieu les ventilateurs axiaux (ou hélicoïdaux). Ces ventilateurs sont moins chers à l'achat que les ventilateurs centrifuges, mais sont très limités quant à la pression différentielle (ΔP) qu'ils parviennent à engendrer, soit moins de 51 mm d'eau (CE) ou 2 po CE. La plus grande puissance maximale installée d'un ventilateur axial est employée dans les séchoirs à bois débité et dans certains séchoirs à placage (les séchoirs rotatifs, les séchoirs tubulaires instantanés et beaucoup de séchoirs à placage sont munis de ventilateurs centrifuges).

Les ventilateurs axiaux, installés dans les séchoirs à bois débité, brassent la vapeur ou l'air chauffé dans les espaces libres des bois débités empilés sur baguettes. Ce brassage amène la chaleur au bois débité favorisant l'évaporation de l'eau et engendre la vitesse nécessaire pour recueillir la vapeur d'eau ainsi produite à la surface du bois et l'expulser. Le même processus de séchage se déroule dans le séchoir à placage. Un grand séchoir a, dans plusieurs cas, 120 HP (90 kW) de puissance de moteur installée entraînant les ventilateurs brasseurs d'air axiaux. Une usine possède de un à sept grands séchoirs.

Des économies d'énergie peuvent être réalisées principalement dans deux domaines :

- la conception de la roue du ventilateur;
- les entraînements à vitesse réglable.

Les ventilateurs brasseurs d'air du séchoir sont d'une conception tout à fait particulière parce que le sens du brassage doit être périodiquement inversé de manière à assurer un séchage uniforme dans tout le séchoir. Il est souhaitable que les ventilateurs soient tous aussi efficaces les uns que les autres sans égard au sens du brassage. De grands progrès technologiques ont été réalisés dans le domaine de la roue de ventilateur de séchoir depuis 1972 par des sociétés comme Aerovent, Hartzell et Smithco. Nombre de séchoirs sont dotés de roues de ventilateurs d'une conception ancienne ou, de roues de ventilateurs conçues pour assurer un écoulement dans un seul sens, ce qui réduit nettement le rendement dans le sens inverse.

Il est possible d'accroître le rendement de façon manifeste en remplaçant les roues de ventilateurs par des roues de modèles récents, plus efficaces que les anciennes. Cette transformation implique la plupart du temps une accélération de la vitesse de rotation du ventilateur et peut exiger le remplacement des roulements. Ces changements pourraient diminuer la consommation énergétique de 40 p. 100.

Le deuxième domaine qui offre un potentiel d'économies d'énergie est l'installation d'entraînements à vitesse réglable dans le ou les moteurs d'entraînement. Cela comprend habituellement un convertisseur à fréquence variable transistorisé (de concert avec le moteur c.a. existant).

La possibilité d'économiser l'énergie tient à ce qu'il n'y a pas lieu de maintenir à son niveau maximal la vitesse de brassage de l'air dans le séchoir tout au long du cycle de séchage. Cela s'explique par le fait que le séchage du bois s'effectue suivant une courbe (et non pas une ligne droite). Chaque essence a une courbe particulière. La vitesse de séchage est plus accélérée au début lorsque le bois est le plus mouillé. C'est à ce stade que l'écoulement de la vapeur ou de l'air brassé

doit fournir la chaleur la plus intense dans le séchoir et que la plus grande proportion de vapeur doit être extraite. La vitesse de séchage décroît à mesure que le bois sèche et, par conséquent, l'air peut circuler à une vitesse moins élevée.

La puissance requise pour entraîner un ventilateur dans un circuit de circulation d'air est proportionnelle, à peu de choses près, au cube du débit d'air. Ainsi, lorsque le débit diminue à mesure que sèche le bois, l'énergie électrique utilisée par l'entraînement du ventilateur décroît sensiblement.

De nombreuses analyses démontrent que, dans l'ensemble, l'installation appropriée d'entraînements à vitesse variable dans les ventilateurs brasseurs d'air des séchoirs permet de diminuer la consommation d'énergie électrique de 40 p. 100.

1.4.1 Ventilateurs centrifuges

Les ventilateurs centrifuges sont largement utilisés dans les usines à diverses fins. Par exemple :

- les installations de transport pneumatiques basse pression;
- les systèmes de dépoussiérage de la salle des machines;
- l'air de combustion destiné au chauffage des fours alimentés au mazout, au gaz naturel ou aux déchets de bois : chaudières, appareils de chauffage géothermique, séchoirs à chauffe directe, séchoirs à placage, etc.;
- les ventilateurs aspirants des chaudières, des appareils de chauffage géothermique, des chauffe-eau, des séchoirs rotatifs, des séchoirs tubulaires instantanés, etc.;
- les ventilateurs de recirculation des séchoirs à chauffe directe, des séchoirs à placage, des séchoirs rotatifs, etc.;
- le mouvement d'air inversé dans les machines à empiler les panneaux de placage;
- le nettoyage du matériel de contrôle anti-émissions (p. ex., le nettoyage automatique des sacs filtrants d'un poste de filtrage);
- les ventilateurs aspirants d'extraction du matériel d'évacuation des fumées (p. ex., les ventilateurs aspirants d'extraction des séparateurs électrostatiques par voie sèche ou humide, des lessiveurs de lits de pierres électrifiées, des lessiveurs de roue de ventilateur, etc.).

Il existe beaucoup de méthodes de réduction de la consommation énergétique des ventilateurs centrifuges. Par exemple :

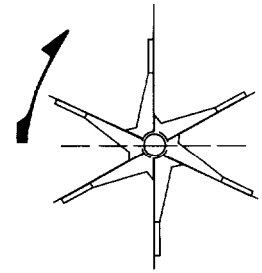
- un ventilateur conçu pour être efficace;
- un débit réduit;
- des pertes réduites dans le système de ventilation (dans les gaines, les coudes, les échangeurs de chaleur, les orifices, etc.).

Il existe plusieurs types fondamentaux de roues de ventilateur (voir la figure 2) :

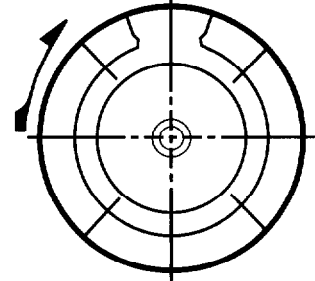
- la roue à aubes radiales;
- la roue à aubes inclinées vers l'arrière ou courbées vers l'arrière;
- la roue à aubes profilées;
- la roue à aubes courbées vers l'avant (ne convient pas à des utilisations industrielles).

La majorité des ventilateurs installés dans les usines de produits du bois, sont des ventilateurs à aubes radiales. Ce sont les ventilateurs les plus élémentaires et les plus économiques, mais ceux qui offrent le pire rendement. Toutefois, il faut installer ce genre de ventilateur lorsque l'air traversant le ventilateur est lourdement chargé de poussière. Le secret consiste à installer le ventilateur à aubes radiales le plus efficace possible.

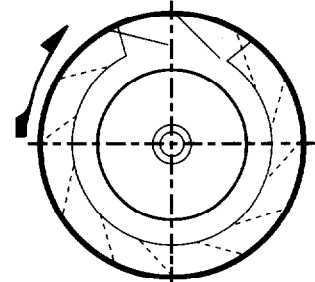
VENTILATEUR À AUBES RADIALES OUVERTES



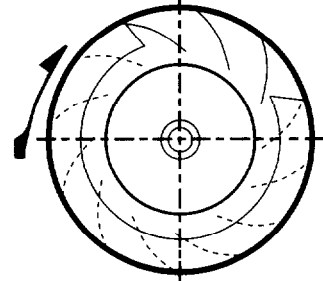
VENTILATEUR À AUBES RADIALES CAISSONS



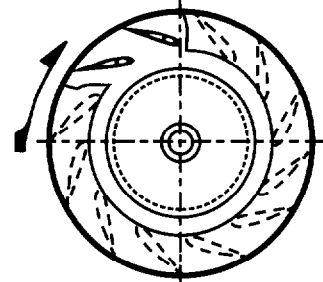
VENTILATEUR À AUBES INCLINÉES VERS L'ARRIÈRE



VENTILATEUR À AUBES COURBÉES VERS L'ARRIÈRE



VENTILATEUR À AUBES PROFILÉES



VENTILATEUR À AUBES COURBÉES VERS L'AVANT

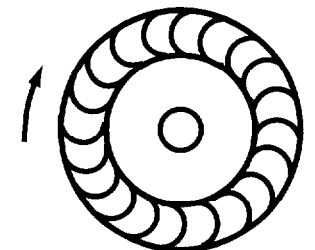


FIGURE 1 – VENTILATEURS CENTRIFUGES

Les deux principaux modèles de ventilateurs à aubes radiales sont les suivants :

- le ventilateur à aubes radiales ouvertes;
- le ventilateur à aubes radiales caissons.

Dans plusieurs cas, le ventilateur est du type à aubes radiales ouvertes, très robuste mais peu efficace. La roue est dotée d'un grand croisillon moulé centré sur l'axe des pales. L'air doit circuler dans le croisillon, au-dessus et le long de ce croisillon; au cours de cette trajectoire, les pertes d'énergie sont grandes. Ces ventilateurs ont été installés dans des usines et leur rendement statique a été évalué à 45 p. 100. En règle générale, leur rendement se situe entre 50 p. 100 et 55 p. 100 et leur rendement statique maximal, selon les données publiées, est établi à 66 p. 100.

Le ventilateur à aubes caissons a un rendement largement supérieur au précédent et, s'il est bien construit, résiste à de forts taux d'empoussiéage. Son rendement, selon les données publiées, peut atteindre 72 p. 100, mais cette valeur semble plutôt optimiste.

Lorsque le taux d'empoussiéage est bas ou nul, le ventilateur à aubes inclinées vers l'arrière ou à aubes courbées vers l'arrière convient tout à fait. C'est un ventilateur robuste de type industriel dont le rendement peut atteindre 82 p. 100.

Le ventilateur à aubes profilées offre le meilleur rendement (90 p. 100), mais ne résiste ni à l'empoussiéage ni à l'abrasion. Il est également difficile à réparer ou à remettre à neuf dans une usine de produits du bois.

Le ventilateur à aubes inclinées vers l'arrière représente sans doute le meilleur compromis des points de vue rendement, robustesse, tolérance à la poussière et facilité d'entretien.

1.5 Installations de transport pneumatiques

1.5.1 Installations de transport pneumatiques haute pression

Cette installation de transport pneumatique se retrouve à des centaines d'exemplaires dans les usines de produits du bois. Certaines usines en ont quatre ou cinq. L'installation convient particulièrement au transport sur de grandes distances, soit de 200 pieds à 1 000 pieds (60 m à 300 m), de matières comme :

- la sciure de bois vert;
- la sciure ou les particules de rabotage;
- les bûchettes de chauffage;
- la poussière de ponçage;
- les copeaux à pâte;
- les fines particules de copeaux (après le tamis à copeaux).

L'aménagement type d'une installation de transport pneumatique haute pression est illustré à la figure 2.

Ces installations de transport sont très énergivores. Les soufflantes consomment de l'énergie non seulement pour transporter les matières, mais aussi pour déplacer de grandes quantités d'air. Une plus grande quantité d'énergie est utilisée pour déplacer l'air que pour transporter les matières. Malgré tout, l'installation de transport pneumatique haute pression/faible débit est sensiblement plus efficace que l'installation basse pression (traitée ci-dessous).

Des économies d'énergie peuvent être réalisées au moyen des deux genres d'installations, comme indiqué ci-après, par :

- la diminution de la pression d'air à laquelle la soufflante ou le ventilateur doit résister;
- la réduction du volume d'air déplacé par unité de temps (débit – m^3/s ou pi^3/min);
- l'installation de soufflantes ou de ventilateurs à rendement supérieur;
- le réaménagement de l'installation de transport pneumatique dans le but de diminuer les pertes.

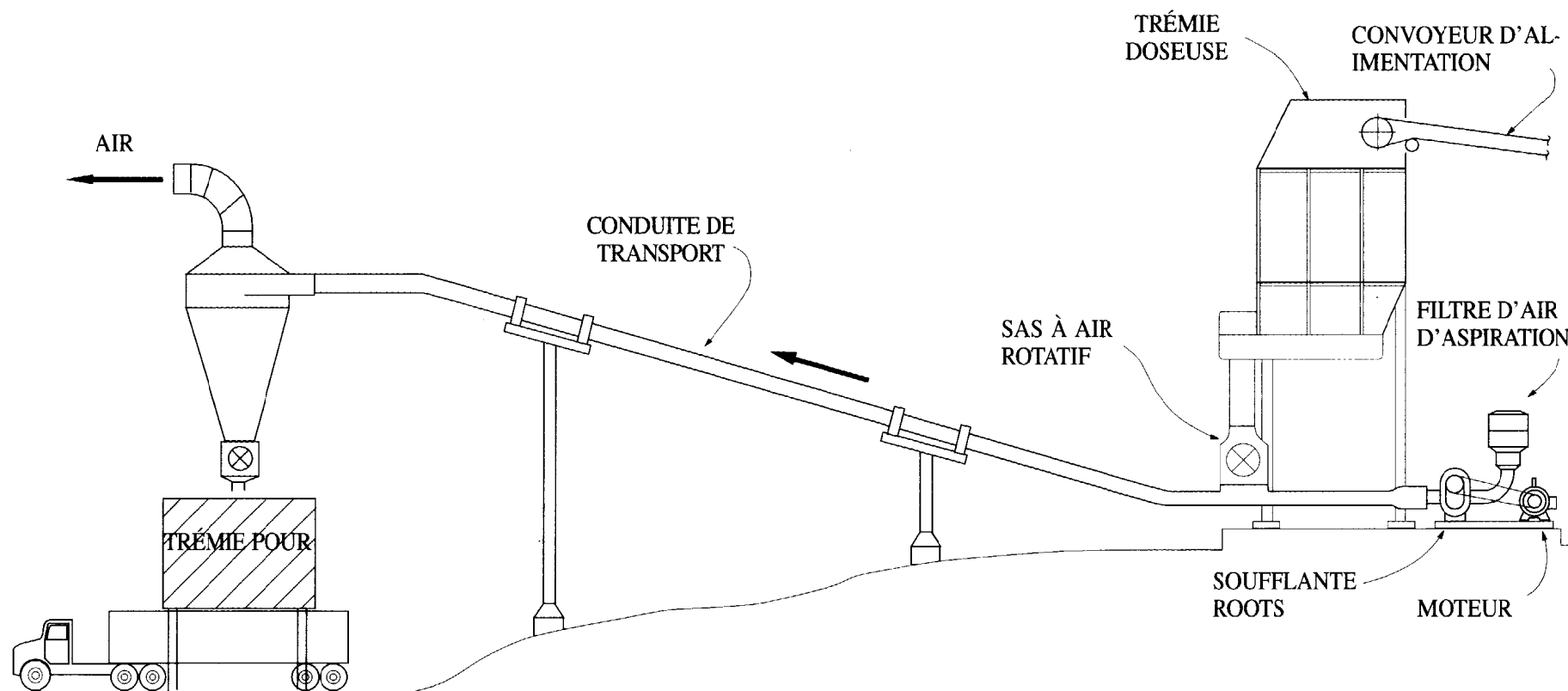


FIGURE 2 - VUE EN COUPE D'UNE INSTALLATION DE TRANSPORT PNEUMATIQUE HAUTE PRESSION

S'il est possible de diminuer le débit d'air, la puissance requise diminuera également à un rythme proportionnel au cube de la baisse du débit (toutes autres valeurs étant constantes). Il est facile de comprendre que même une faible baisse de débit entraîne une réduction sensible de l'énergie utilisée.

Une analyse étape par étape de l'installation permet de déterminer les économies d'énergie potentielles. Cette analyse consiste à :

- déterminer le poids de la matière transportée par unité de temps;
- déterminer le taux relatif des poussées de charge de la matière;
- déterminer le débit d'air refoulé par la soufflante (m^3/s);
- déterminer la pression à laquelle doit résister la soufflante;
- à titre de contrôle, mesurer l'intensité de courant et la tension de chaque phase vers le moteur d'entraînement de la soufflante;
- mesurer le diamètre de la conduite et calculer la vitesse d'air;
- déterminer, en fonction de la matière transportée, si le poids de l'air utilisé pour le transport par kilogramme de matière est convenable. Si ce poids est beaucoup plus élevé qu'il est nécessaire, il faudrait ralentir la soufflante (ce qui est habituellement très facile) et, s'il y a lieu, envisager la possibilité de diminuer le diamètre de la conduite de transport. Avant de ralentir la soufflante, il faut procéder à un contrôle pour s'assurer que la vitesse de la conduite n'est pas inférieure à la vitesse de sédimentation de la matière particulière transportée.

Dans plusieurs cas, le débit est supérieur à ce qu'il devrait être. La cause est souvent l'évaluation trop prudente de la charge des matières à transporter avant le démarrage de l'installation. Autrement dit, la conception de l'installation est trop complexe de manière à prendre en charge les imprévus. Une analyse ultérieure permet habituellement de découvrir des moyens d'économiser l'énergie.

S'il y a des poussées de charge assez considérables, un débit maximal équivalant par exemple à 2,5 fois le débit moyen (ce qui n'est pas inhabituel dans les usines de produits du bois) et qu'il n'y a pas de trémie doseuse (voir la figure 2), alors les dimensions de l'installation de transport pneumatique doivent être près du double de ce qui est nécessaire, car il faut conserver un certain excédent de capacité relativement à la moyenne. L'installation d'une trémie doseuse favorisera une baisse sensible de la consommation énergétique.

Une possibilité intéressante d'économies d'énergie s'offre à plusieurs usines qui chargent les copeaux à pâte à bord de wagons tombereaux. Pratiquement tous les systèmes de chargement comportent une installation de transport pneumatique haute pression/faible débit qui rejette les copeaux à l'extrémité de la conduite directement dans le wagon. L'extrémité de la conduite est rattachée à un portique surplombant le wagon. Elle se balance dans un mouvement de va-et-vient en suivant le chargement du wagon; le wagon avance aussi au fur et à mesure qu'il est rempli. À la vitesse à laquelle tombent les copeaux dans le wagon, ils s'entassent densément, ce qui augmente leur poids de quelque 50 p. 100. Étant donné que le coût de transport des copeaux depuis l'usine de produits du bois jusqu'à l'usine de pâte est calculé au nombre de wagons, plus il y a de copeaux dans chaque wagon, moins le coût de transport est élevé. Toutefois, comme il a été expliqué ci-dessus, le transport pneumatique est très énergivore.

Une autre technique de transport est celle du convoyeur mécanique (courroie, chaîne, vis sans fin, etc.) qui déplace les copeaux; l'appareil fonctionne de concert avec le système d'accélération réglable suspendu au portique qui entasse les copeaux dans le wagon. Selon la distance qui sépare le lieu où se trouvent les copeaux dans l'usine (la coupeuse-déchiqueteuse ou le tamis à copeaux)

du lieu de chargement du wagon, l'énergie requise par le système mécanique équivaut entre 1/5 et 1/10 de l'énergie consommée par le système pneumatique. Par exemple, au lieu de 400 HP de puissance installée, l'installation mécanique aurait 60 HP et fonctionnerait à un plus faible pourcentage de la puissance de moteur nominale que l'installation pneumatique.

Un autre moyen intéressant de réduire la consommation énergétique est une installation de transport pneumatique tout à fait innovatrice qui déplace les matières dans la conduite par amas ou bouchons, comme si elle poussait des pistons (bouchons) l'un à la suite de l'autre dans la conduite. Cette installation élimine le besoin d'une grande quantité d'air et d'énergie utile parce qu'il n'est plus nécessaire de garantir que la vitesse de déplacement soit constamment supérieure à la vitesse de sédimentation de la plus lourde particule de la matière transportée.

L'installation a été mise au point par la British Columbia Research, de l'université UBC, de Vancouver, en vertu d'un contrat octroyé par le gouvernement fédéral.

Les économies d'énergie réalisées grâce à cette installation dépendent, une fois de plus, de la distance de transport, du poids par heure de la matière, de la nature de la matière et des caractéristiques de l'installation en place. Toutefois, les économies sont évaluées entre 50 p. 100 et 80 p. 100.

Un autre avantage qu'offre l'installation est l'absence du cyclone ou de tout autre dispositif de séparation à l'extrémité de la conduite de transport. Ainsi les pertes d'énergie, les coûts d'entretien et les rejets connexes à ces dispositifs sont éliminés. L'extrémité de la conduite peut tout simplement faire saillie à la partie supérieure de la paroi de bout de la trémie de destination. Les amas sont rejetés de la conduite et tombent dans la trémie. Le faible volume d'air entre chacun des bouchons est tout simplement ventilé hors de la trémie.

1.5.2 Installations de transport pneumatiques basse pression

L'installation de transport pneumatique basse pression comporte un ventilateur centrifuge (voir la figure 3). Le modèle classique est doté d'un ventilateur à aubes radiales ouvertes dont le rendement est très faible. Les matières transportées traversent le ventilateur et se déplacent dans la conduite vers le point de destination où elles sont isolées de l'air qui les transporte au moyen d'un cyclone (ou dans un modèle plus récent, au moyen d'un poste de filtrage; ou d'une combinaison des deux).

Étant donné que les matières passent par le ventilateur, il faut prévoir un ventilateur à aubes radiales.

La consommation énergétique peut être réduite comme il a été exposé dans la section **Ventilateurs**, ci-dessus. Mais comme ce genre d'installation de transport pneumatique est souvent utilisé dans les usines de produits du bois pour extraire la sciure de bois, les copeaux et autres résidus provenant des machines de production – scies, raboteuses, sableuses, etc. – puis pour transporter ces résidus jusqu'à une trémie pour camion, à un silo de stockage ou à un four d'incinération, ce sujet sera traité plus en profondeur ci-dessous.

Le premier moyen d'économiser l'énergie serait d'installer un nouveau ventilateur plus efficace que l'ancien. Il s'agit, par exemple, de substituer au ventilateur ordinaire à aubes radiales offrant un rendement statique de 50 p. 100 un ventilateur à aubes inclinées vers l'arrière dont le rendement est évalué à 80 p. 100 – de manière à diminuer la consommation de 38 p. 100. Mais cet objectif ne peut pas être atteint uniquement en remplaçant le ventilateur par un autre plus efficace parce que le nouveau ventilateur ne résistera pas à un taux d'empoussièrement élevé. L'installation de transport doit être modifiée de façon à protéger le ventilateur contre la poussière en le plaçant en aval du cyclone ou de tout autre dépoussiéreur (voir la figure 3). Cet aménagement est tout à fait acceptable et les usines en opérations s'en prévalent.

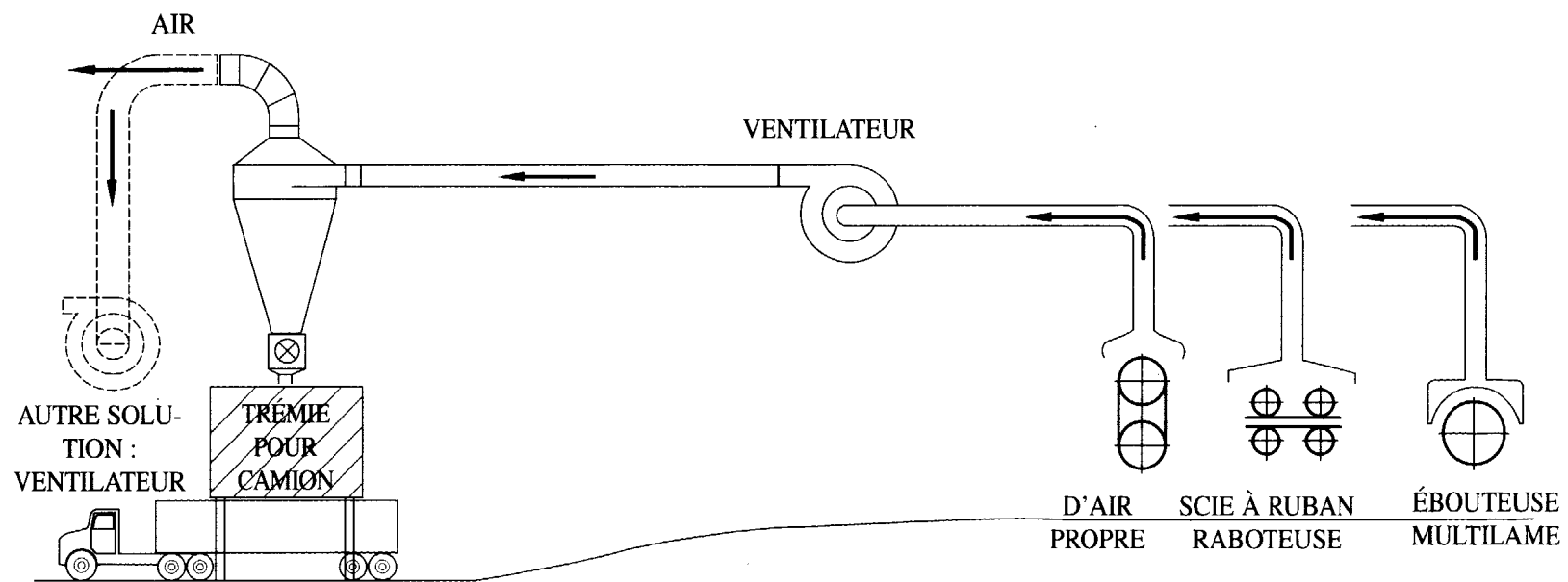


FIGURE 3 - VUE EN COUPE D'UNE INSTALLATION DE TRANSPORT PNEUMATIQUE BASSE PRESSION

Le deuxième domaine dans lequel peuvent être réalisées des économies d'énergie est celui du débit (m^3/s ou pi^3/min). Encore une fois, une légère baisse du débit entraîne de grandes économies d'énergie, comme il a été expliqué ci-dessus. Dans plusieurs cas, le débit est beaucoup plus fort qu'il est nécessaire pour transporter la matière à la vitesse de refoulement maximale. En outre, la vitesse dans les conduites est souvent largement supérieure à la vitesse de sédimentation de la matière. Alors le débit peut être réduit.

Lorsqu'une diminution du débit restreint la capacité de l'air s'écoulant dans les hottes à capter ou à ramasser la matière, la hotte doit être modifiée pour que la vitesse à l'intérieur soit accrue (et pour augmenter la pression différentielle – ΔP , – utile du ventilateur). Cette modification diminue le gain d'énergie réalisé par la baisse du débit, mais malgré cela, dans l'ensemble, la consommation énergétique est largement réduite.

Une autre possibilité d'économiser l'énergie réside dans le séparateur ou le collecteur correspondant à un cyclone généralement. Les cyclones types des usines de produits du bois ont un ΔP contre lequel le ventilateur doit refouler – ou aspirer – 38 mm CE (1 1/2 po CE) à 152 mm CE (6 po CE). Rien ne garantit que les cyclones à ΔP élevé sont de plus puissants collecteurs que les cyclones à bas ΔP . Ce qui importe avant tout est la taille et la configuration du cyclone. Ces deux paramètres doivent satisfaire aux demandes d'air au ΔP minimal. Toutefois, une évaluation sommaire du cyclone doit être faite; les cyclones produisent souvent une pression différentielle plus élevée que nécessaire. L'entrée doit être lisse, dépourvue d'obstructions ou d'orifices inutiles. L'intérieur doit aussi être lisse (sans bosselage important ni plaque d'usure aux extrémités proéminentes, ni indicateurs faisant saillie dans le cyclone inférieur). Tous ces défauts sont très faciles à corriger, et leur élimination permettra de diminuer le ΔP ainsi que la puissance de tirage du ventilateur (tout en réduisant l'entraînement des particules).

Les économies d'énergie les plus simples peuvent être réalisées en déterminant le volume d'air aspiré dans l'installation à cause des fuites dans les conduites. Généralement, les installations des usines ont des fuites. Il est évident que l'installation fonctionne malgré ces dernières (sinon les fuites auraient été bouchées). Alors pour économiser l'énergie, les fuites doivent être colmatées et le débit du ventilateur doit être réduit de manière à être équivalent au débit d'aspiration fourni avant le colmatage.

Pour ce qui est de la roue du ventilateur, une solution intéressante qui permettrait de diminuer sensiblement l'énergie utilisée consiste à remplacer la roue par une autre plus efficace tout en gardant la même enveloppe. Mais jusqu'ici, aucune usine n'a réussi à le faire. La roue du ventilateur doit s'ajuster à l'enveloppe et il semble que les nouvelles roues qui offrent un meilleur rendement que les anciennes ne peuvent pas être adaptées aux enveloppes existantes. Cette solution deviendrait possible si une entreprise concevait des roues sur commande en fonction des enveloppes existantes. Toutefois, il est fort peu probable que la roue faite sur commande soit plus chère qu'un nouveau ventilateur autonome à haut rendement.

Il y aurait davantage lieu de se concentrer sur l'étude de systèmes de dépoussiérage basse pression, et plus précisément sur la conception de hottes de dépoussiérage dans les salles de machines (scies, coupeuses-déchiqueteuses, tamis, convoyeurs, etc.). C'est le total de la superficie ouverte de ces hottes multiplié par la vitesse requise pour capter les particules qui détermine, en dernier lieu, la taille de l'installation et le débit continu d'énergie nécessaire. La vitesse de captage est engendrée par le soutirage du ΔP . Beaucoup d'installations fonctionnent à 250 mm CE (10 po CE) et plus. Beaucoup d'installations n'ont pas besoin d'une aussi forte charge dynamique équivalente.

Une autre méthode d'économie d'énergie dans une installation récente consiste à diviser l'installation en deux sous-systèmes ou plus, en raccordant les salles de machines qui exigent une haute pression à l'un des sous-systèmes et les autres machines n'exigeant qu'une basse pression, à l'autre ou aux autres sous-systèmes.

1.6 Entraînements

Le mode d'entraînement de l'équipement le plus courant dans l'industrie est une combinaison de moteurs électriques, d'entraînements flexibles, de manchons d'accouplement, de réducteurs à engrenages et de chaînes à rouleaux.

Les possibilités d'économies d'énergie dans les entraînements d'équipement touchent principalement les industries des produits en bois massif et des panneaux dérivés du bois.

1.6.1 Entraînements flexibles

Les entraînements flexibles servent de raccord réducteur (ou multiplicateur) de vitesses entre un moteur et un réducteur à engrenages. Ils amortissent aussi les vibrations et absorbent les effets de choc. Il existe divers genres d'entraînements flexibles dont la courroie plate, la courroie trapézoïdale, la courroie de synchronisation et la chaîne à rouleaux.

Courroie plate

Une courroie plate offre un rendement d'environ 98 p. 100 dans la mesure où elle est choisie et installée de façon appropriée. Le rendement de cet entraînement est étroitement lié à son tensionnage.

Courroie trapézoïdale

Le rendement de la courroie se situe entre 70 p. 100 et 96 p. 100. L'effet de torsion influe sensiblement sur ce rendement; l'un est directement proportionnel à l'autre. Par exemple, à 20 p. 100 du moment théorique le rendement étant évalué à 80 p. 100, une fois le moment théorique presque atteint, le rendement se situerait à 96 p. 100.

Le rendement de la courroie trapézoïdale est étroitement lié au tensionnage. Il faut régler la tension de la courroie périodiquement de façon à éviter les risques de glissement. Le glissement entraîne une perte d'énergie sous forme de chaleur.

Le choix de la poulie a aussi une incidence sur le rendement de la courroie. Les poulies de grand diamètre accroissent le rendement. Toutefois, la force centrifuge impose une limite maximale au diamètre. Ainsi, lorsque la vitesse de la courroie approche $4\ 200\ \text{pi}/\text{min}$, la force centrifuge tend à rabattre la force de la courroie contre la roue à gorge, ce qui réduit le rendement et augmente l'usure.

Courroie de synchronisation

Les courroies de synchronisation n'utilisent pas le frottement pour transmettre l'énergie et c'est pourquoi elles ne sont pas aussi sensibles à la précision du tensionnage que les courroies trapézoïdales et les courroies plates. Le rendement de ces courroies se situe à quelque 98 p. 100. L'alignement est un facteur important pour assurer une longue vie utile à la courroie (environ cinq ans) sans entretien.

Chaîne à rouleaux

Les entraînements à chaînes servent couramment de raccord terminal entre le réducteur à engrenages et l'équipement. Le tensionnage n'est pas aussi critique que pour les entraînements à courroie, et le rendement peut atteindre 98,9 p. 100.

Les chaînes exigent une lubrification et un alignement appropriés. Il importe de dimensionner correctement la chaîne afin de réduire l'étirement qui peut provoquer une usure prématurée du pignon et diminuer le rendement de l'installation. Le surdimensionnement du pas de la chaîne augmentera l'effet de corde, ce qui favorisera la vibration et le bruit.

1.6.2 Réducteurs à engrenages

Les réducteurs de vitesse servent à convertir la puissance de sortie de moteur haute vitesse et faible couple en basse vitesse et couple élevé pour répondre aux demandes de l'équipement. La réduction de vitesse implique le mouvement de pièces dans le réducteur, ce qui entraîne des pertes de rendement par frottement.

Il existe divers types de réducteurs dont les types à vis sans fin, les types cycloïdaux, planétaires et hélicoïdes. Chacun de ces types offre un rendement particulier à sa configuration.

L'annexe H de la publication source du présent rapport comporte des schémas de réducteurs à engrenages. L'annexe B du présent rapport offre un tableau des modifications à apporter aux réducteurs en vue de réaliser des économies d'énergie.

Engrenage à vis sans fin

Les engrenages à vis sans fin sont constitués d'un filet de vis (spirale) mettant en prise un engrenage (roue) perpendiculaire. Le rendement varie considérablement avec le rapport de l'engrenage. Ainsi, les engrenages à bas rapport sont plus efficaces que les engrenages à rapport élevé. Par exemple, un engrenage à vis sans fin dont le rapport est 5:1 pourrait offrir un rendement de 94 p. 100, alors que le rendement d'un engrenage 40:1 ne dépasserait pas les 75 p. 100.

Le réducteur à vis sans fin, comme tous les réducteurs à engrenages, offre un moins bon rendement lorsqu'il fonctionne à une charge inférieure à la capacité nominale. Le fait de surdimensionner le réducteur pour qu'il supporte le couple de démarrage a pour conséquence de diminuer le rendement global.

Engrenage cycloïdal

Les réducteurs à engrenages cycloïdaux ressemblent à la combinaison d'une roue solaire stationnaire et d'un engrenage planétaire à denture intérieure. Il est possible d'obtenir des réductions de l'ordre de 87:1 avec un engrenage à simple démultiplication.

Ces réducteurs offrent habituellement un rendement supérieur à celui des réducteurs à engrenages à vis sans fin, pouvant atteindre 95 p. 100. Comme pour tous les réducteurs, l'entretien est essentiel à un rendement optimal.

Engrenage planétaire

Le réducteur à engrenages planétaires est doté d'une roue solaire qui fait pivoter des engrenages planétaires à l'intérieur d'une couronne stationnaire externe. Le rendement global du réducteur est déterminé par le nombre de démultiplications nécessaires pour atteindre le rapport souhaité. Il se situe aux environs de 97,5 p. 100.

Engrenage hélicoïde

Les engrenages réducteurs hélicoïdes s'apparentent aux engrenages de déplacement linéaires (engrenages droits) ordinaires, mais la face de leurs dents forme un angle avec l'arbre pour créer une hélice. Certains réducteurs à engrenages hélicoïdes doivent recourir à plusieurs démultiplifications pour atteindre des rapports similaires à ceux des réducteurs à vis sans fin à simple démultiplication.

Un ensemble d'engrenages hélicoïdes bien conçu peut atteindre un rendement de 98 p. 100 par démultiplication.

1.6.3 Possibilités d'économies d'énergie

Un bon fonctionnement des entraînements peut se traduire par des économies d'énergie. L'entretien préventif et l'entretien courant constituent un moyen peu coûteux et contribuant ainsi à diminuer la consommation énergétique. Parmi les moyens plus draconiens, il y a le remplacement des mécanismes à piètre rendement par des mécanismes efficaces. Il est conseillé de procéder à une analyse de rentabilité soignée avant d'effectuer une transformation importante.

Une analyse économique exhaustive portant sur les économies d'énergie électrique potentielle qu'offrent les réducteurs à engrenages a démontré que les économies réalisées en remplaçant des réducteurs à vis sans fin de 20 HP et moins par des réducteurs à engrenages hélicoïdes sont inférieures aux coûts analysés. Il serait donc sage de porter son attention sur les entraînements plus puissants.

1.7 Moteurs

Au tableau de l'annexe B, sont énumérés des mesures simples et des changements majeurs susceptibles d'accroître le rendement énergétique.

La majorité des industries utilisent des moteurs plus puissants que ne l'exige la moyenne des procédés industriels. Les raisons de ce surdimensionnement sont les suivantes :

- une assurance contre les pannes de moteur dans les procédés critiques;
- la possibilité d'augmenter la production;
- les grandes fluctuations de charge, le moteur doit être suffisamment puissant pour supporter la charge de pointe.

Un moteur surdimensionné fonctionne en charge réduite. Il est conseillé de faire fonctionner un moteur entre 75 p. 100 et 100 p. 100 de la charge totale, ce qui correspond à la plage de rendement maximal. Lorsqu'un moteur fonctionne à moins de 75 p. 100 de sa charge, le rendement baisse considérablement (voir la figure 4).

Les facteurs de puissance doivent être maintenus au-dessus de 50 p. 100 parce que le facteur de puissance baisse à mesure que diminue la charge du moteur (voir la figure 4). Cette baisse risque de faire chuter le facteur de puissance d'ensemble de l'usine sous les 90 p. 100. Lorsque cela se produit, en Colombie-Britannique, la facture d'électricité est majorée d'une prime de puissance.

Les moteurs à haut rendement sont plus efficaces que les moteurs ordinaires en raison des modifications apportées sur le plan de la conception, de matériaux d'excellente qualité et d'améliorations sur le plan de la fabrication. Les rendements indiqués au tableau I sont souvent dépassés et,

dans certains cas, ils représentent une nette amélioration relativement au moteur ordinaire.

Au cours des cinq dernières années, certains services publics ont offert des primes aux entreprises qui se convertissaient aux moteurs à haut rendement. Bien qu'aujourd'hui ce programme n'ait plus la portée qu'il a déjà eu, l'industrie a adopté ces moteurs et les considère désormais comme une norme.

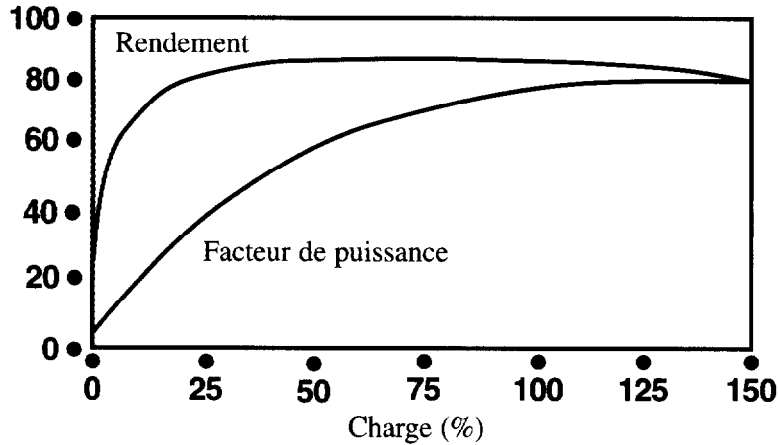


FIGURE 4 - RENDEMENT ET FACTEUR DE PUISSANCE EN FONCTION DE LA CHARGE DE MOTEUR

Hp	Moteurs à haut rendement	
	Rendement minimal	
	1 800 tr/min (%)	1 200 tr/min (%)
1	80,5	80,0
1,5	80,5	82,0
2	81,5	82,5
3	83,0	84,0
5	85,0	86,0
7,5	87,0	87,0
10	87,0	88,0
15	88,5	89,0
20	90,0	89,0
25	91,0	90,5
30	91,0	91,0
40	91,5	91,5
50	92,5	91,5
60	92,5	92,0
75	93,0	92,5
100	93,0	93,0
125	93,0	93,0
150	93,5	93,5
200	94,0	94,0
250	94,5	94,5
300	95,0	95,0
400	95,0	95,0
500	95,0	95,0

TABLEAU 1 - RENDEMENT MINIMAL DES MOTEURS À HAUT RENDEMENT

1.8 Gaz naturel

Au Canada, la majorité des usines de produits du bois utilisent le gaz naturel. Elles s'en servent pour le chauffage de l'usine et pour la production de la chaleur industrielle, comme :

- les séchoirs à bois débité;
- le conditionnement des grumes servant à la fabrication de placage, de contreplaqué et de copeaux longs;
- les séchoirs à placage;
- les séchoirs rotatifs – panneaux de particules, panneaux de grandes particules orientées;
- les fours de chauffage ou de séchage pour joints par entures multiples, lignes peintes, etc.

Dans plusieurs cas, les déchets de bois constituent le principal combustible et le gaz naturel, le combustible d'appoint. Par ailleurs, beaucoup d'usines utilisent leurs déchets de bois et résidus d'écorce à la fois pour le chauffage des locaux et pour la production de chaleur industrielle, et quelques-unes se servent du gaz naturel comme combustible d'appoint. La première raison pour laquelle autant d'usines utilisent encore le gaz naturel, bien qu'elles aient d'énormes quantités de déchets de bois à éliminer, est le caractère économique et pratique du combustible. Il n'est pas rentable pour les usines d'installer un appareil de chauffage au bois pour effectuer la conversion du gaz naturel aux déchets de bois.

Des évaluations ont été faites dans des usines afin de déterminer les cas où le gaz naturel serait un combustible plus efficace que les déchets de bois. Voici ces cas :

- Dans le cas de pertes d'énergie à la suite du simple ajout d'aérothermes comme solution au chauffage des locaux froids de l'usine. Cette solution repose sur la projection suffisante de chaleur dans ces zones et les environs pour que la température atteigne un degré de confort convenable pour travailler. Il aurait été préférable d'évaluer correctement la situation et de concevoir un système approprié de distribution de chaleur. En outre, certains facteurs qui contribuent au refroidissement des locaux, comme les portes par lesquelles entrent dans l'usine les matières premières (grumes, billes de déroulage) ou sortent les produits finis (bois emballé), ont été négligés. Les pertes d'énergie dans ces zones peuvent s'élever à 1 GJ/h.
- Beaucoup de systèmes de dépoussiérage dans les usines de produits du bois soutirent d'importantes quantités d'air chargé de poussière, puis séparent la poussière de l'air chauffé après avoir expulsé l'air à l'extérieur. Un système peut soutirer à lui seul 5 GJ/h d'énergie de chauffage. Ainsi, la quantité d'énergie nécessaire au chauffage de l'usine est pratiquement doublée (si le système de dépoussiérage n'aspire pas toute la chaleur).

Il existe au moins deux méthodes de réduction des pertes de chaleur, la première étant beaucoup moins coûteuse que la seconde :

- 1) l'installation de gaines amenant l'air froid extérieur aux salles des machines desquelles le système de dépoussiérage extrait la poussière et l'air;
- 2) les raboteuses sont généralement installées dans une enceinte ou dans une salle distincte qui peuvent être dotées d'une grande gaine menant à l'extérieur. Cette gaine est munie de grands registres barométriques à persiennes qui se ferment automatiquement lorsque le système de dépoussiérage ne fonctionne pas (durant les périodes de maintenance ou de fermeture de l'usine). Un aérotherme peut être installé dans l'enceinte et se mettre en marche dès que le système de dépoussiérage arrête de façon à chauffer la salle pour assurer le confort des préposés à l'entretien.

Il a été démontré que la majorité des systèmes de production de chaleur industrielle sont relativement efficaces, les séchoirs à bois débité étant les meilleurs. Une certaine chaleur peut être économisée là où il y a des fuites par les portes ou par les joints d'étanchéité des portes. Mais il existe une raison plus importante que l'économie de chaleur pour colmater ces fuites, celle d'obtenir un séchage plus uniforme. L'isolation non plus n'est pas optimale. Mais les faibles pertes de chaleur qu'elle provoque, en comparaison des autres pertes traitées ci-dessus et compte tenu du coût de remplacement de cet isolant dans la majorité des usines, ne justifient pas l'investissement.

Le rendement des séchoirs à placage est, dans tous les cas, inférieur au rendement des autres séchoirs (de type fours). Mais, en règle générale, ces séchoirs sont employés d'une manière relativement efficace du point de vue de l'utilisation de la chaleur; une grande partie du séchoir fonctionne à pression positive, ce qui a pour effet de diminuer la quantité d'air perdu induit (qui doit ensuite être chauffé puis rejeté par la cheminée dans l'atmosphère, ce qui est une perte directe et totale d'énergie calorifique).

Les deux domaines qui demandent sans cesse une attention particulière sont :

- les joints d'étanchéité des portes;
- les déflecteurs d'extrémité (des rouleaux d'entrée et de sortie à chaque extrémité du séchoir).

Certains séchoirs sont très sensibles à la corrosion, particulièrement le long de la partie inférieure des portes et du seuil. Il suffit simplement de les entretenir avec soin pour réduire l'induction d'air perdu (et diminuer la perte de vapeur qui sort du séchoir pour se retrouver dans l'usine, au lieu de remonter dans la cheminée où elle doit aller).

Dans les séchoirs rotatifs, il est possible d'améliorer l'utilisation de la chaleur de la manière suivante :

- diminuer les fuites au joint étanche du tambour sécheur avant (section frontale);
- diminuer l'air mélangé ou augmenter l'écart de température (température de la section frontale moins température de sortie). Cette méthode d'économie de l'énergie thermique doit être évaluée en tenant compte de la qualité du séchage de la masse de particules et des émissions engendrées par le séchage à température plus élevée. L'analyse de ces solutions et des autres compromis techniques est très complexe. Elle doit être effectuée avant que les paramètres de fonctionnement ne soient changés.
- installer un système de recyclage dans lequel les gaz de gueulard (mélange vapeur-air) sont utilisés dans l'air mélangé à la place de l'air neuf;
- un grand nombre de séchoirs rotatifs sont alimentés directement aux déchets de bois, une technique garantie d'économie de gaz naturel;
- les séchoirs tubulaires instantanés pourraient subir les modifications décrites ci-dessus s'appliquant aux séchoirs rotatifs, sauf en ce qui concerne les fuites au joint étanche avant, parce que ces séchoirs ne sont pas munis de ce joint.

2.0 NOUVELLES TECHNOLOGIES FAVORISANT LE RENDEMENT ÉNERGÉTIQUE

2.1 Électricité

Il existe des technologies qui contribueraient à améliorer le rendement énergétique dans l'industrie des produits du bois. Elles sont déjà mises en œuvre dans d'autres industries et pourraient être adaptées à l'industrie canadienne des produits du bois au cours des cinq à dix prochaines années.

L'amélioration du rendement énergétique comporterait l'analyse de l'équipement et des systèmes existants comme l'air comprimé, l'hydraulique et les entraînements de chariot.

2.1.1 *Entraînements de chariot*

Les progrès technologiques ont peu à peu modifié le mode d'entraînement des chariots à grumes de la scie de tête. Parmi les entraînements actuels, soulignons l'entraînement à cylindre à jet de vapeur ou à jet d'eau sous pression, l'entraînement à amplidyne à c.c. et la toute nouvelle technique qu'est l'entraînement transistorisé par variation de fréquence avec moteur à c.a.

2.1.2 *Entraînement à jet de vapeur*

Le gaz naturel ou un autre combustible servent à chauffer l'eau pour la transformer en vapeur dans une chaudière avec la perte d'efficacité concomitante de la chaudière. Les cylindres sont généralement surdimensionnés de façon à supporter un vaste éventail de charges, ce qui nécessite plus de vapeur que cela est nécessaire. La vapeur d'échappement est expulsée dans l'atmosphère, ce qui représente un net gaspillage de chaleur.

2.1.3 *Cylindre à jet d'eau sous pression*

Un moteur électrique sert à entraîner une pompe qui fournit l'énergie hydraulique sous forme de pression (eau) pour déplacer le cylindre. Ce circuit comporte des pertes dans les pompes, dans la tuyauterie et dans la robinetterie, ce qui engendre un gaspillage d'énergie calorifique. La chaleur doit ensuite être extraite au moyen d'un refroidisseur d'eau puis rejetée. Cette chaleur perdue était fournie à l'origine par le moteur et est perdue dans l'atmosphère.

2.1.4 *Entraînement à amplidyne c.a./c.c.*

Ce type d'entraînement est doté d'un moteur à c.a. qui commande une génératrice convertissant l'énergie en courant continu. Cette énergie entraîne ensuite le moteur à c.c. qui déplace le chariot dans un mouvement de va-et-vient au moyen de câbles, de tambours à câbles et d'un train d'engrenages. Les pertes de rendement sont réparties dans l'ensemble du système, y compris dans le moteur à c.a., dans la génératrice, dans le moteur à c.c. et dans le train d'engrenages.

2.1.5 Entraînement transistorisé par variation de fréquence (moteur à c.a.)

Cet entraînement est doté des mêmes tambours à câbles et train d'engrenages que le précédent, mais comporte un moteur à c.a. au lieu d'un moteur à c.c. Le courant alternatif est transformé en courant à fréquence variable au moyen d'un convertisseur transistorisé. La vitesse du chariot est modifiée par le réglage de la fréquence du courant fourni au moteur à c.a. Lorsque le chariot est ralenti, l'énergie électrique est reconvertie pour alimenter l'ensemble de l'usine. Ce système est le plus efficace et remplacera sans doute peu à peu les autres systèmes encore utilisés.

2.1.6 Actionneur linéaire commandé par moteur électrique

Une technologie qui n'a pas encore trouvé d'application dans l'entraînement de chariot est celle de l'actionneur linéaire commandé par un moteur électrique. Cet actionneur est muni d'un écrou à circulation de billes qui met en prise une longue tige à filetage meulé pour cage de roulement à billes.

2.1.7 Moteurs linéaires

Ce système éliminerait les composants rotatifs, avec les roulements et les pertes inhérentes. Il serait semblable à l'entraînement de l'aérotrain de Vancouver et serait des plus simples.

2.1.8 Actionneurs

L'industrie des produits du bois emploie une multitude d'actionneurs. Ceux-ci comportent généralement un piston logé dans un cylindre dont la tige se déplaçant axialement fournit la force et le mouvement utiles.

La majorité de ces cylindres sont alimentés à l'air comprimé, d'autres par un fluide hydraulique sous pression. Les actionneurs à air comprimé sont les moins efficaces. Une grande partie de la puissance de moteur est nécessaire pour comprimer l'air. Le cycle de compression engendre de la chaleur qui doit ensuite être rejetée dans l'atmosphère, ce qui représente une perte d'énergie directe. Puis l'air comprimé, après l'actionnement du cylindre, est expulsé dans l'atmosphère sous pression – une autre perte d'énergie directe. Ce type de transfert d'énergie est tout à fait inefficace. L'hydraulique assure un meilleur rendement, comme cela a été traité ci-dessus. Toutefois, le fluide des systèmes hydrauliques est surchauffé et doit être refroidi, ce qui entraîne une perte directe d'énergie dans l'atmosphère.

Une technique efficace d'actionnement linéaire puissant serait l'utilisation d'un actionneur à circulation de billes commandé par un moteur électrique, comme il a été décrit à la section 2.1.1 – **Entraînements de chariot**. Ces actionneurs, qui n'ont pas été souvent employés comme dispositifs de division-dégagement dans les usines de produits du bois, devraient être utilisés à l'avenir comme des actionneurs universels, ce qui améliorerait largement le rendement d'énergie électrique.

Une autre méthode qui permettrait de réduire la consommation d'énergie électrique serait le système de transport pneumatique à bouchons. Ce système est décrit à la section 1.5.1 – **Installations de transport pneumatiques haute pression**.

2.2 Gaz naturel

Dans certains domaines, le rendement énergétique peut être amélioré non pas en ayant recours à une nouvelle technologie, mais en utilisant d'une autre manière la technologie existante.

Par exemple, certaines usines de conversion du bois utilisent des chaudières à jet fluide alimentées au gaz naturel fournissant la vapeur utile au chauffage des locaux de l'usine et au chauffage des séchoirs à bois débité (ou autre production de chaleur industrielle).

Il est presque toujours plus efficace de chauffer directement les locaux de l'usine ou le procédé; communément appelé chauffage direct (alors que l'installation à chaudière serait un exemple de chauffage indirect). La méthode du chauffage direct amène les gaz de combustion directement du brûleur au procédé ou aux locaux chauffés, éliminant ainsi la perte de rendement liée à la chaudière (pertes par la cheminée). (Elle diminue aussi la complexité du processus, les coûts d'exploitation et les frais d'entretien.)

Certaines économies d'énergie sont particulièrement rattachées au fonctionnement des séchoirs à bois débité. Souvent le bois dans le séchoir est soumis à un préconditionnement au début du processus de séchage ou à un postconditionnement (relaxation de la contrainte). La technique classique consiste à injecter de la vapeur vive dans le séchoir. Cette méthode n'est pas rentable du point de vue énergétique, étant donné qu'environ 50 p. 100 à peine de la vapeur injectée est réellement utilisée pour accroître l'humidité, le reste étant rejeté hors du séchoir et perdu. Qui plus est, l'eau d'alimentation qui était fournie, traitée chimiquement et chauffée, est perdue et doit être remplacée par de l'eau fraîche froide.

Ce système pose un autre problème lorsqu'il est utilisé aux fins de postconditionnement, la vapeur chauffée étant amenée dans un séchoir déjà chaud sur du bois débité chaud. La condensation de cette vapeur dégage une grande quantité de chaleur à un moment où le séchoir n'a pas besoin de plus de chaleur. La température du thermomètre sec du séchoir s'élève donc au lieu de baisser; ce résultat est loin d'être optimal.

Dans certaines usines, ce système est remplacé par des pulvérisateurs d'eau montés sur des collecteurs qui parcourent le séchoir sur toute sa longueur. Cette méthode a été expérimentée depuis plusieurs années et laisse toujours à désirer. Les pulvérisateurs ne diffusent pas l'eau parfaitement, ce qui laisse des taches à la surface du bois débité. En outre, la vidange d'eau crée souvent un problème.

Une recherche exhaustive récente a porté sur ce système, sur les injecteurs et sur les caractéristiques de la pression. Elle a débouché sur la mise au point d'un système à injecteurs qui comporte une cible sur laquelle frappe l'eau qui se décompose en une vapeur submicronique. Ce nouveau système a été installé dans des séchoirs et fonctionne de façon satisfaisante. L'énergie requise pour refouler l'eau jusqu'aux injecteurs ne représente qu'une petite fraction du gaz naturel qu'exigeait la chaudière pour effectuer le même conditionnement du bois. Il y aurait avantage à étudier la possibilité d'installer ce nouveau système dans tous les séchoirs qui utilisent la vapeur de conditionnement. Le système assure des économies d'énergie et peut améliorer le milieu de conditionnement du bois débité.

3.0 ÉVALUATION DES PROGRAMMES

3.1 Économies d'énergie électrique

Pratiquement tous les services publics ont un programme d'économies d'énergie. Ces programmes comportent habituellement trois volets :

- le secteur résidentiel;
- le secteur commercial;
- le secteur industriel.

Les usines de produits du bois sont regroupées dans le secteur industriel.

B.C. Hydro a l'un des programmes les plus dynamiques et ayant connu le plus de succès, le programme Éconergique (Power Smart). Les économies d'énergie annuelles réalisées, au 30 décembre 1993, sont une preuve de la réussite de ce programme. Elles sont évaluées comme suit :

•	secteur résidentiel	340 GWh	
•	secteur commercial	652 GWh	
•	secteur industriel	321 GWh	
	TOTAL	1 313 GWh	annuel

La charge totale du système étant 46 346 GWh, les économies d'énergie réalisées à la fin de 1993 représentaient 3 p. 100 de la charge annuelle totale, après seulement trois années d'efforts. Cela est tout à fait impressionnant !

B.C. Hydro prévoit investir quelque 600 millions de dollars sur une période de 20 ans pour réduire la consommation énergétique de 5 600 GWh, ou de 12 p. 100 de la charge actuelle.

Si l'on connaît bien les activités du secteur de la fabrication des produits du bois, il est tout à fait évident que les possibilités d'économies d'énergie électrique ont été à peine effleurées jusqu'ici. Toutefois, l'effort déployé dans le secteur industriel a été modeste en comparaison de ce qui a été fait dans les secteurs résidentiel et commercial, comme le démontrent les résultats d'ailleurs.

Certains programmes industriels ont très bien fonctionné, d'autres moins. Par exemple, le programme axé sur les moteurs à haut rendement a eu beaucoup de succès. L'achat par les usines de moteurs à haut rendement est presque devenu pratique courante. Le principal facteur qui a privilégié le programme était la courte vie utile des moteurs obligeant l'usine à remplacer régulièrement ceux-ci. La remise accordée en vertu du programme Éconergique abaissait le prix d'achat du moteur à haut rendement au point que ce dernier coûtait moins cher qu'un moteur ordinaire. Par conséquent, le programme a remporté un vif succès.

On peut tenir les mêmes propos à l'égard du programme sur l'éclairage. La méthode (du point de vue de l'usine) est pratiquement aussi simple que l'achat d'un moteur particulier (comme un moteur à haut rendement). Les entrepreneurs spécialisés en éclairage présentent rapidement un devis sur le coût de remplacement des appareils d'éclairage à faible rendement (incandescence et fluorescence) par des appareils à haut rendement (sodium pressurisé et halogène-métal). Les plans de remplacement des appareils dans diverses zones de l'usine peuvent être établis en excluant les frais prélevés à l'acquisition. Bien que ces programmes aient été une véritable réussite, ils n'offrent pas le potentiel d'économies d'énergie que d'autres méthodes comportent.

Le programme portant sur les ventilateurs et sur les installations de transport pneumatiques offre d'énormes possibilités d'économies énergétique, comme il est démontré à la figure 8. Mais il n'a pas remporté le succès escompté. Cela tient, en partie, à ce que les mesures à prendre pour réaliser ces économies exigent une étude et une conception techniques spécialisées. Le personnel de l'usine n'a pas, en général, la compétence suffisante ou ne dispose pas du temps nécessaire pour procéder à l'étude et à la conception de l'installation.

Lorsque le rendement de l'investissement n'est pas connu ou n'est pas garanti (pas répondu aux attentes), il est peu probable que l'usine fasse appel aux services d'un expert-conseil pour effectuer l'analyse et la conception du système ou de l'installation. Cela entraînerait d'énormes frais initiaux, et uniquement pour déterminer si le projet est rentable et ensuite s'il doit être intégré au plan d'investissement de l'usine.

Même dans les cas où les services publics offriraient de payer 50 p. 100 de ces frais initiaux, l'usine avait habituellement du mal à trouver les autres 50 p. 100. La raison sous-jacente est que les coûts énergétiques représentent pour l'usine une faible proportion de l'ensemble de ses coûts de production. Une diminution du coût de l'énergie n'a pas d'effet sur la rentabilité de l'usine dans des proportions identiques à beaucoup d'autres mesures. Par conséquent, l'usine utilisera plutôt l'énergie de son personnel là où le potentiel est le plus grand (et où les répercussions seront manifestes... l'énergie n'est pas vraiment visible à l'oeil nu !).

3.2 Gaz naturel

Une grande partie des propos exposés ci-dessus s'appliquent aux économies d'énergie dans le domaine du gaz naturel. Toutefois, des analyses sur place ont démontré l'existence de moyens d'économiser l'énergie qui sont simples et faciles à utiliser, et ce, sans avoir à procéder à une étude approfondie et à une conception technique poussée du système. Cela indiquerait que la seule diffusion du présent rapport aiderait les usines à réaliser des économies d'énergie sans avoir à déployer des efforts exceptionnels et à assumer des coûts élevés mais en obtenant un rendement d'investissement incontestable.

De toute façon, dans l'ensemble, les usines de produits du bois ont besoin d'aide pour repérer les domaines qui offrent des possibilités d'économies d'énergie et pour quantifier les économies potentielles.

Cette aide peut venir des services publics qui desservent l'usine ou d'experts-conseils indépendants dont les services sont retenus à cette fin.

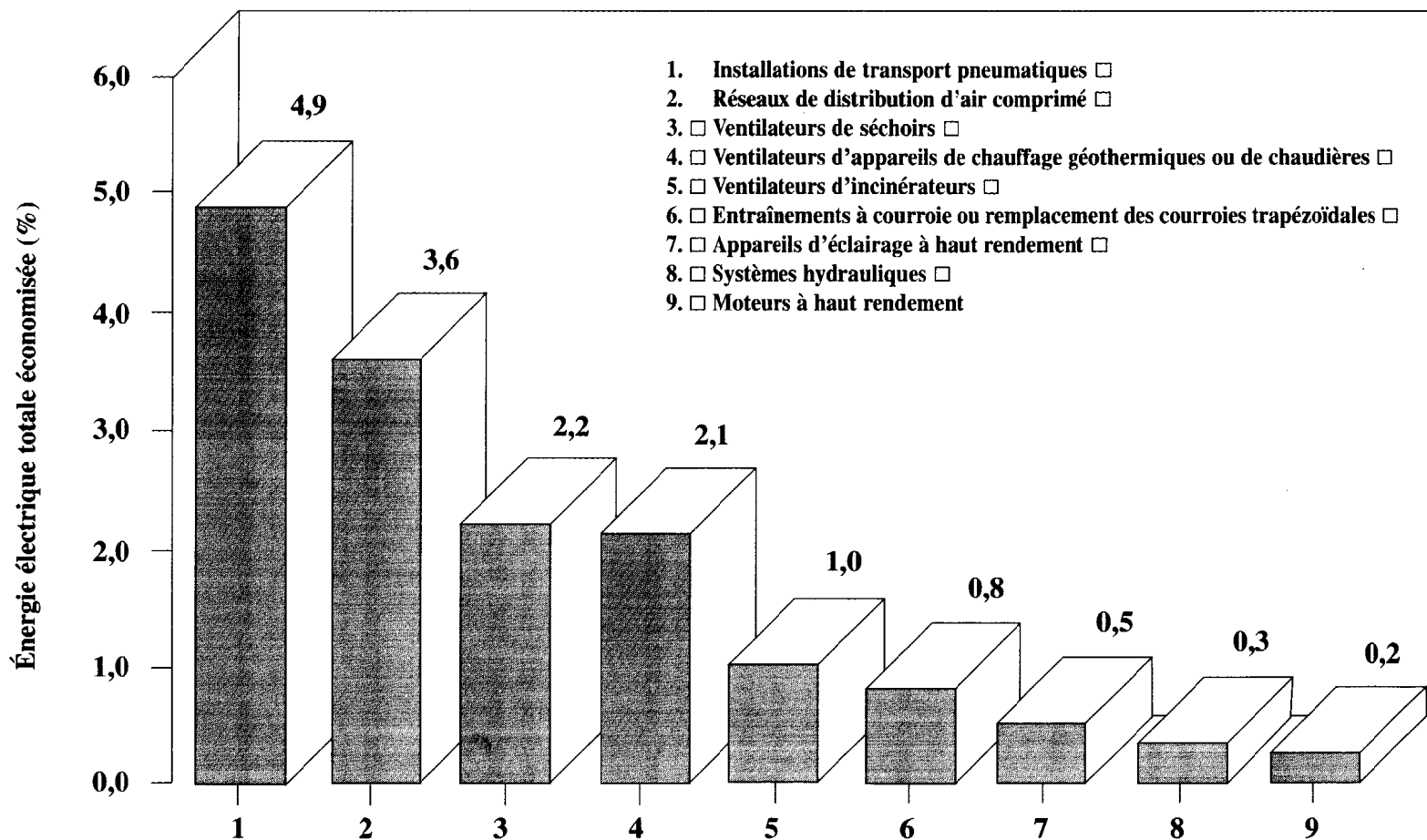
3.3 Résumé

Divers programmes mis en œuvre (par ordre décroissant de réussite) sont énumérés ci-dessous :

- Le programme sur les moteurs à haut rendement est, sans conteste, le plus réussi de tous les programmes en Colombie-Britannique. Grâce à ce programme, il sera illégal à l'avenir de vendre un moteur de 200 HP ou moins qui n'est pas un moteur à haut rendement. Une fois ce règlement en vigueur, la remise octroyée par le service public sera éliminée.
- Le deuxième programme qui a remporté le plus de succès, bien qu'il s'apparente beaucoup au précédent, est celui grâce auquel une norme accompagne certains produits établissant le rendement énergétique minimal. La réussite prend particulièrement de l'importance lorsque le code du bâtiment est visé.

- Les programmes – comme celui qui porte sur l'éclairage – qui sont simples et n'entraînent pas de frais avant l'achat et l'installation du matériel.
- Les programmes pour lesquels les services publics financent l'étude visant à déterminer les économies réalisées et la manière de les réaliser. Un exemple de cette méthode est le programme Éconergique portant sur l'air comprimé en vertu duquel le service public a acheté et fourni l'indicateur de débit d'air à l'usine et a effectué l'analyse du réseau de distribution d'air ainsi que la formation du personnel sur les lieux sans que l'exploitant de l'usine ait à assumer quoi que ce soit.
- Les programmes les moins efficaces ont été ceux qui exigeaient l'étude et la conception d'un système par des experts indépendants avant que l'ordre de grandeur et la valeur des économies soient déterminés. Malheureusement, cette catégorie est celle qui offre les plus grandes possibilités d'économies d'énergie (voir la figure 5).

FIGURE 5 - POSSIBILITÉS D'ÉCONOMIES D'ÉLECTRICITÉ DANS UNE SCIERIE TYPE



4.0 PLAN D'ACTION

La présente section vise à aider le Groupe de travail sur les produits du bois du Programme d'économies d'énergie dans l'industrie canadienne (PEEIC) à élaborer une stratégie pour assurer l'adoption des mesures d'amélioration du rendement énergétique qui sont exposées dans ce rapport.

4.1 Économies d'énergie électrique

Étant donné que pratiquement tous les services publics canadiens font partie de Power Smart Inc., tous les manuels sur la gestion de l'énergie sont à leur disposition. Le PEEIC est en mesure de diffuser cette information d'une valeur inestimable à toutes les usines de produits du bois. Les manuels sont offerts sous forme de feuilles mobiles groupées dans un cahier à anneaux avec intercalaires à onglet qui séparent la matière traitée par sujet (p. ex., les entraînements flexibles, le facteur de puissance, les broyeurs, etc.).

Le PEEIC est également en mesure de collaborer avec chacun des services publics à l'organisation de séminaires d'information sur place destinés au personnel de l'usine. Ces séminaires viseraient à aider le personnel à utiliser les données fournies dans les manuels pour réaliser des économies d'énergie dans leur lieu de travail.

On pourrait rédiger un questionnaire approprié à chaque type d'usine (scierie, usine de contreplaqué, usine de panneaux de fibres à densité moyenne, etc.) que remplirait le personnel de l'usine. Une fois analysé, le questionnaire donnerait un aperçu sommaire des possibilités d'économies d'énergie et la priorité à accorder à chacune. Il pourrait être présenté sous la forme d'un logiciel (sur disquette), version Windows – adapté aux divers types d'usines – que le personnel de l'usine serait en mesure de charger. Il suffirait de remplir les blancs. Les calculs s'effectueraient automatiquement, puis une liste prioritaire serait établie (calculs compris) et imprimée.

B.C. Hydro – Power Smart Inc. ont créé un programme général, semblable à celui que nous venons de décrire, en version Windows. Toutefois, le logiciel demande une certaine compétence de la part de la personne qui s'en sert tant pour déterminer les données pertinentes que pour entrer ces données correctement. B.C. Hydro - Power Smart Inc. organisé des ateliers de formation pratique (chaque participant ayant son terminal d'ordinateur) pour aider le personnel à utiliser le programme. Beaucoup d'usines dont le personnel a participé à l'atelier ont acheté le programme.

Carroll-Hatch (International) Ltd. a rédigé les cas types et fourni les données à traiter et les solutions de ce programme. Elle a également prêté son assistance à la présentation de l'atelier dans divers centres de la province. Si ce genre de programme était adapté à chaque type d'usine (scierie, usine de contreplaqué, usine de panneaux de fibres à densité moyenne, usine de panneaux de grandes particules orientées, etc.), le personnel de l'usine aurait beaucoup moins de mal à l'utiliser.

Les économies d'énergie étant une question extrêmement importante pour l'ensemble de la société, il y aurait lieu, dans le cadre du PEEIC, d'aider à élaborer des cours de vulgarisation qui seraient offerts dans des collèges, de l'Atlantique au Pacifique. Ces cours seraient conçus en fonction des usines de produits du bois de la région. Ils donneraient aux personnes inscrites une formation sur les méthodes à adopter pour déterminer la quantité et la valeur des économies d'énergie réalisables. Le programme relèverait, en toute logique, du Programme canadien de gestion énergétique et de formation environnementale (CEMET). Mais cette approche est lente. Autrement dit, les économies d'énergie seront longues à réaliser de cette façon.

La question des économies d'énergie demeure extrêmement importante aux yeux des citoyennes et des citoyens parce que pratiquement chaque unité d'énergie consommée a un coût environnemental; par exemple, une vallée située en aval d'un barrage a été inondée, ou une unité de charbon ou de gaz naturel a été brûlée et des gaz de gueulard ainsi que des particules ont été rejetés dans l'atmosphère, ou une unité de combustible non renouvelable a été brûlée – rien n'est plus réutilisable. Il semblerait logique d'adopter une approche plus rigoureuse, laquelle s'avérerait sans doute aussi plus rentable.

Une approche beaucoup plus rapide que celle de la formation, exposée ci-dessus, consisterait à fournir des fonds pour assumer les coûts des services d'experts-conseils en économies d'énergie. Ces spécialistes procéderaient à une évaluation exhaustive de chaque usine et élaboreraient un plan de mesures d'économies d'énergie propre à chacune en tenant compte des priorités à respecter. Ce plan comporterait les économies d'énergie potentielles liées aux diverses zones de l'usine, les économies monétaires annuelles, une estimation du coût en capital, le rendement des investissements (après avoir pris en compte les remises des services publics, le cas échéant) et des recommandations touchant les changements de stratégie d'exploitation, s'il y avait lieu. Un suivi de chaque usine permettrait de s'assurer que les programmes d'économies d'énergie sont intégrés aux plans d'investissement de l'usine puis mis en œuvre, et que les économies d'énergie sont évaluées.

L'utilisation généralisée des déchets de bois représente un domaine particulier d'économies d'énergie. Un grand nombre d'usines utilisent de façon efficace les déchets de bois comme combustible. Toutefois, dans plusieurs d'entre elles, les déchets résultant de la fabrication de produits du bois sont éliminés suivant des méthodes qui ne sont pas les meilleures et les plus souhaitables, par exemple, l'incinération ou l'enfouissement.

Ces déchets peuvent servir à produire de l'électricité, être utilisés comme source de chaleur pour sécher les produits du bois, entrer dans la fabrication d'engrais, certains peuvent être récupérés comme couvre-sol décoratif, etc. Dans la plupart des cas, cependant, ces solutions ne sont pas rentables. Par contre, si des incitatifs fiscaux autres que ceux de la catégorie 34 étaient mis en œuvre de façon que ces solutions atteignent le seuil de rentabilité, alors l'énergie électrique serait sauvegardée et le gaz naturel préservé.

4.2 Gaz naturel

Si ce présent rapport était distribué dans beaucoup d'usines canadiennes de produits du bois, il contribuerait à guider le personnel vers les domaines où les possibilités d'économies d'énergie sont les plus probables. Des ateliers pourraient être tenus dans des centres appropriés. Ils pourraient porter sur des domaines types d'économies potentielles, sur le calcul des économies de chauffage, sur l'évaluation des économies monétaires annuelles et sur le coût en capital des changements à apporter.

Une autre méthode consisterait en l'organisation par les services publics de gaz naturel de cours de formation destinés à leurs représentants. Ces cours porteraient sur la méthodologie de l'économie d'énergie dans le secteur des produits du bois. Les services pourraient alors aider leurs clients à découvrir les domaines potentiels d'économies d'énergie et ensuite à prendre les mesures pour réaliser ces économies.

Bon nombre des suggestions faites ci-dessus à la section 4.1 – **Économies d'énergie électrique**, conviennent tout à fait au gaz naturel. Lorsque les programmes comportent la diffusion d'informations sur les économies d'énergie, celles-ci devraient porter sur l'électricité et sur le gaz naturel. Cela est également vrai des programmes de formation.

ANNEXE A

POSSIBILITÉS D'ÉCONOMIES D'ÉNERGIE (SCIÉRIES ET USINES DE RABOTAGE) -- AIR COMPRIMÉ

N°	DOMAINE	MESURES SIMPLES		CHANGEMENTS MAJEURS		Réf.
1	Production d'air Compresseurs	Fonctionnement		Modifications		
		1	Vérifier et nettoyer les filtres d'entrée d'air	1	Ajouter un séquenceur dans le cas de compresseurs multiples	
		2	Vérifier et régler la valeur de consigne du compresseur	2	Transformer le dispositif de modulation en dispositif de régulation de type tout ou rien	
		3	Vérifier et régler les dispositifs de modulation			
		4	Vérifier et régler le séquenceur (le cas échéant)			
2	Production d'air Dessiccation d'air Préfiltres/filtres terminaux	Fonctionnement		Modifications		
		1	Vérifier l'état des filtres et les remplacer s'il y a lieu	1	Ajouter un dispositif de contrôle de purge à l'assécheur	
		2	Vérifier le matériau dessiccatif et le remplacer, le cas échéant	2	Ajouter un contrôleur d'humidité à l'assécheur	
3	Capacité de stockage - réseau de distribution Généralités	Fonctionnement		Modifications		
		1	Vérifier les fuites d'air et les colmater du mieux possible	1	Ajouter un dispositif de gestion de l'air avec contrôle de la demande (p. ex., le contrôleur intermédiaire ConservAir)	
		1	Vérifier le réglage de la soupape de sûreté, le cas échéant	1	Accroître la capacité du réservoir	
4	Utilisation de l'air - Production Utilisation finale : pressions	Fonctionnement		Modifications		
		1	Régler les pressions d'utilisation finale si des régulateurs sont installés	1	Ajouter des régulateurs de pression aux grands utilisateurs	
		2	Régler les vitesses d'utilisation finale à la seule valeur utile	2	Transformer les réseaux appropriés en réseaux bipression	
		3	Remplacer les tuyaux souples et raccords sousdimensionnés restreignant le débit			
		3	Vérifier et nettoyer les composants de filtres obstrués			
5	Utilisation de l'air : autres fins que la production	Fonctionnement		Modifications		
		1	Vérifier, nettoyer ou remplacer les vis de purge des cuvettes de filtres qui fuient	1	Utiliser une technique de diffusion d'air plus efficace pour les jets d'air (nettoyage de cellules photo-électriques, nettoyage de courroies, dépeussierage)	
		2	Vérifier et réparer les membranes de régulateurs qui fuient	2	Convertir les utilisateurs pertinents aux cylindres à simple action	
		3	Contrôler les jets d'air par des régulateurs de pression	1	Remplacer l'utilisateur d'air par une autre source d'énergie (ex. : l'hydraulique)	
		2	Contrôler les jets d'air par un robinet électromagnétique	1	Installer des diffuseurs d'air à haut rendement aux fins de nettoyage	
6	Utilisation de l'air : hors des heures de travail	Fonctionnement		Modifications		
		1	Mettre hors circuit tous les compresseurs inutiles	1	Les robinets d'isolement de la salle des machines doivent être enclenchés au système de commande	
		1	Mettre hors circuit tous les compresseurs inutiles	2	Isoler l'alimentation d'air aux soupapes différentielles du réseau d'incendie en la reliant à son ou ses propres petits compresseurs	

POSSIBILITÉS D'ÉCONOMIES D'ÉNERGIE (USINES DE CONTREPLAQUÉ ET DE PANNEAUX DÉRIVÉS DU BOIS) – AIR COMPRIMÉ

N°	DOMAINE	MESURES SIMPLES		CHANGEMENTS MAJEURS		Réf.
1	<u>Production d'air</u> Compresseurs	<u>Fonctionnement</u>		<u>Modifications</u>		
		1	Vérifier et nettoyer les filtres d'entrée d'air	1	Ajouter un séquenceur dans le cas de compresseurs multiples	
		2	Vérifier et régler la valeur de consigne du compresseur	2	Transformer le dispositif de modulation en dispositif de régulation de type charge-décharge	
		3	Vérifier et régler les dispositifs de modulation			
		4	Vérifier et régler le séquenceur (le cas échéant)			
2	<u>Production d'air</u> Dessiccation d'air Préfiltres / filtres terminaux	<u>Fonctionnement</u>		<u>Modifications</u>		
		1	Vérifier l'état des filtres et les remplacer s'il y a lieu	1	Ajouter un dispositif de contrôle de purge de l'assécheur	
		2	Vérifier le déshydratant et le remplacer, le cas échéant	2	Ajouter un contrôleur d'humidité de l'assécheur	
3	<u>Capacité de stockage - réseau de distribution</u> Généralités Réservoir Réglages de pression Réglage de collecteur / conduite	<u>Fonctionnement</u>		<u>Modifications</u>		
		1	Vérifier les fuites d'air et les colmater du mieux possible	1	Ajouter un dispositif de gestion de l'air avec contrôle de la demande (p. ex., le contrôleur intermédiaire ConservAir)	
		1	Vérifier le réglage de la soupape de sûreté, le cas échéant	1	Accroître la capacité du réservoir	
4	<u>Utilisation de l'air - Production</u> Utilisation finale : pressions Traitement secondaire Utilisation finale : divers Utilisation finale : autres solutions	<u>Fonctionnement</u>		<u>Modifications</u>		
		1	Régler les vitesses d'utilisation finale à la seule valeur utile	1	Ajouter des régulateurs de pression aux grands utilisateurs	
		2	Remplacer les tuyaux souples et raccords sousdimensionnés restreignant le débit	2	Transformer les réseaux appropriés en réseaux bipression	
		3	Vérifier et nettoyer les composants de filtres obstrués			
		1	Vérifier, nettoyer ou remplacer les vis de purge des cuvettes de filtres qui fuient			
5	<u>Utilisation de l'air : autres fins que la production</u>	<u>Fonctionnement</u>		<u>Modifications</u>		
		1	Mettre hors circuit tous les compresseurs inutiles	1	Installer des diffuseurs d'air à haut rendement aux fins de nettoyage	
6	<u>Utilisation de l'air : hors des heures de travail</u>	<u>Fonctionnement</u>		<u>Modifications</u>		
		1	Mettre hors circuit tous les compresseurs inutiles	1	Les robinets d'isolement de la salle des machines doivent être enclenchés au système de commande	
				2	Isoler l'alimentation d'air aux soupapes différentielles du réseau d'incendie en la reliant à son ou ses propres petits compresseurs	

ANNEXE B

N°	DOMAINE	MESURES SIMPLES		CHANGEMENTS MAJEURS	
1	Courroie plate	1	Vérifier l'alignement et le régler	1	Installer une nouvelle courroie en matière synthétique
		2	Vérifier l'état de la courroie et remplacer celle-ci, s'il y a lieu		Remplacer la courroie par une courroie de synchronisation
		3	Vérifier la tension et la régler		
2	Courroie trapézoïdale	1	Vérifier l'alignement et le régler	1	Installer une plus grande poulie
		2	Vérifier l'état de la courroie et remplacer celle-ci, s'il y a lieu	2	Remplacer la courroie par une courroie de synchronisation
		3	Vérifier la tension et la régler		
3	Courroie de synchronisation	1	Vérifier l'alignement et le régler		
		2	Vérifier l'état de la courroie et remplacer celle-ci, s'il y a lieu		
		3	Vérifier la tension et la régler		
4	Chaîne à rouleaux	1	Vérifier l'alignement et le régler		
		2	Vérifier l'usure et remplacer la courroie, s'il y a lieu		
		3	Vérifier la tension et la régler		
		4	Vérifier la lubrification		
5	Engrenage à vis sans fin	1	Vérifier le niveau d'huile	1	Remplacer l'engrenage par un plus petit s'il est largement surdimensionné
		2	Enlever la poussière et les débris pour que la chaleur rayonne correctement	2	Augmenter la vitesse d'entrée
				3	Diminuer le rapport de réduction
				4	Remplacer l'engrenage par un plus efficace
6	Engrenage cycloïdal	1	Vérifier le niveau d'huile	1	Augmenter la vitesse d'entrée
		2	Enlever la poussière et les débris pour que la chaleur rayonne correctement	2	Remplacer l'engrenage par un plus efficace
7	Engrenage planétaire	1	Vérifier le niveau d'huile	1	Augmenter la vitesse d'entrée
		2	Enlever la poussière et les débris pour que la chaleur rayonne correctement	2	Remplacer l'engrenage par un plus efficace
8	Engrenage hélicoïdal	1	Vérifier le niveau d'huile	1	Remplacer l'engrenage par un engrenage démultiplication de moindre importance
		2	Enlever la poussière et les débris pour que la chaleur rayonne correctement	2	Augmenter la vitesse d'entrée

Prepared by:
Carroll-Hatch (International) Ltd
Suite 200, 233 West First Street
North Vancouver, B.C. V7M 1B3
P5199

JANUARY 15, 1996

*This manual does not necessarily reflect the views
of the Government of Canada nor does it constitute
an endorsement of any commercial product or person.*