



Valorisation énergétique des restes de bois

Un guide pour les entreprises
de transformation du bois

Valorisation énergétique des restes de bois

Un guide pour les entreprises de transformation du bois

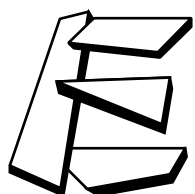
Actuellement, 1,4 million de m³ de bois est utilisé chaque année à des fins énergétiques dans notre pays. Cela correspond à 1,6% de la consommation globale d'énergie ou à 3% de nos besoins en chaleur. Le potentiel directement utilisable se monte à 2,5 millions de m³. Théoriquement, ce ne sont pas moins de 6 millions de m³ qui pourraient être utilisés comme bois énergie.

Les restes de bois provenant des entreprises de transformation du bois : couenneaux, délignures, écorces et sciures provenant des scieries, ainsi que chutes et sciures produites par les menuiseries et entreprises de charpente, **constituent une part importante du potentiel énergétique du bois.**

L'entrée en vigueur de l'Ordonnance sur la protection de l'air 1992 (OPair) a créé un climat d'insécurité dans les entreprises du bois en ce qui concerne les limites d'émissions applicables aux chauffages au bois. De nouvelles questions se posent : la valorisation énergétique des restes de bois est-elle encore possible et économiquement intéressante ? Quelles sont les conséquences des exigences de l'OPair sur la valorisation énergétique des différents types de restes de bois ? Le chauffage existant doit-il être assaini et quelle technique de combustion faut-il envisager ? La documentation « Valorisation énergétique des restes de bois – Un guide pour les entreprises de transformation du bois » propose des réponses à ces questions actuelles. Elle s'adresse aux propriétaires et responsables des entreprises de transformation du bois en présentant notamment les aspects de la combustion des restes de bois et les divers moyens de réduire les émissions nocives émanant de leur combustion. Les autres sujets traités concernent l'exploitation et la régulation des chauffages, la dépollution des gaz de fumées ainsi que les possibilités de diminuer la consommation en énergie de l'entreprise. Des exemples permettent d'évaluer les données techniques de l'installation de chauffage au bois. Ce guide donne à chaque entreprise les moyens de déterminer le concept d'installation adapté à sa taille et aux types de restes de bois qu'elle transforme. Il fait toutefois apparaître clairement que le concept définitif d'une installation économiquement avantageuse et respectueuse de l'environnement devra être établi par un spécialiste.

ISBN 3-905232-52-9
Edition originale: ISBN 3-905232-45-6

1995, 104 pages
N° de commande 724.238 f



Valorisation énergétique des restes de bois

**Un guide pour les entreprises
de transformation du bois**



Programme d'action PACER
Office fédéral des questions conjoncturelles



Organisations faitières

- VSSM Verband Schweizerischer Schreinermeister und Möbelfabrikanten
Association suisse des maîtres menuisiers et fabricants de meubles
- FRM Fédération romande des entreprises de menuiserie, ébénisterie,
charpentes, des fabriques de meubles et des parqueteurs

Patronage

- SSMC Société suisse des maîtres charpentiers
- ASEB Association suisse pour l'énergie du bois
- ASIB Association suisse des scieries et de l'industrie du bois
- CBS Comité bois suisse

Direction du projet

- Andres Jenni, I/E/U/AG, Liestal

Direction du cours

- En allemand: Joseph Schmid, I/E/U AG, Liestal
- En français: Philippe Steinmann, Xylon SA, Genève

Auteurs

- Max Erny, I/E/U/AG, Liestal
- Andres Jenni, I/E/U/AG, Liestal
- Thomas Nussbaumer, VERENUM, Zurich
- Philippe Steinmann, Xylon SA, Genève
- Armin Winkler, IReL AG, Liestal

Avec la collaboration de

- Ruedi Bühler, Bureau d'ingénieur, Maschwanden
- Kurt Meier, Basler & Hofmann, Zurich
- Robert Uetz, INFOENERGIE, Tänikon

Concept, réalisation et rédaction

- Joseph Schmid, I/E/U/AG, Liestal

Coordinateur pour la direction de PACER

- Arthur Wellinger, INFOENERGIE, Ettenhausen

Traduction (français - allemand)

- Bruno Holenstein, Bureau d'ingénieur forestier, Berne

Adaptation française

- Philippe Steinmann, Xylon SA, Genève

Mise en pages, photocomposition et flashage

- DAC, Lausanne et
- City Comp SA, Morges

ISBN 3-905232-52-9

Edition originale: ISBN 3-905232-45-6

Copyright © 1995 Office fédéral des questions conjoncturelles 3003 Berne, juin 1995.
Reproduction d'extraits autorisée avec indication de la source.
Diffusion: Coordination romande du programme d'action «Construction et Energie»
EPFL-LESO, Case postale 123, 1015 Lausanne (N° de commande 724.238 f)

Form. 724.238 f 6.95 750



Avant-propos

D'une durée totale de 6 ans (1990-1995), le programme d'action « Construction et Energie » se compose des trois programmes d'impulsions suivants:

PI-BAT – Entretien et rénovation des constructions

RAVEL – Utilisation rationnelle de l'électricité

PACER – Energies renouvelables

Ces trois programmes d'impulsions sont réalisés en étroite collaboration avec l'économie privée, les écoles et la Confédération. Ils doivent favoriser une croissance économique qualitative et, par là, conduire à une plus faible utilisation des matières premières et de l'énergie, avec pour corollaire un plus large recours au savoir-faire et à la matière grise.

Jusqu'ici, si l'on fait abstraction du potentiel hydroélectrique, la contribution des énergies renouvelables à notre bilan énergétique est négligeable. Aussi le programme PACER a-t-il été mis sur pied afin de remédier à cette situation. Dans ce but le programme cherche:

- à favoriser les applications dont le rapport prix/performance est le plus intéressant;
- à apporter les connaissances nécessaires aux ingénieurs, aux architectes et aux installateurs;
- à proposer une approche économique nouvelle qui prenne en compte les coûts externes;
- à informer les autorités, ainsi que les maîtres de l'ouvrage.

Cours, manifestations, publications, vidéos, etc.

Le programme PACER se consacre, en priorité, à la formation continue et à l'information. Le transfert de connaissances est basé sur les besoins de la pratique. Il s'appuie essentiellement sur des publications, des cours et d'autres manifestations. Les ingénieurs, architectes, installateurs, ainsi que les représentants de certaines branches spécialisées, en constituent le public cible. La diffusion plus large d'informations plus générales est également un élément important du programme. Elle vise les maîtres de l'ouvrage, les architectes, les ingénieurs et les autorités.

Le bulletin « Construction et Energie », qui paraît trois fois par an fournit tous les détails sur ces activités. Ce bulletin peut être obtenu gratuitement sur simple demande. Chaque participant à un cours ou autre manifestation du programme reçoit une publication spécialement élaborée à cet effet. Toutes ces publications peuvent également être obtenues en s'adressant directement à la Coordination romande du programme d'action « Construction et Energie » EPFL-LESO, Case postale 12, 1015 Lausanne.

Compétences

Afin de maîtriser cet ambitieux programme de formation, il a été fait appel à des spécialistes des divers domaines concernés; ceux-ci appartiennent au secteur privé, aux écoles ou aux associations professionnelles. Ces spécialistes sont épaulés par une commission qui comprend des représentants des associations, des écoles et des branches professionnelles concernées.



Ce sont également les associations professionnelles qui prennent en charge l'organisation des cours et des autres activités. Pour la préparation de ces activités une direction de programme a été mise en place ; elle se compose du Dr Jean-Bernard Gay, du Dr Charles Filleux, de M. Jean Graf, du Dr Arthur Wellinger ainsi que de Mme Irène Wullemin et de M. Eric Mosimann de l'OFQC. La préparation des différentes activités se fait au travers de groupes de travail, ceux-ci sont responsables du contenu de même que du maintien des délais et des budgets.

Documentation

Cette documentation est principalement destinée aux propriétaires, gérants et responsables d'entreprises de la transformation du bois. Elle propose une marche à suivre et des bases de décision pour les menuisiers, charpentiers et scieurs, afin de leur permettre d'entreprendre le remplacement ou l'assainissement de leur chauffage au bois en connaissance de cause.

Ce manuel contient des renseignements pratiques et théoriques concernant la combustion des restes de bois qui seront également très utiles aux planificateurs, aux écoles et aux établissements d'enseignement.

Ce manuel est composé de trois parties: Concepts, Techniques et Annexes. La partie principale et les annexes sont particulièrement destinées au public cible. Les bases techniques intéresseront surtout les planificateurs et les personnes désirant approfondir le sujet.

Les textes de fond sont rédigés de manière facilement compréhensible. Les points particulièrement importants et des mots clés sont donnés soit en marge, soit sous forme d'encadrés tramés.

Des exemples, des bases de calcul, des diagrammes et des tableaux (vierges, présentés sous forme d'originaux à copier) se trouvent dans les annexes. Elles contiennent également des adresses de contact et des listes de publications.

Le présent document a été soigneusement élaboré et a été diffusé après une période probatoire et une évaluation dans le cadre d'un cours pilote. Ses auteurs ont conservé toute liberté d'apprécier et de considérer à leur gré divers points particuliers. Ils portent dans ce sens l'entière responsabilité de leur texte. Toute insuffisance mise éventuellement en évidence lors de la diffusion de ce document fera l'objet d'une correction. L'Office fédéral des questions conjoncturelles ou le directeur du cours acceptent volontiers toute suggestion.

Nous saisissons à cette occasion la chance de remercier ici toutes les personnes dont la précieuse collaboration a permis la parution de ce document.

Office fédéral des questions conjoncturelles
Service de la technologie
Dr B. Hotz-Hart
Vice-directeur



Table des matières

CONCEPTS

1. Introduction et objectifs	7
2. Valorisation des restes de bois	9
2.1 Types de restes de bois	9
2.2 Préparation et stockage des reste de bois	11
2.3 Commercialisation des reste de bois	20
2.4 Valorisation énergétique des restes de bois	21
2.5 Elimination des restes de bois	22
3. Critères d'assainissement d'une installation existante	23
Diagramme des critères d'assainissement d'une installation de chauffage au bois	23
4. Choix d'une installation de chauffage au bois	27
4.1 Systèmes de combustion	27
4.2 Critères permettant de simplifier le choix d'un chauffage	34
4.3 Relations contractuelles avec le fournisseur d'une installation	45
5. Que prescrit la loi?	47
5.1 Ordonnance sur la protection de l'air (OPair)	47
5.2 Ordonnance sur le traitement des déchets (OTD)	51

TECHNIQUES

6. Une combustion des restes de bois respectueuse de l'environnement	53
6.1 Le processus de combustion du bois	53
6.2 Les polluants provenant de la combustion des restes de bois	56
6.3 La conception des foyers modernes	57
6.4 L'utilisation et la régulation des chaudières aux reste de bois	59
6.5 Le traitement des gaz de fumées	62
7. Réduction de la consommation d'énergie	65
7.1 Consommation d'électricité	65
7.2 Récupération de la chaleur	70



ANNEXES

A1 Données techniques requises pour le dimensionnement d'une installation	73
I. Puissance de la chaudière	73
II. Besoins en énergie bois	74
III. Contenu énergétique des restes de bois	74
IV. Bilan des restes de bois	75
V. Volume de stockage	75

A2 Exemple d'une petite entreprise	77
1. Situation	77
2. Données de base	77
3. Caractéristiques d'une nouvelle installation	78
4. Nouvelle installation	78
5. Disposition des installations dans une petite entreprise	78

A3 Exemple d'une entreprise de taille moyenne	81
1. Situation	81
2. Données de base	81
3. Caractéristiques d'une nouvelle installation	82
4. Nouvelle installation	82
5. Disposition des installations dans une entreprise de grandeur moyenne	83

A4 Exemple d'une grande entreprise	85
1. Situation	85
2. Données de base	85
3. Caractéristiques d'une nouvelle installation	86
4. Nouvelle installation	87
5. Disposition des installations dans une grande entreprise	87

A5 Systèmes d'extraction pour silos	89
--	-----------

A6 Prescriptions de l'OPair pour les bois de chauffage	93
---	-----------

A7 Diagrammes et tableaux	95
----------------------------------	-----------

A8 Adresses importantes	97
--------------------------------	-----------

A9 Bibliographie	99
-------------------------	-----------

Publications et vidéos du programme d'impulsions PACER	101
---	------------

1. Introduction et objectifs

Les restes de bois provenant des entreprises de transformation du bois: couenneaux, délignures, écorces et sciures provenant des scieries, ainsi que chutes et sciures produites par les menuiseries et entreprises de charpente, **constituent une part importante du potentiel énergétique du bois.**

Contexte

L'entrée en vigueur de l'Ordonnance sur la protection de l'air 1992 (OPair) a créé un climat d'insécurité dans les entreprises du bois. En effet, si l'OPair 92 apporte un allègement des exigences relatives aux émissions de poussières, elle impose par contre des contraintes plus importantes en ce qui concerne les émissions de monoxyde de carbone issues des petites chaudières.

La présente documentation, ainsi que les connaissances techniques et professionnelles des participants, forment la base de ce cours orienté vers la pratique.

Sujets abordés dans ce guide

Ce guide répond aux questions suivantes :

- La valorisation énergétique des restes de bois est-elle encore possible et économiquement intéressante ?
- Quelles sont les conséquences des exigences de l'OPair sur la valorisation énergétique de différents types de restes de bois ?
- Le chauffage existant doit-il être assaini et quelle technique de combustion faut-il envisager ?

Ce guide apporte aux propriétaires et dirigeants des entreprises de transformation du bois une marche à suivre leur permettant de choisir un concept d'installation adapté à leur entreprise. Les planificateurs y trouveront des indications pratiques ainsi que les informations de base relatives à la combustion des restes de bois.

Maîtres menuisiers, charpentiers, scieurs, ainsi que propriétaires, directeurs d'entreprises et professionnels des entreprises de transformation du bois.

Public cible

Ce cours de perfectionnement aborde les différents problèmes qui se posent lors de la valorisation énergétique des restes de bois.

Objectifs

Il a pour objet :

- d'expliciter par le détail les effets de l'OPair 92;
- de spécifier les valeurs limites pour chaque type de restes de bois;
- de définir les conditions d'une combustion propre;
- de présenter les résultats actuels des recherches entreprises dans le domaine de la combustion.

Au terme des exposés, des discussions, et sur la base des exemples et d'une documentation claire, chaque participant devrait être capable :

- d'évaluer l'impact de l'OPair 92 sur la possibilité de valoriser ses restes de bois;
- de réunir les critères de décision nécessaires lui permettant d'effectuer sans risques un assainissement ou une transformation d'un chauffage au bois;

- de reconnaître les éléments décisifs d'un concept adapté à la grandeur de son entreprise et à ses restes de bois;
- de prendre des options en vue du choix d'une chaudière performante, tant du point de vue de l'énergie que de la protection de l'air;
- de faire évacuer les restes problématiques de manière écologique et économique.

Toutefois, comme nous l'avons déjà exprimé, l'estimation définitive du dimensionnement d'une nouvelle installation reste le domaine du spécialiste.

Structure du guide

Ce guide est structuré en trois parties principales :

Concepts	Chapitres principaux 1 à 5 Le choix d'un système
Techniques	Chapitres 6 et 7 La combustion et l'économie d'énergie
Annexes	Exemples et documents de travail Diagrammes et tableaux

Qu'entend-on par «restes de bois»

Il faut tout d'abord souligner que le terme «**restes de bois**» n'est utilisé ici que dans le sens donné par l'Ordonnance sur la protection de l'air 92. Le propriétaire d'une entreprise du bois doit en effet savoir que la signification de «**restes de bois**» selon l'OPair 92 (Annexe 5), ne correspond pas toujours à celle du langage courant : déchets de bois, bois de récupération, vieux bois, etc.

La combustion de bois de récupération et autres déchets n'est pas abordée dans le cadre de ce guide. Nous n'en présentons que les aspects juridiques (prescriptions en matière d'émissions nocives) au chapitre 5.

2. Valorisation des restes de bois

2.1 Types de restes de bois

L'usinage et les découpes du bois produisent des restes qui ne peuvent généralement plus être utilisés dans le cadre de la production principale de l'entreprise. Ces restes sont de formes et de dimensions variables :

Couenneaux et délignures	plusieurs mètres de long
Chutes de découpes	de quelques cm à plus d'un mètre de long
Plaquettes	pouvant atteindre 6 cm de long
Sciures	particules de plus de 0,5 mm
Poussières	particules de moins de 0,5 mm

La taille des particules de bois dépend principalement :

- du genre d'usinage (ponçage, fraisage, rabotage, etc.);
- du genre de machine, de la forme des outils et des vitesses de coupe;
- du genre de bois travaillé (massif, panneaux et dérivés).

	<i>Panneaux MDF</i>	<i>Panneaux de particules</i>	<i>Bois massif</i>
Ponçage	poussière	poussière	poussière
Sciage	poussière	poussière/sciure	sciure
Fraisage	poussière/sciure	sciure	sciure
Rabotage			copeaux
Déchiquetage	plaquettes	plaquettes	plaquettes

Provenance et formes des restes de bois

Dimensions et types des particules de bois

Tableau:
Restes de bois
d'une menuiserie

La composition des restes dépend des assortiments de bois usinés. Elle peut varier fortement, allant d'un simple mélange de diverses essences de bois, à l'inclusion de substances étrangères comme des colles, peintures, revêtements de surfaces et autres additifs.

Composition des restes de bois

Exemples de teneur en eau (x) des restes de bois produits par diverses entreprises de transformation du bois :

Menuiseries	x = 7% à 15%
Charpenteries	x = 10% à 25%
Scieries	x = 30% à 50%

$$\text{Teneur en eau: } x = \frac{\text{Poids de l'eau} \times 100}{\text{Poids du bois humide}} \quad [\%]$$

$$\text{Humidité: } u = \frac{\text{Poids de l'eau} \times 100}{\text{Poids du bois sec}} \quad [\%]$$

Nota:

La teneur en eau (x) ne doit pas être confondue avec l'humidité (u). Dans ce guide, seule la teneur en eau (x) sera considérée.

Pouvoir énergétique des restes de bois

Le pouvoir énergétique des restes de bois dépend principalement de leur teneur en eau et des types de bois dont ils sont issus. A poids égal, plus les restes contiennent d'eau, moins ils contiennent d'énergie utilisable.

Tableau:
Pouvoir énergétique des restes de bois

Menuiseries et charpenteries

Types de restes de bois		Pouvoir calorifique	Equivalent mazout
[Teneur en eau env. 10 - 15%]		[kWh]	[lt mazout]
Bois massif	[1 m ³]	2250-2950	225-295
Panneaux dérivés du bois	[1 m ³]	3000-4400	300-440
Briquettes	[1 m ³]	4400-7700	440-770
Plaquettes de bois massif	[1 m ³ pl]	900-1150	90-115
Plaquettes de panneaux dérivés	[1 m ³ pl]	1200-1750	120-175
Sciure/poussière de bois massif	[1 m ³ pl]	650-850	65-85
Sciure/poussière de dérivés	[1 m ³ pl]	1000-1400	100-140

Scieries

Bois massif	[1 m ³]	1850-2450	185-245
Plaquettes, écorces déchiquetées	[1 m ³ pl]	800-110	85-110
Couenneaux et délignures	[1 st]	1400-1850	140-185
Sciure	[1 m ³ pl]	600-800	60-80

Nota:

[m³]= m³ de bois réel

[m³ pl] = m³ de plaquettes, sciure, copeaux, etc.

[st]= stère = m³ de bois empilé

2.2 Préparation et stockage des restes de bois

Tri

Les prescriptions légales relatives à la protection de l'air peuvent rendre le tri de certains restes de bois très intéressant, voire même nécessaire dans certains cas.

Les petites installations de chauffage au bois sont particulièrement touchées par ces prescriptions qui ne les autorisent pas à brûler tous les types de restes de bois. (Les bases légales sont présentées au chapitre 5).

Si la séparation des morceaux et des sciures ne pose pas de problèmes majeurs, le tri des sciures et poussières, provenant de bois massifs ou de panneaux divers, est par contre beaucoup plus délicat. Il n'y a pas de solution miracle ; les deux exemples ci-dessous exposent des situations typiques.



Préparation

PVC et produits d'imprégnation

Les restes de bois contenant du PVC ou des produits d'imprégnation seront gérés séparément car ils ne doivent pas être brûlés dans des chaudières destinées aux restes de bois des entreprises. Ces déchets de bois sont à acheminer vers les centrales d'incinération des ordures.

Prescriptions de la CNA

Bien qu'elles ne soient pas exposées dans le détail, les prescriptions de la CNA doivent être respectées pour chaque machine/installation et/ou agencement de locaux.

Figure 2.1:
Agrégat d'aspiration destiné à une seule machine

Exemple 1

La chaudière ne respecte les prescriptions de l'OPair que lorsqu'elle consomme du bois à l'état naturel en morceaux. Dans ce cas, la collecte séparée des restes issus de panneaux dérivés (sciures et chutes) permettra d'éviter le remplacement de la chaudière. Les restes ne pouvant être brûlés seront valorisés ou éliminés d'une autre manière.

Exemple 2

L'entreprise produit plus de restes sous forme de sciures et copeaux qu'elle n'en a besoin pour se chauffer. Il lui est possible de vendre des briquettes à des particuliers, à condition que ces dernières ne soient constituées que de bois naturel. Dans pareil cas, l'aspiration sera dédoublée: une ligne transporte les copeaux mélangés destinés au chauffage interne, une autre achemine les copeaux de bois naturel vers la presse à briquettes.

Il devient très difficile de pratiquer cette séparation lorsque les machines travaillent aussi bien du bois massif que des panneaux dérivés. L'efficacité du tri dépend alors en majeure partie de la motivation du collaborateur utilisant cette machine. Lorsque l'alternance des bois est trop rapide, un tri effectif n'est quasiment plus possible.

Déchiquetage

Le déchiquetage permet de transformer les chutes en plaquettes. Cette opération s'effectuera directement pendant l'usinage du bois grâce à l'utilisation d'un canter dans les scieries et de lames de scies circulaires spéciales dans les menuiseries. Le déchiquetage peut également être envisagé comme une opération séparée. Les deux types de machines suivants sont couramment utilisés dans la pratique:

- déchiqueteur à tambour;
- broyeur lent.

Les déchiqueteurs à tambours sont équipés d'un rotor muni de couteaux.

Avantages:

- Ils sont appropriés pour déchiqueter des morceaux longs et minces (p. ex. délignures).
- Ils produisent des plaquettes régulières.

Désavantages:

- Ils sont sensibles aux corps étrangers durs (par exemple clous).
- Les couteaux doivent être affûtés régulièrement.
- La machine est bruyante.
- Ils impliquent une importante consommation électrique.

Les broyeurs lents ne coupent pas le bois, ils le broient à l'aide d'ergots fixés sur un ou des cylindres rotatifs.

Avantages:

- Ils sont appropriés au déchiquetage des restes cubiques et/ou plats.
- Ils sont insensibles aux corps étrangers durs.
- Ils font moins de bruit que les déchiqueteurs à tambour.
- Ils consomment moins d'électricité.
- Ils nécessitent moins d'entretien.

Désavantages:

- Ils produisent des plaquettes irrégulières (mais de qualité suffisante pour les chauffages modernes).

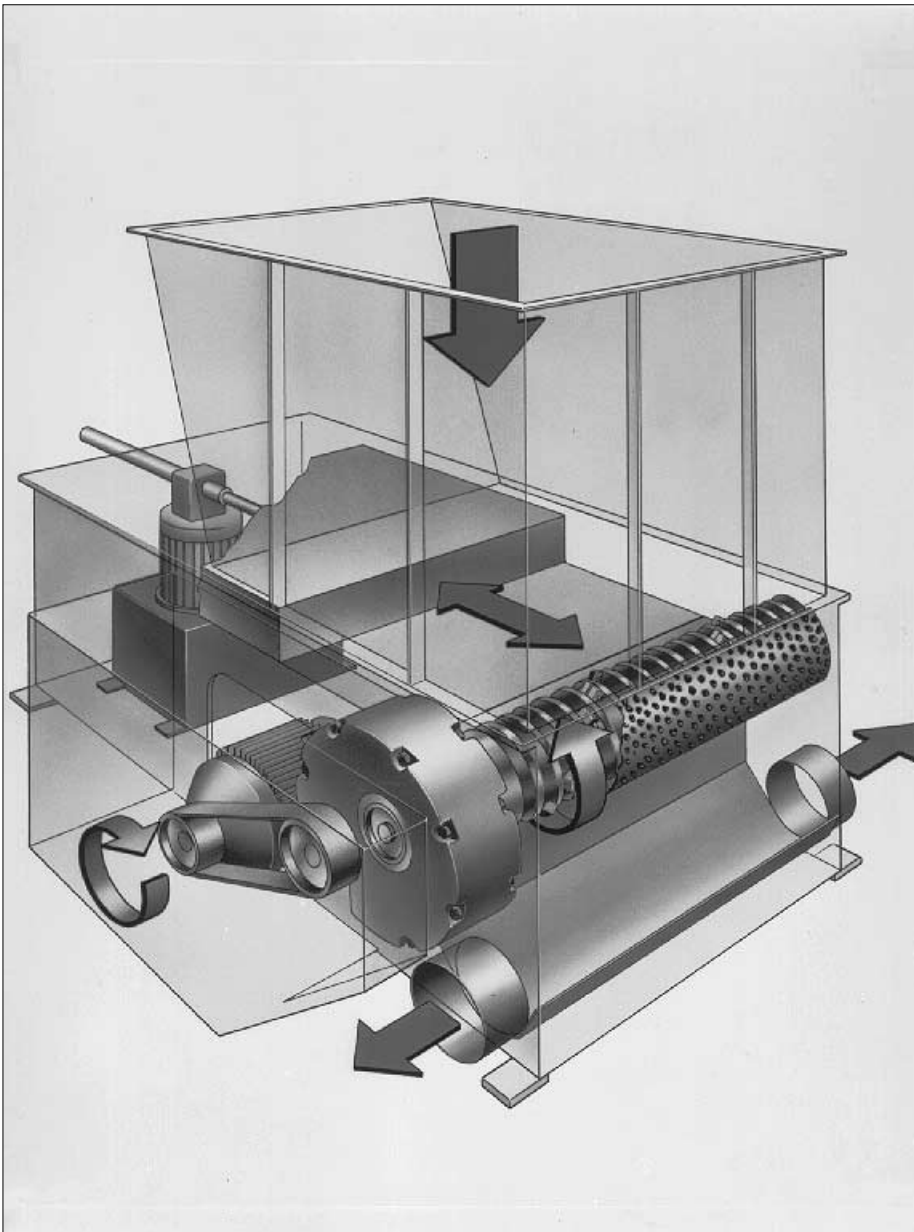


Figure 2.2:
Principe du broyeur lent
Prix: Fr. 25'000.- à Fr. 50'000.-
Production: 2-5 m³ de
plaquettes à l'heure

Briquetage

Les briquettes faites à partir de poussières, de sciures et de plaquettes sont obtenues par une très forte pression et généralement sans adjonction de liant. Le matériel de départ aura une teneur en eau ne dépassant pas 20%. Les bois plus humides seront séchés préalablement.

Avantages:

Les briquettes sont plus facilement commercialisables que les sciures ou les plaquettes car elles peuvent être utilisées dans les fourneaux à bois domestiques et les cheminées. Il faut cependant pour cela qu'elles soient produites à partir de bois à l'état naturel. De plus, leur stockage nécessite beaucoup moins de place; l'économie de volume qui en résulte varie d'un facteur 4 à 7.

Les briquettes peuvent, tout comme les plaquettes, être transportées au moyen de vis sans fin, en vue d'une alimentation automatique de la chaudière. Le briquetage, en fixant les poussières des restes qui en sont très riches, autorise leur combustion tout en respectant les prescriptions de l'OPair relatives aux particules solides dans les gaz de fumées.

Désavantage:

Le compactage des poussières, sciures et plaquettes nécessite des investissements et provoque des frais de fonctionnement supplémentaires.

Il est toutefois possible de rentabiliser une presse de grande capacité par la mise sur pied de collaborations:

- par l'achat commun d'une presse (éventuellement montée sur un châssis transportable) et utilisation par les différents partenaires selon un tournus préétabli;
- par le briquetage à façon dans une entreprise équipée.

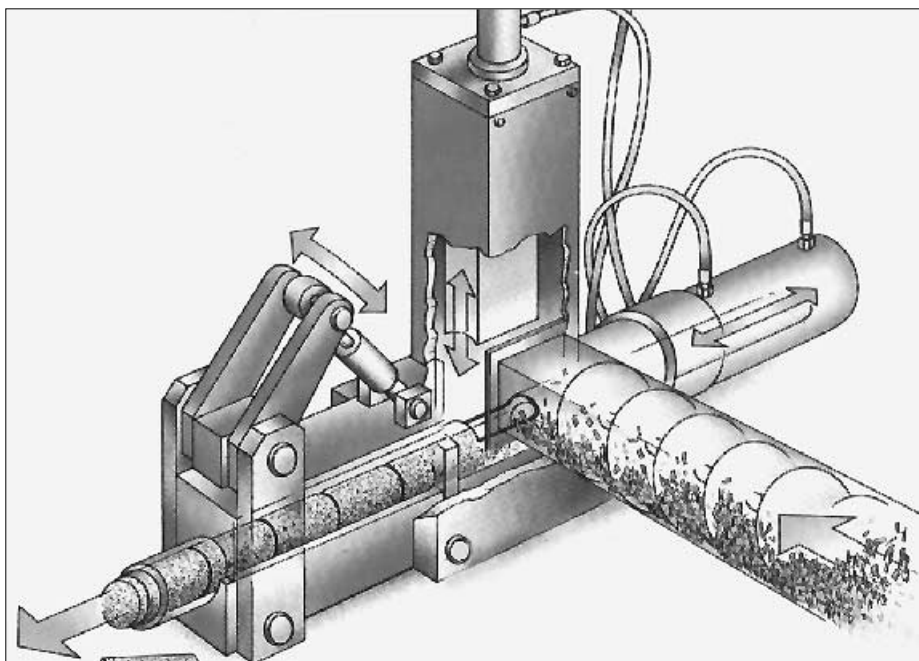


Figure 2.3:
Principe de la presse à briquetter.
Prix: dès Fr. 40'000.-
Production: briquetage de 0,3 à 0,6 m³ de copeaux par heure

Les restes de bois produits par une entreprise ne pouvant généralement pas être directement utilisés pour le chauffage, ces derniers doivent être stockés.

Stockage

Dépôts intermédiaires gérés manuellement

- chutes, découpes et briquettes mises en tas, empilées ou disposées dans des cadres, palettes, filets, sacs ou autres;
- sciures, copeaux et poussières mis en sacs;
- sciures, copeaux poussières et plaquettes disposés dans des locaux équipés à cet effet.

Bacs d'alimentation pour petites chaudières automatiques

- plaquettes et briquettes; maximum 10 m³;
- sciures, copeaux et poussières; maximum 3 m³.

Silos automatisés pour chaudières automatiques

- plaquettes et briquettes (silos à plaquettes);
- sciures, copeaux et poussières (silos à copeaux).

Les critères déterminants dans le choix du type de stockage sont les suivants :

- la forme et la teneur en eau des restes de bois;
- la grandeur des installations;
- les volumes de stockage nécessaires;
- les constructions existantes;
- les prescriptions légales:
 - police cantonale du feu,
 - prescriptions des AEAI,
 - sécurité du travail: CNA.

Stockage de restes de bois en morceaux

Les **découpes**, **chutes** et **briquettes** produites par des entreprises de menuiserie et de charpente peuvent, jusqu'à concurrence de 10 m³, être stockées dans un local de chaufferie isolé F 60.

Exemples de stockage

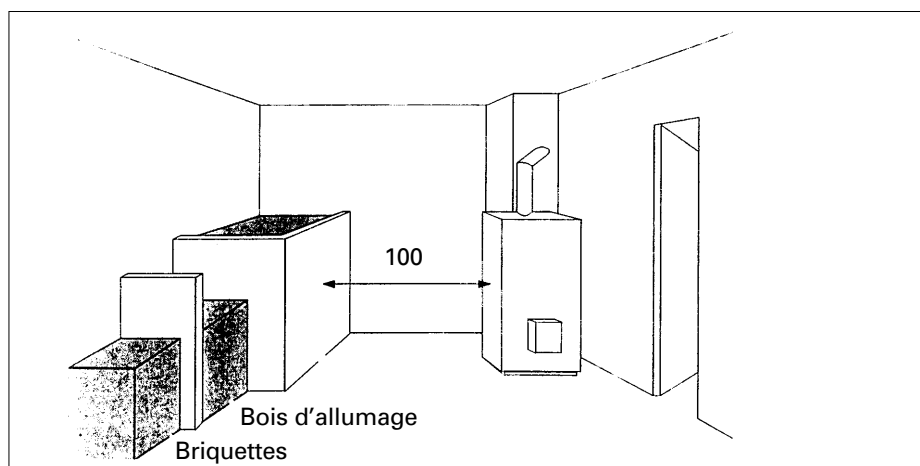


Figure 2.4:
Stockage dans une chaufferie
F 60 (AEAI)

Pas de stockage de matières
facilement inflammables telles
que:

- laine de bois
- papier
- paille, etc.

Stockage de plaquettes

La solution la plus avantageuse réside dans l’approvisionnement de la chaudière à partir d’un bac, muni d’un dispositif de transport et périodiquement rempli à partir d’un stockage intermédiaire. La construction d’un grand silo, alimentant automatiquement la chaudière, représente en effet un investissement trop important pour les petites installations.

Les **plaquettes** et les **sciures** des scieries, ainsi que les **plaquettes** et les **briques** des menuiseries et charpenteries, peuvent être stockées dans un local réservé à cet effet. Le bac d’alimentation de la chaudière est alors périodiquement rempli, directement depuis ce local.

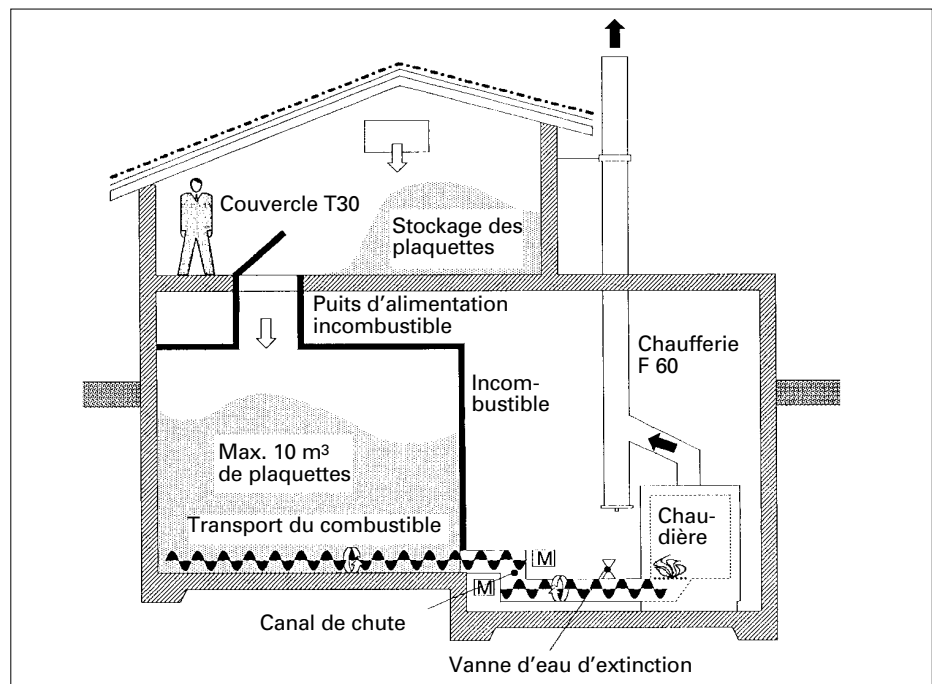


Figure 2.5:
Bac à plaquettes avec remplissage effectué de l’intérieur du bâtiment (AEAI)

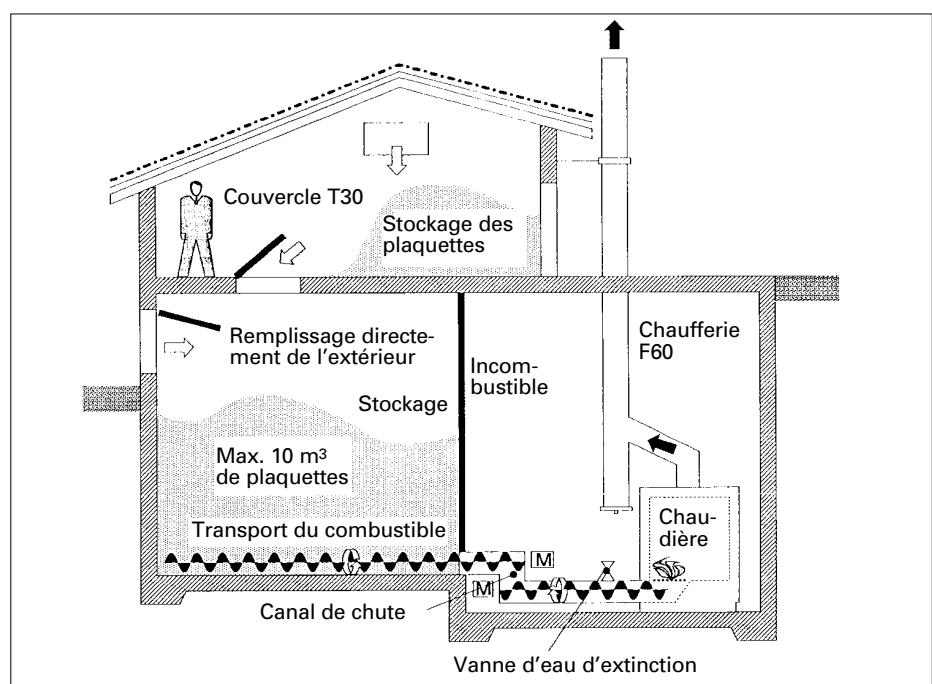


Figure 2.6:
Bac à plaquettes avec remplissage effectué directement depuis l’extérieur du bâtiment (AEAI)

Lorsque les installations sont plus importantes, le combustible est stocké dans un silo qui alimente automatiquement la chaudière.

Les **plaquettes** et les **sciures** des scieries, ainsi que les **plaquettes** et les **briquettes** des entreprises de menuiserie et de charpente, peuvent alors être stockées dans un silo (généralement souterrain), équipé d'un dispositif de désilage automatique.

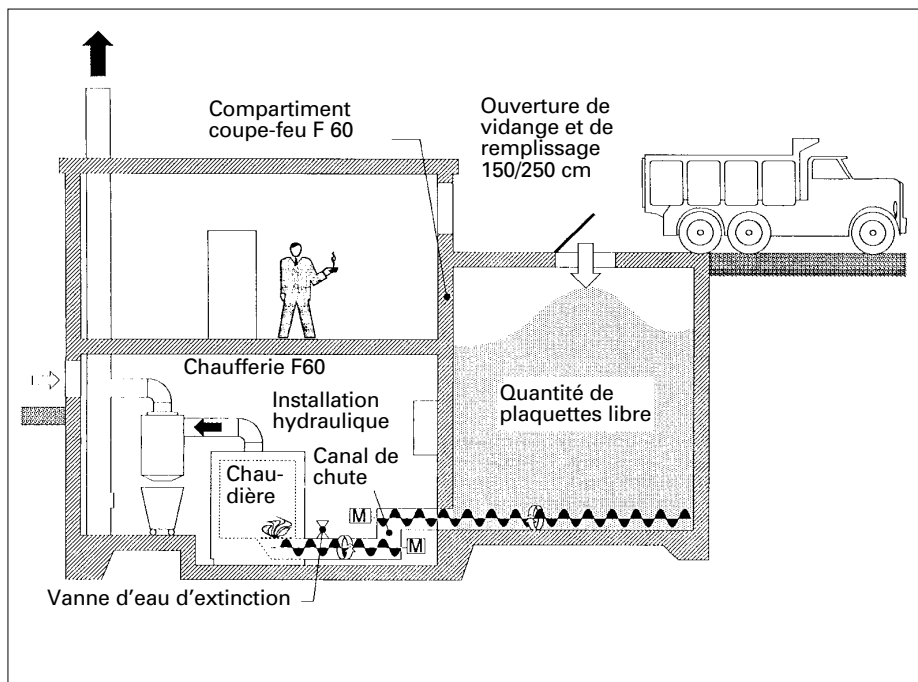


Figure 2.7:
Silo à plaquettes souterrain
avec désilage automatique
(AEAI)

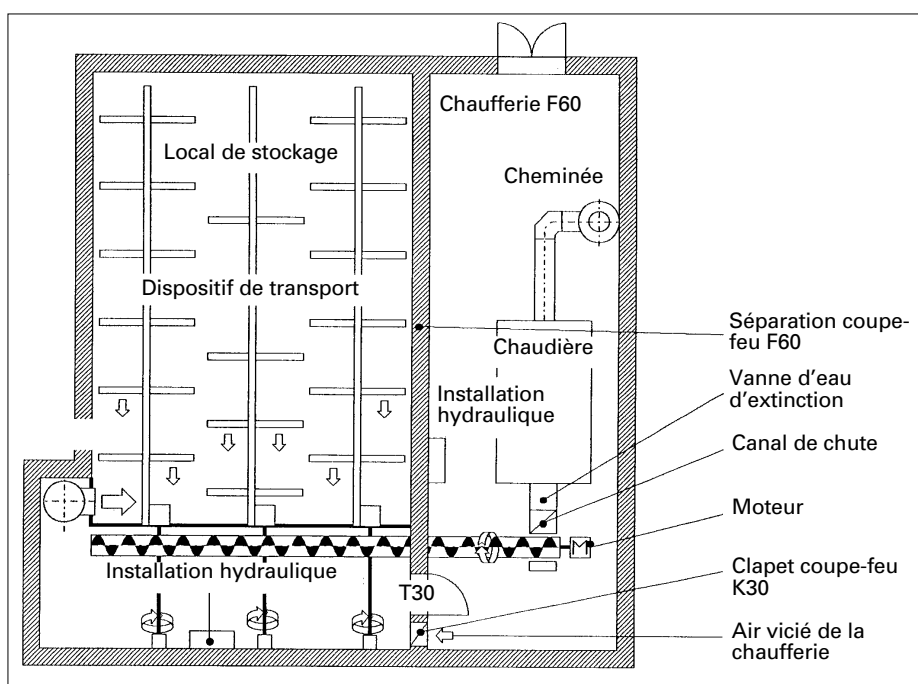


Figure 2.8:
Plan de la liaison
silo/chaufferie

Stockage de sciures, copeaux et poussières

Les sciures, copeaux et poussières des entreprises de menuiserie et de charpente sont à stocker dans un local à copeaux réservé à cet effet. L'alimentation d'une chaudière semi-automatique est ainsi réalisable grâce à un bac d'alimentation d'un volume maximum de 3 m³, situé dans la chaufferie.

Les installations entièrement automatiques sont généralement dotées d'un silo à sciure, copeaux et poussières (non enterré), équipé d'un dispositif permettant le désilage et l'alimentation automatique de la chaudière.

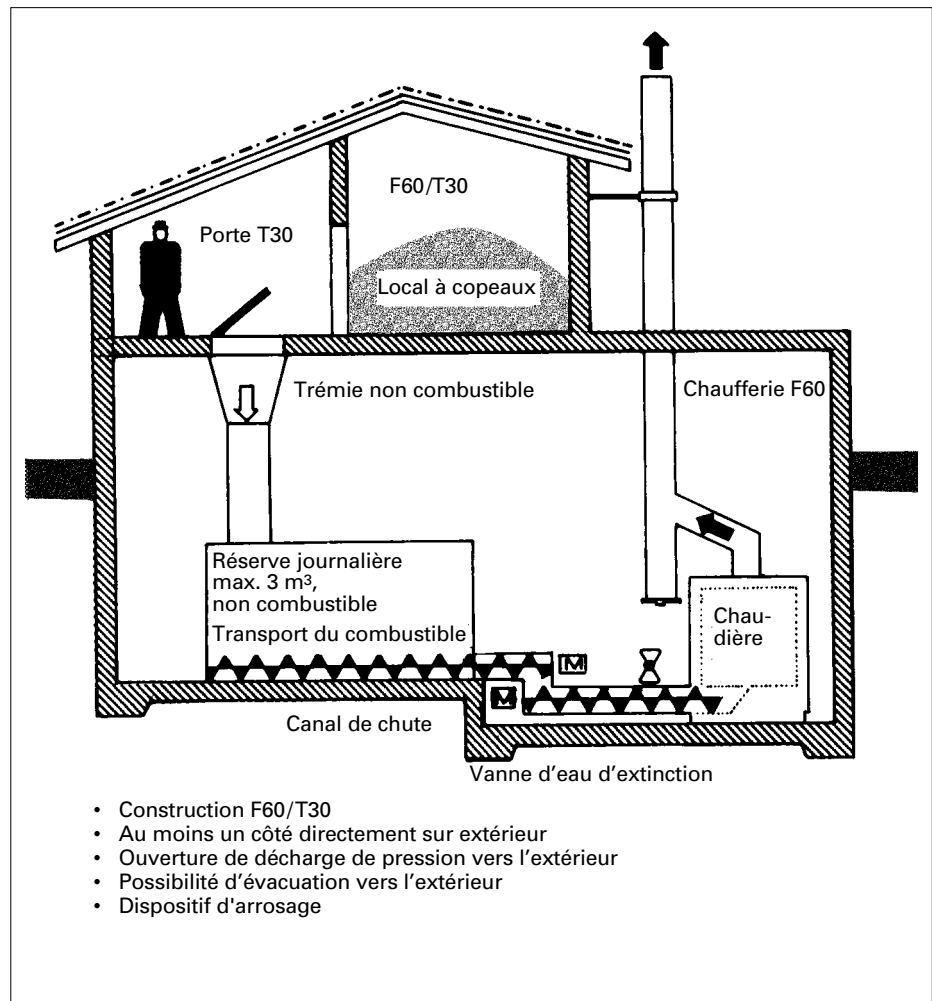


Figure 2.9:
Local à sciures, copeaux et
poussières

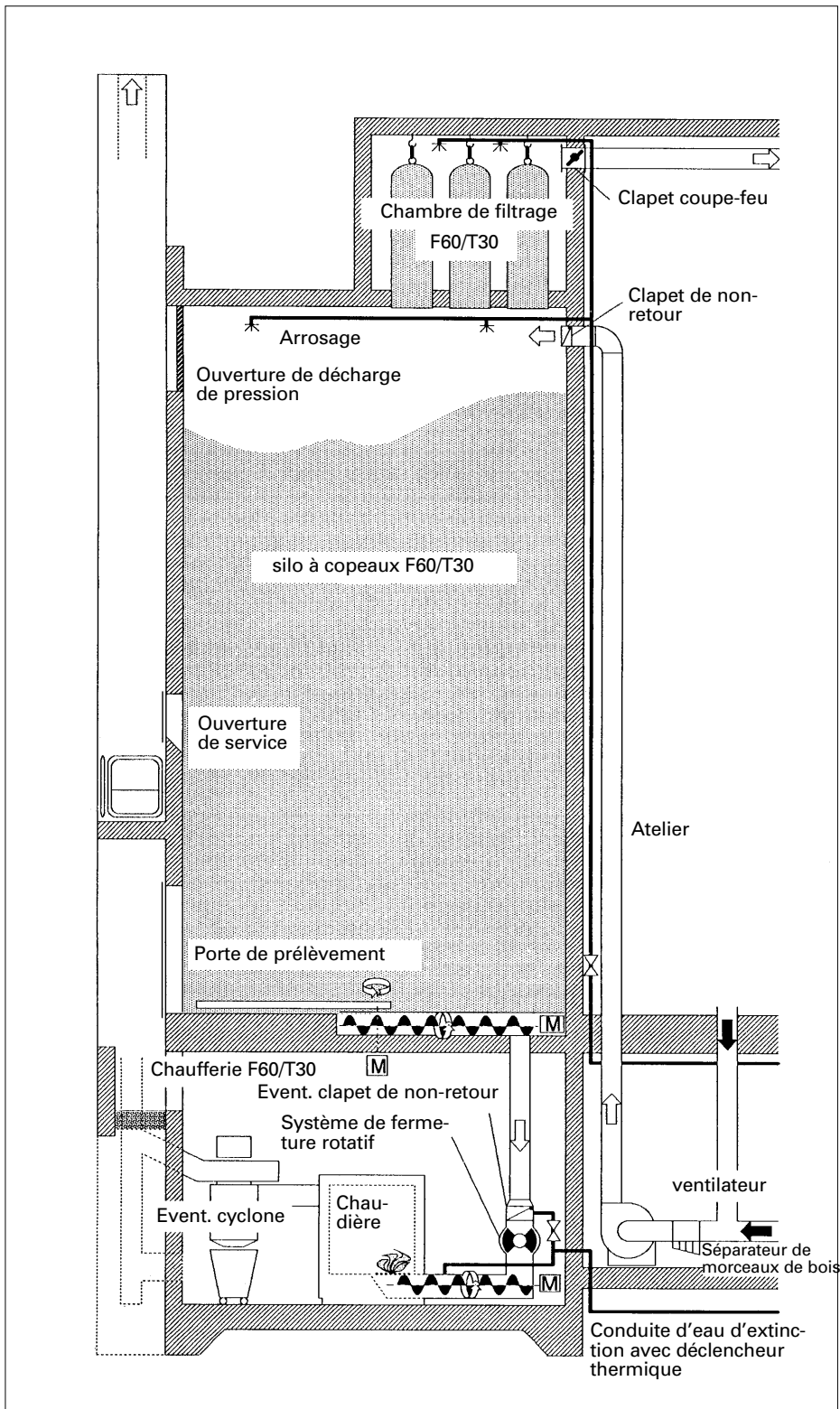


Figure 2.10:
Silo à sciures, copeaux et poussières construit en hauteur et muni d'un désilage automatique

2.3 Commercialisation des restes de bois

Les prix offerts ainsi que les quantités de restes de bois demandées sur le marché sont très variables et dépendent des types de restes de bois et des conditions régionales. On peut différencier plusieurs marchés.

Matière première pour l'industrie

Cette forme de valorisation est largement exploitée dans les scieries. La demande et les prix fluctuent cependant fortement. Ils dépendent des conditions d'approvisionnement des industries de panneaux et de papier. Les principaux assortiments commercialisés sont les suivants :

- couenneaux et délignures longs;
- plaquettes TMP (haute qualité destinée aux papetiers);
- plaquettes;
- sciure.

Combustible industriel

La vente de plaquettes issues de restes de bois pour l'alimentation des centrales de chauffage automatiques est très répandue dans les scieries. Les normes relatives à la protection de l'air sont les mêmes pour ces restes de bois que pour les bois en provenance directe de la forêt.

Les entreprises de la seconde transformation du bois peuvent également livrer leurs restes de panneaux pour de telles installations de chauffage. Dans ce cas, les prescriptions particulières concernant la protection de l'air (OPair) et la police du feu doivent être respectées (cf. chapitres 2.2 et 5).

Combustible domestique

Seuls les restes composés exclusivement de bois à l'état naturel peuvent être utilisés dans les potagers, fourneaux d'appartements et cheminées. Il est interdit de brûler des restes de panneaux et autres dérivés du bois dans de telles installations.

Les restes sont le plus couramment livrés sous la forme de :

- chutes de diverses grandeurs;
- petit bois d'allumage (délignures);
- briquettes.

Il est également possible de produire et de vendre de la chaleur à la place du bois (cf. chapitre 2.4).

Les prix du bois énergie sur le marché

Plaquettes fraîches de bois naturel (p. ex. de scierie) et plaquettes forestières

Feuillus: 35.- à 43.- Fr./m³ de plaquettes
 Résineux: 26.- à 34.- Fr./m³ de plaquettes

Prix franco silo de l'utilisateur
 Source: recommandation EFAS-ASIB
 1994/1995

Petit bois d'allumage naturel et sec
 Filet de 5 kg: Fr. 8.50
 Prix de détail en grand magasin

Sciure de bois naturel (p. ex. de scierie)

5.- Fr./m³ foisonné, franco scierie
 Ces prix varient énormément. Dans des régions sans utilisateur, ils peuvent même devenir négatifs.

Copeaux de rabotage et de fraisage, sciure de la deuxième transformation du bois (p. ex. de menuiserie)

0.- Fr./m³
 Certaines entreprises de transport valorisent ce matériau. Elles ne l'achètent cependant que dans les meilleurs des cas.

2.4 Valorisation énergétique des restes de bois

En plus du chauffage de leurs locaux en hiver, bon nombre d'entreprises utilisent de la chaleur toute l'année pour faire fonctionner les presses, séchoirs, cabines à peintures, étuves et autres installations de production.

Acheteurs de chaleur

Lorsque le chauffage de l'entreprise n'épuise pas les restes de bois, il devient intéressant de rechercher des acheteurs de chaleur potentiels dans les environs immédiats. Les repreneurs potentiels peuvent être :

- des entreprises voisines ;
- des bâtiments publics ;
- des propriétés privées.

Fourniture et vente de chaleur

La fourniture de chaleur à des demandeurs externes requiert une conduite à distance. La vente se fait sur la base d'une mesure directe de la chaleur consommée, grâce à un compteur de chaleur placé chez le client. La construction d'une conduite à longue distance implique des investissements importants qui ne peuvent être amortis qu'à long terme. Il est donc impératif d'établir un contrat réglant la vente de la chaleur à long terme également.

Rentabilité des réseaux de chaleur

La rentabilité d'un réseau de chaleur est très fortement tributaire des conditions locales telles que :

- l'importance des investissements nécessaires pour le transport de la chaleur (conduite à distance) ;
- les économies réalisables par l'utilisateur grâce à la diminution d'investissements et de frais d'exploitation (p. ex. par la libération des locaux de chaufferie et de citerne) ;
- la suppression des coûts d'élimination des restes de bois ainsi utilisés ;
- le coût du combustible substitué (p. ex. mazout).

Production de chaleur pour les propres besoins de l'entreprise

Vente de chaleur à des tiers (réseaux de chaleur)

Aide financière

Il est conseillé de se renseigner auprès de son service cantonal de l'énergie pour connaître les possibilités de subventionnement accordées par le canton et la Confédération pour l'installation du chauffage et la conduite à distance (cf. adresses en annexe A8).

Rentabilité des réseaux de chaleur: valeurs indicatives

Définition du prix spécifique de la chaleur

Prix au kWh de la chaleur fournie franco départ du système de distribution, frais d'amortissement et d'exploitation compris (coûts de l'énergie et de l'entretien).

Réseau de chaleur

Production de chaleur: 5 à 7 cts/kWh

Conduite à distance: 3 à 5 cts/kWh

Conduite à distance

Distance maximale pour une maison individuelle: 30 à 50 m

Distance maximale pour une maison locative: 50 à 100 m

Chauffages particuliers

Le coût de la chaleur pour une installation à mazout conventionnelle est aujourd'hui d'environ :

- 12 cts/kWh pour une maison individuelle ;
- 10 cts/kWh pour une maison locative.

Comparaison énergétique bois-mazout

Le bois présente un pouvoir calorifique inférieur à celui du mazout.

1 tonne de bois naturel séché à l'air, correspond à environ 350 kg de mazout.

1 m³ de plaquettes de bois naturel correspond à environ 100 kg de mazout.

2.5 Elimination des restes de bois

Les restes de bois doivent, dans la mesure du possible, être valorisés et non pas éliminés. Lorsque l'entreprise ne possède pas de chauffage adapté à ses restes de bois ou que la production dépasse les capacités de valorisation internes, il faut rechercher des solutions de valorisation externes (cf. chapitre 2.3).

Surfaces en PVC, bois imprégnés sous pression et bois de récupération

Les bois qui contiennent du PVC (chants de portes p. ex.) ou des sels d'imprégnation sous pression (poteaux télégraphiques, barrières), doivent être acheminés vers des centrales d'incinération pour ordures ménagères. Dans les lieux où ce n'est pas encore possible, ils peuvent à la rigueur être déposés dans une décharge bioactive (pour déchets ménagers).

Les bois de récupération (de rénovation et démolition) peuvent être brûlés dans des installations munies d'un système de dépollution des fumées adapté. Lorsque ce n'est pas envisageable, ces bois doivent également être acheminés vers une centrale d'incinération des ordures ménagères.

Sont interdits

- La combustion à l'air libre.
- Le dépôt dans une décharge pour matériaux inertes (gravats).
- La décharge sauvage.

Est prescrite

- La combustion dans une centrale d'incinération des ordures ménagères (les bois de récupération peuvent être brûlés dans une installation adaptée). Exception: dépôt dans une décharge bioactive.

3. Critères d'assainissement d'une installation existante

L'assainissement d'un chauffage aux restes de bois est envisagé lorsque l'installation ne peut plus respecter les normes de l'OPair, malgré les réglages pratiqués par un spécialiste. Un assainissement ne se justifie généralement que pour des installations importantes produisant de la vapeur ou de l'eau surchauffée. Dans les autres cas, le remplacement de la chaudière sera souvent plus indiqué.

Marche à suivre

Lorsqu'on doit choisir entre l'assainissement et le remplacement d'un chauffage aux restes de bois, il convient de prendre en considération les points suivants :

1. Dépassement de la limite relative aux particules solides (poussières)

La composition du combustible sera étudiée en premier. Lorsque la combustion de panneaux dérivés du bois produit des émissions de poussières nettement supérieures à la limite de l'OPair, il convient tout d'abord de vérifier leur teneur en chlore. D'autres investigations ne seront entreprises que lorsqu'on se sera assuré que le chlore n'est pas responsable du problème (cf. chapitre 6).

2. Limite relative au monoxyde de carbone (CO)

Un combustible qui n'est pas adapté à l'installation existante peut provoquer un fort dépassement de la limite relative au CO. Par exemple, un combustible trop humide, brûlé dans une installation qui n'est pas adéquate, n'aura pas une bonne combustion et provoquera ainsi de fortes émissions de monoxyde de carbone (cf. chapitre 6).

3. Etat de la chaudière

La chaudière sera examinée afin de déceler d'éventuels dégâts dus à la corrosion, de vérifier son étanchéité, etc. Il faut renoncer à un assainissement lorsqu'on peut supposer que la chaudière ne tiendra pas au moins 10 ans de plus ou lorsqu'elle est nettement surdimensionnée par rapport aux besoins réels de chaleur (facteur > 1,5).

Foyer

Lorsque la chaudière est en bon état et qu'elle est dimensionnée correctement, il faut déterminer si le foyer est assez grand pour être transformé en vue du respect des normes de l'OPair relatives aux poussières et au monoxyde de carbone. Il doit offrir un espace non refroidi suffisamment grand pour les flammes, un mélange optimal avec l'air secondaire et un espace de postcombustion qui soit non refroidi également.

Ces exigences sont réalisables grâce à une voûte permettant un feu à tirage horizontal ou par l'adjonction d'une zone de postcombustion non refroidie, particulièrement recommandée pour les foyers à grille.

Ces transformations internes seront impérativement confiées au constructeur de la chaudière afin de clairement départager les éventuels problèmes de responsabilité consécutifs aux changements de contraintes, dans le foyer et la chaudière, ou à une éventuelle réduction de la puissance de l'installation.

De telles transformations ne sont généralement pas envisageables pour des installations de faible puissance: les foyers n'y offrent pas assez de place et les coûts d'une transformation seraient trop élevés par rapport au prix d'une nouvelle chaudière. La transformation du foyer d'une chaudière à bûches en vue d'obtenir un mélange optimal de l'air secondaire et une zone de post-combustion non refroidie, n'est que rarement possible.

4. Régulation

Lorsqu'on procède à la transformation d'une chaudière automatique, on veillera à équiper cette dernière d'une régulation de combustion et de puissance. C'est la condition nécessaire pour garantir un bon rendement et de faibles émissions dans toutes les gammes de puissance.

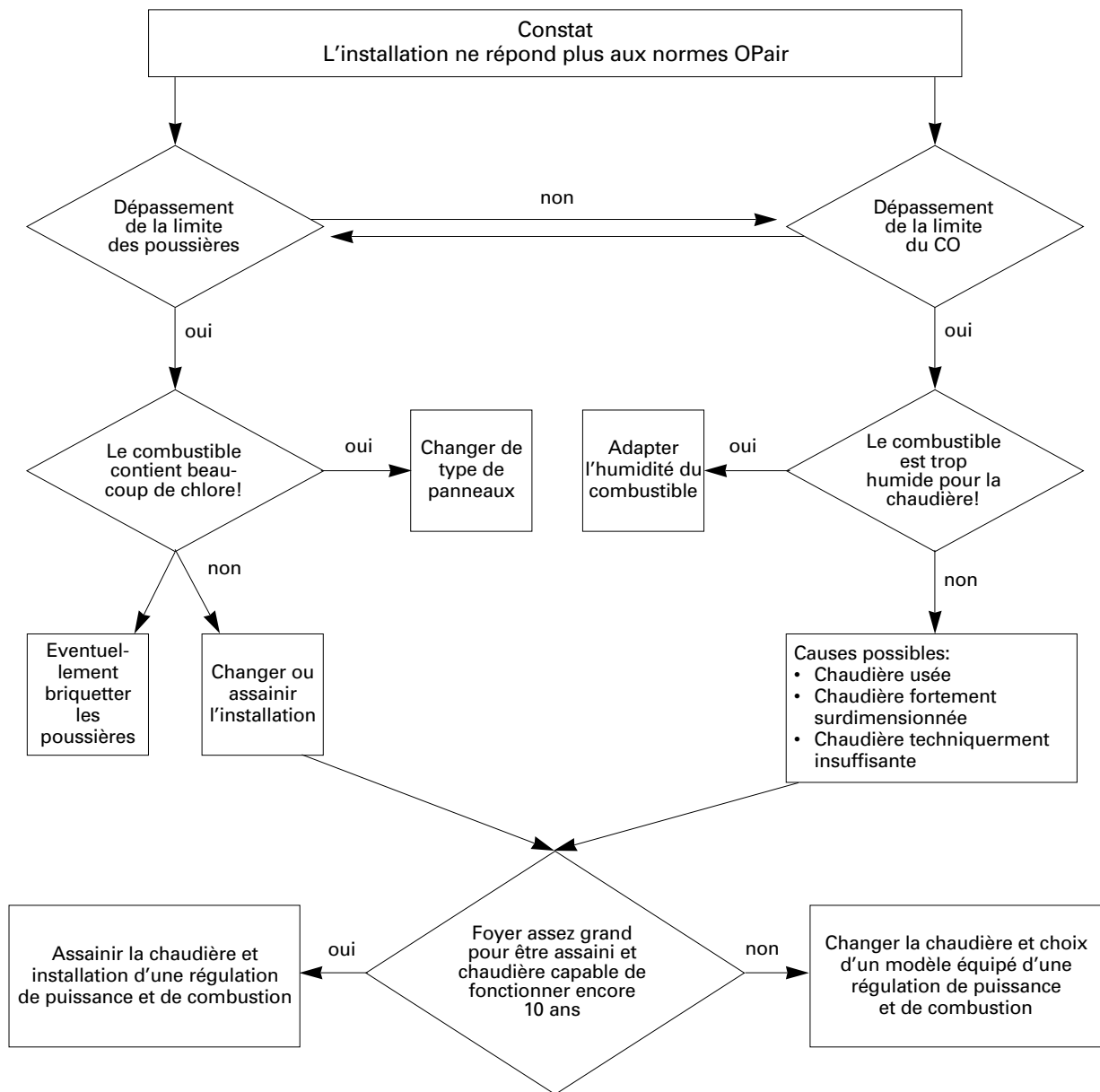
5. Emission de poussières après assainissement

Lorsque les limites d'émission de poussières sont dépassées, alors que les normes relatives au monoxyde de carbone (CO) sont respectées, il convient d'envisager l'installation d'un système de dépoussiérage des fumées supplémentaire.

Systèmes de filtres

L'installation de systèmes de dépoussiérage des fumées (filtres multicyclones) permet généralement de diminuer les émissions de poussières. Une telle installation n'améliorera en revanche pas la qualité de la combustion et ne permettra donc pas de réduire les émissions de CO (cf. chapitre 6, systèmes de filtres).

Diagramme des critères d'assainissement d'une installation de chauffage au bois



4. Choix d'une installation de chauffage au bois

4.1 Systèmes de combustion

La valorisation énergétique des restes de bois de l'entreprise ne peut se faire que lorsque les installations sont adaptées au combustible envisagé et capables de respecter les limites d'émissions fixées par l'OPair 92. Par ailleurs, une préparation du combustible, comme le déchiquetage ou le briquetage, s'avère souvent nécessaire, particulièrement pour les petites installations.

Aperçu des différents systèmes de combustion

- Chaudières à combustion inférieure
- Chaudières à brûleur tunnel
- Foyers à grille
- Foyers à poussée inférieure
- Avant-foyer

Chaudières à combustion inférieure

Les chaudières à combustion inférieure sont munies d'un espace de chargement. A mesure que le combustible descend dans ce dernier, il passe par les phases de séchage, de dégazage puis de combustion. Seule la partie la plus basse du bois brûle effectivement. L'adjonction d'air primaire dans le lit de braises permet le craquage des gaz bruts issus du bois en gaz combustibles. Les gaz combustibles sont mélangés à l'air secondaire immédiatement après avoir quitté le foyer et sont conduits dans la zone de post-combustion. Les gaz de fumées ne sont conduits dans l'échangeur de chaleur qu'après l'achèvement total de leur combustion. Ils donneront alors leur énergie au circuit de la chaudière.

Données techniques des chaudières à combustion inférieure

Puissance

- 40 à 100 kW.
- La puissance de la chaudière doit être environ deux fois plus importante que celle nécessaire au chauffage, ce qui permet de ne procéder au chargement de la chaudière que deux fois par jour.

Exploitation

- Les chaudières qui ne sont pas équipées d'une régulation doivent être utilisées à leur puissance nominale.
- Les chaudières équipées d'une régulation peuvent être utilisées jusqu'à 50% de leur puissance nominale.
- Un accumulateur de chaleur hydraulique est nécessaire.
- Seuls quelques fabricants proposent des systèmes de régulation. Certains systèmes sont en cours de développement ou d'amélioration.

Alimentation du foyer

- Le volume de chargement doit être alimenté manuellement.

Décendrage et nettoyage de la chaudière :

- Le décendrage est fait manuellement après chaque charge.
- Le nettoyage de la chaudière, également manuel, doit être fait chaque semaine.

Exigences concernant le combustible

- Bois à l'état naturel (la proportion du volume des bois surfacés et des panneaux doit être nettement inférieure à 10%).
- Les copeaux et poussières doivent impérativement être briquetés.
- Les chutes de grande dimension doivent être débitées en morceaux réguliers, surtout pour les panneaux.
- La teneur en eau ne doit pas dépasser 20%.

- 1 Volume de remplissage
- 2 Grille
- 3 Air primaire
- 4 Air secondaire
- 5 Zone de mélange
- 6 Chambre de post-combustion
- 7 Echangeur de chaleur

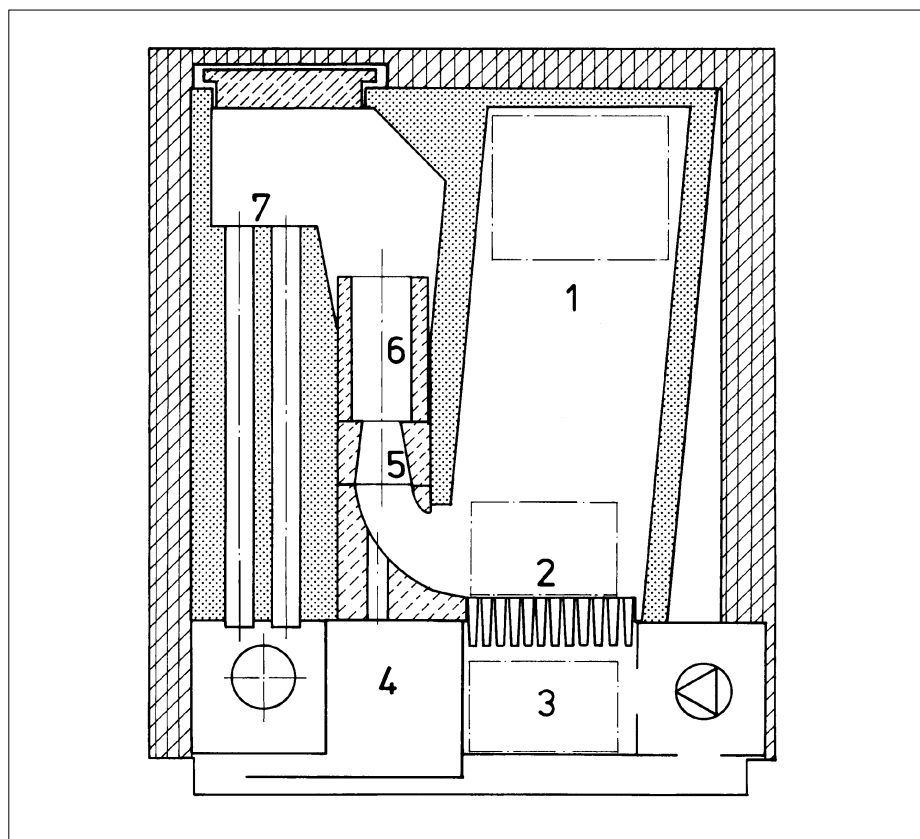


Figure 4.1:
Chaudière à combustion inférieure

Chaudières à brûleur tunnel

Dans les chaudières à brûleur tunnel, les processus de recharge, dégazage et combustion se font de manière continue, avec un apport d'air primaire et d'air secondaire. Le tunnel est un tube de section carrée ou ronde qui est monté devant la chaudière et dans lequel se déroulent les différentes étapes de la combustion. La transmission d'énergie se fait au niveau de l'échangeur de chaleur de la chaudière. Le broyage des morceaux qui a lieu avant le passage dans le tunnel provoque passablement de bruit.

Données techniques des chaudières à brûleur tunnel

Puissance

- 25 à 110 kW.

Exploitation

- Puissance réglable entre 10 et 100%.
- Régulation de la combustion incorporée.

Alimentation du foyer

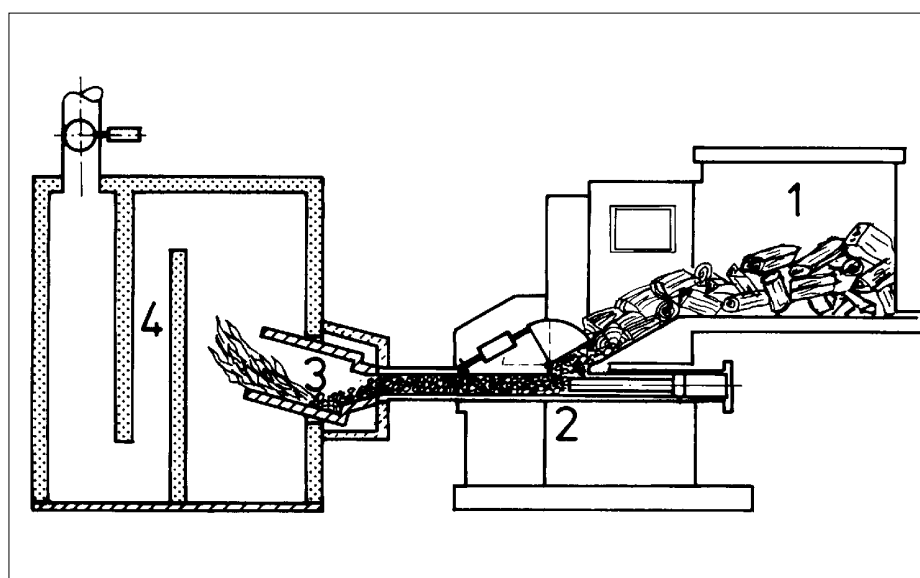
- Automatique.

Décendrage, nettoyage de la chaudière

- Le décendrage peut être soit manuel, soit automatique.
- Le nettoyage de la chaudière doit être effectué manuellement toutes les 4 semaines.

Exigences concernant le combustible

- Les copeaux et les poussières doivent être briquetés. De petites quantités de copeaux peuvent néanmoins être mélangées avec des morceaux et des briquettes.
- Les chutes doivent être aboutées à une grandeur maximale de 30 cm.



- 1 Bac à combustible
- 2 Dosage et broyage
- 3 Brûleur tunnel avec amenées d'air primaire et d'air secondaire
- 4 Chaudière avec échangeur de chaleur

Figure 4.2:
Chaudière à brûleur tunnel

Foyers à grille

Dans les foyers à grille, le combustible est généralement amené automatiquement du silo sur une grille fixe ou mobile. L'opération est réalisée au moyen de vis sans fin ou de racloirs.

L'arrivée d'air primaire passe à travers la grille et l'air secondaire est amené en dessus du combustible. A mesure que le combustible avance sur la grille, il passe par les stades de séchage, de dégazage et de combustion.

Données techniques des foyers à grille

Puissance

- Depuis 150 kW.

Particularités

- Puissance réglable entre 30 et 100%.
- Régulation de la combustion.

Alimentation du foyer

- Automatique.

Décendrage et nettoyage de la chaudière

- Le décendrage peut être manuel ou automatique.
- Le nettoyage de la chaudière doit être fait manuellement toutes les 2 à 4 semaines.

Exigences concernant le combustible

- Particulièrement adapté pour les restes de bois riches en cendres comme les écorces et les panneaux comportant un fort taux de ballast inerte.
- Le combustible en morceaux doit être décheté.
- La teneur en eau ne doit pas dépasser 60%.

- 1 Alimentation en combustible
- 2 Grille
- 3 Air primaire
- 4 Air secondaire
- 5 Echangeur de chaleur
- 6 Cyclone à poussières

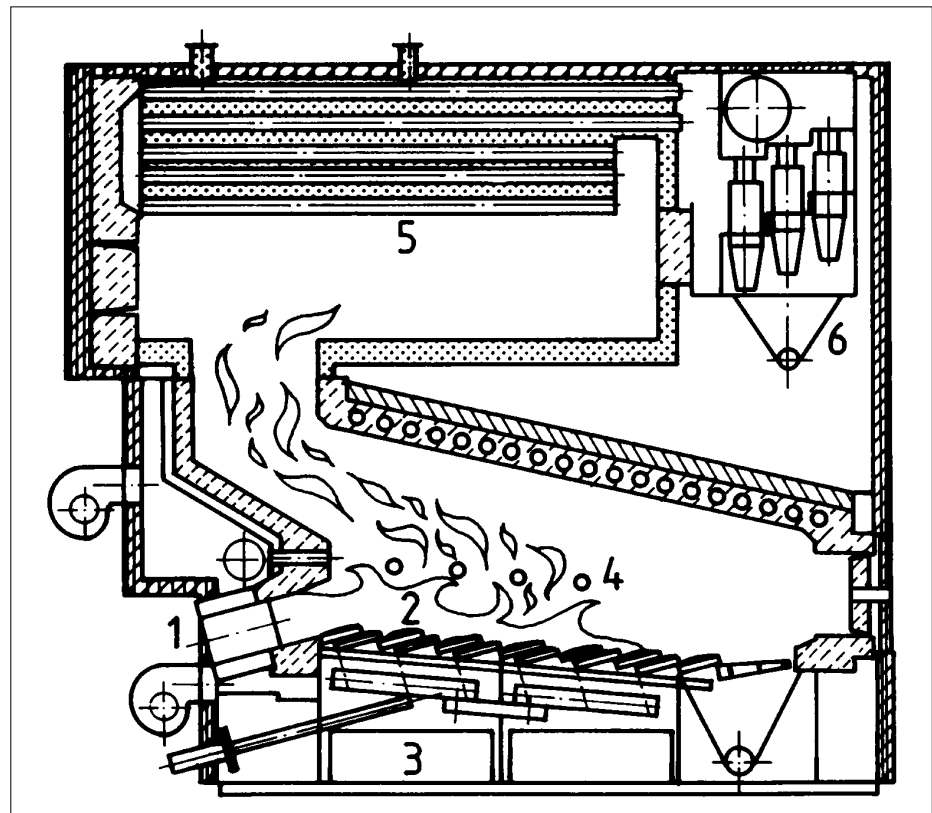


Figure 4.3:
Foyer à grille

Foyers à poussée inférieure

Après avoir été extrait du silo, le combustible est introduit par le bas dans un foyer en forme de cuvette. Le transport du combustible est assuré automatiquement, généralement par des vis sans fin. L'air est insufflé par des ventilateurs qui le dirigent au bas du foyer cuvette pour l'air primaire, et au-dessus des braises pour l'air secondaire. Les gaz combustibles brûlent dans la zone de combustion. Après combustion complète, ces gaz sont conduits vers l'échangeur de chaleur de la chaudière.

Foyers à poussée inférieure avec déchiqueteur incorporé

Un déchiqueteur est installé entre le bac à combustible et la chaudière. Après déchiquetage, le combustible est automatiquement conduit vers le foyer où il sera brûlé. Tous les assortiments de restes de bois peuvent être mis manuellement dans le bac à combustible. De là, ils seront automatiquement déchiquetés, puis brûlés. Le déchiqueteur est bruyant.

Données techniques des foyers à poussée inférieure

Puissance

- 20 kW à 2,5 MW.

Exploitation

- Puissance réglable entre 30 et 100%.
- Régulation de la combustion.

Alimentation

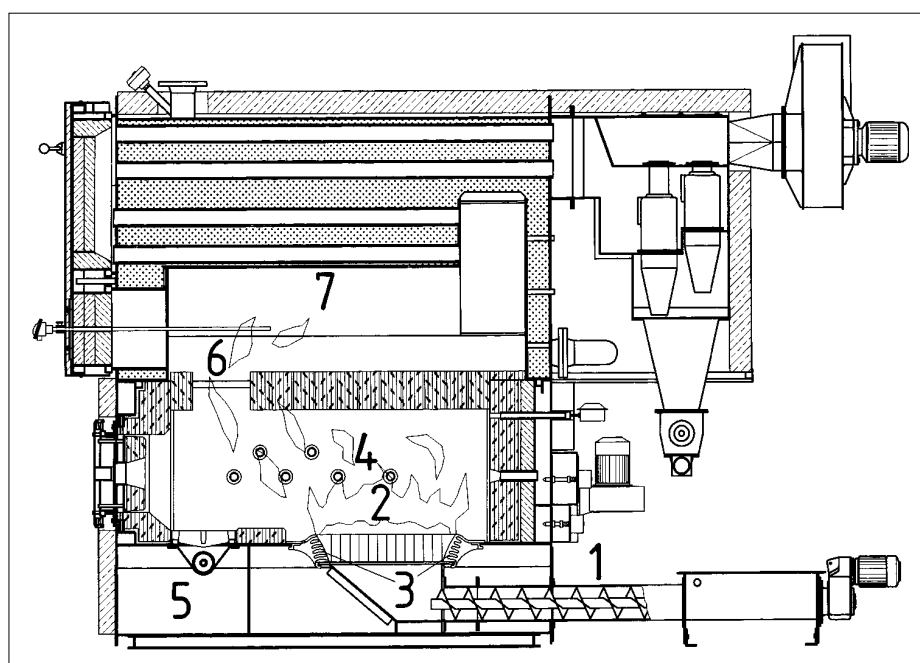
- Automatique.

Décendrage et nettoyage de la chaudière

- Le décendrage peut être manuel ou automatique.
- Le nettoyage de la chaudière doit être fait manuellement toutes les 2 semaines.

Exigences concernant le combustible

- Le briquetage des copeaux et poussières n'est généralement pas nécessaire.
- Les restes en morceaux doivent être déchiquetés.
- La teneur en eau ne doit pas dépasser 45%.



- 1 Alimentation en combustible
- 2 Foyer en forme de cuvette
- 3 Air primaire
- 4 Air secondaire
- 5 Décendrage automatique
- 6 Zone de combustion
- 7 Echangeur de chaleur

Figure 4.4:
Foyer à poussée inférieure

- 1 Bac à combustible
- 2 Alimentation en combustible
- 3 Chaudière

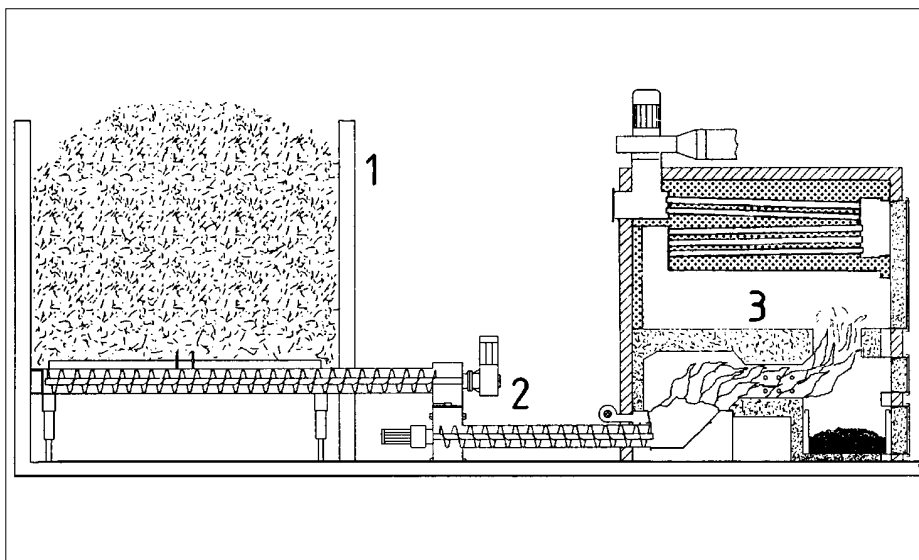


Figure 4.5:
Foyer à poussée inférieure
avec bac à combustible

- 1 Bac à combustible
- 2 Déchiqueteur
- 3 Alimentation en combustible
- 4 Chaudière

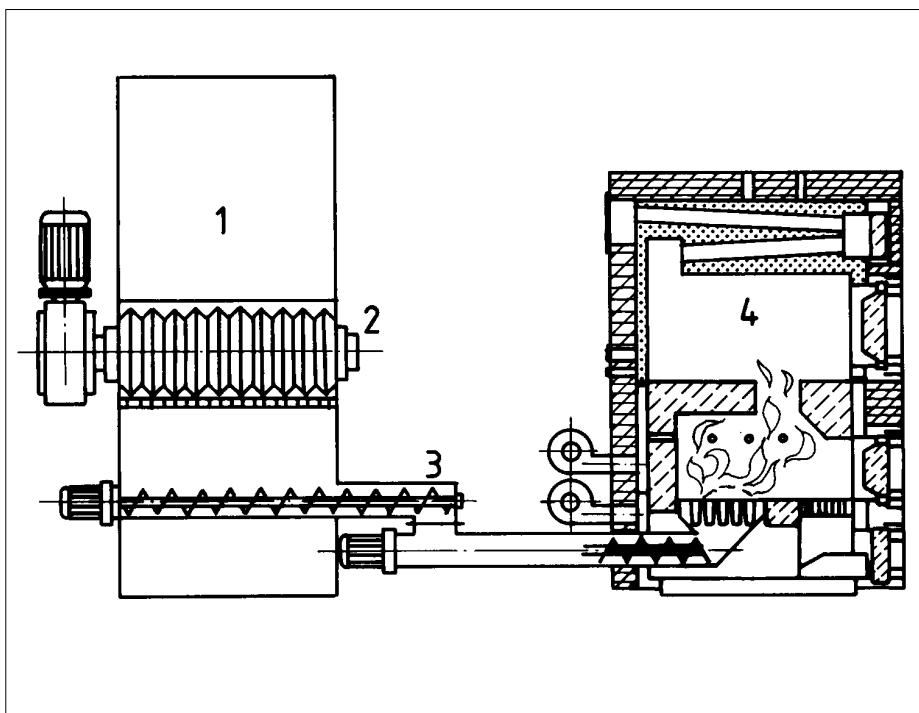


Figure 4.6:
Chaudière à poussée inférieure
avec déchiqueteur intégré

Avant-foyers

Les systèmes de combustion qui sont indépendants de la chaudière (échangeur de chaleur) sont appelés avant-foyers. Une partie de l'air de combustion est insufflée, comme air primaire, au bas d'un foyer cuvette ou d'une grille (par un ventilateur ou par tirage naturel).

Les gaz combustibles passent ensuite par un col où ils sont mélangés à l'air secondaire. Leur combustion a lieu dans la chambre de combustion de la chaudière, ici utilisée comme zone de post-combustion. Après combustion complète, les gaz sont acheminés vers l'échangeur de chaleur de la chaudière.

Données techniques des avant-foyers

Puissance

- 20 kW à 2 MW.

Exploitation

- Puissance réglable entre 30 et 100%.
- Régulation de la combustion.

Alimentation du foyer

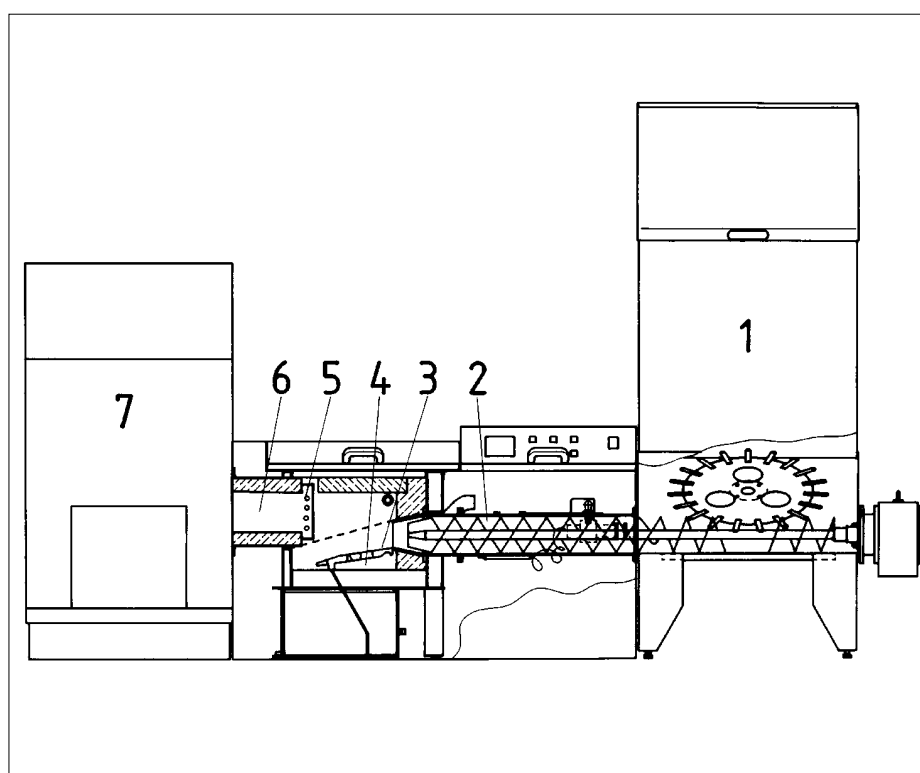
- Automatique.

Décendrage et nettoyage de la chaudière :

- Le décendrage peut être manuel ou automatique.
- Le nettoyage de la chaudière doit se faire manuellement toutes les 2 semaines.

Exigences concernant le combustible

- Variables en fonction du type de foyer choisi (voir les données concernant les foyers à poussée inférieure et les foyers à grille).



- 1 Bac
- 2 Alimentation
- 3 Avant-foyer à grille
- 4 Air primaire
- 5 Air secondaire
- 6 Col de passage des gaz
- 7 Chaudière

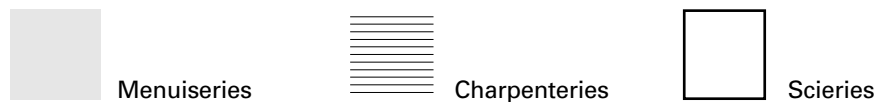
Figure 4.7:
Avant-foyer à grille

4.2 Critères permettant de simplifier le choix d'un chauffage

L'étude des différentes variantes d'installations facilitera un premier choix en séparant les types de chauffage qui peuvent être envisagés dans l'entreprise de ceux qui sont à rejeter d'emblée. Cette première évaluation permettra, dans la plupart des cas, de retenir plusieurs variantes. Un choix plus précis pourra ensuite être fait en tenant compte des points suivants :

- conditions d'exploitation particulières à l'entreprise (installations existantes, place disponible pour la chaudière, le stockage et la manutention des restes de bois) ;
- étude des offres de différents fabricants de chaudières ;
- évaluation et conseils d'experts neutres.

	[kW]	Installations manuelles	Installations semi-automatiques					Installations automatiques			
		A	B1	B2	B3	B4	B5	C1	C2	C3	C4
Chaudière à combustion inférieure avec accumulation	40-100										
Chaudière à brûleur tunnel avec bac et broyeur	25-110										
Foyer à poussée inférieure avec bac et broyeur	30-120										
Foyer à poussée inférieure avec bac	20-120										
Foyer à poussée inférieure	≥50										
Foyer à grille	≥120										
Avant-foyer	≥20										



Domaine d'application

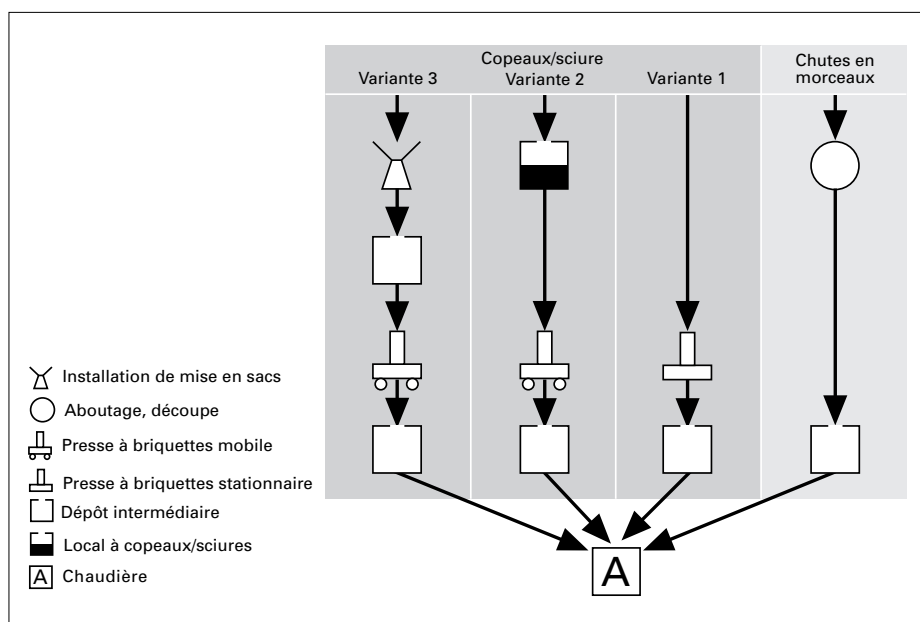
Ces installations conviennent aux petites entreprises de **menuiserie** et de **charpente** travaillant presque exclusivement des bois massifs et secs.

Description de l'installation

Les copeaux et sciures produits sont briquetés par une presse installée dans l'entreprise. Les briquettes sont alors acheminées, manuellement ou automatiquement, vers un dépôt intermédiaire ou directement à la chaufferie. Les chutes en morceaux sont transportées manuellement vers un dépôt ou vers la chaufferie.

Lorsqu'on utilise une presse à briquettes mobile (qui fait le tour de différentes entreprises), il faut prévoir un lieu pour stocker les copeaux et les sciures. Il n'est toutefois pas nécessaire que le local à copeaux soit spécialement protégé contre les incendies si les copeaux et les sciures sont stockés dans des sacs. Il existe des machines qui facilitent la mise en sacs.

La chaudière est alimentée à la main, à partir d'un dépôt intermédiaire ou directement de la chaufferie.

**A
Installation
manuelle****La variante A est-elle adaptée à l'entreprise ?***Critères préliminaires*

Les quatre conditions suivantes doivent être remplies :

- Puissance de la chaudière entre 40 et 100 kW (correspond à un besoin de chaleur de 20 à 50 kW).
- Proportion de bois surfacés et de panneaux nettement inférieure à 10%.
- Teneur en eau inférieure à 20%.
- Acceptation d'un temps de travail journalier d'une à deux heures.

Critères supplémentaires

- Avantages :
- Un déchiqueteur n'est pas nécessaire.
 - Un dépôt simple suffit pour les briquettes et les chutes en morceaux.
 - L'acquisition d'une chaudière manuelle avec un accumulateur est avantageuse ; prix entre Fr. 30 000.- et Fr. 50 000.-.

- Désavantages :
- Nécessité d'une presse à briquettes ; prix entre Fr. 35 000.- et Fr. 45 000.-.
 - Les chutes en morceaux doivent souvent être sciées pour obtenir des dimensions utilisables.

B1
Installation
semi-automatique

Domaine d'application

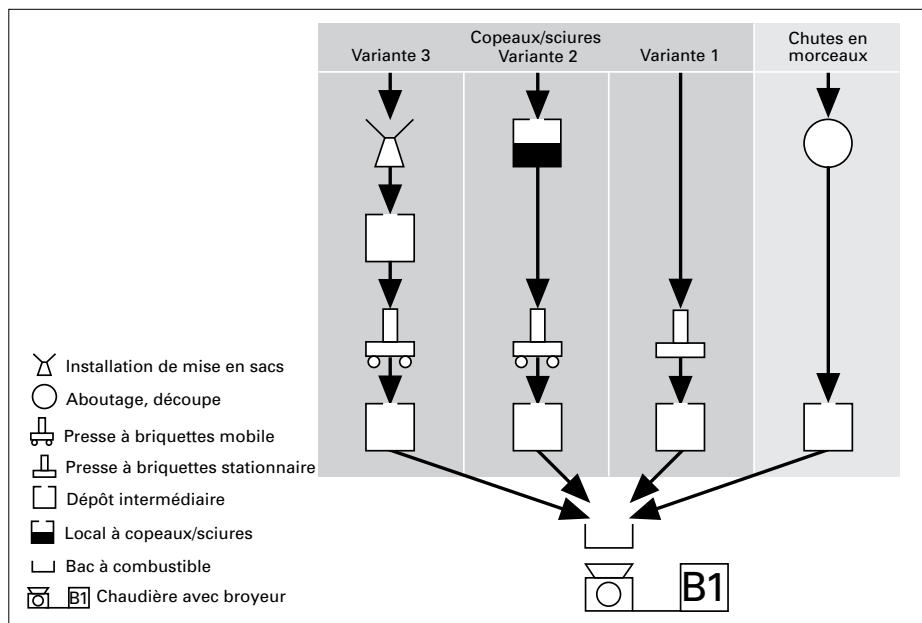
Ce type d'installation convient aux petites entreprises de **charpente** et de **menuiserie**.

Description de l'installation

Les copeaux et sciures produits sont briquetés par une presse stationnaire installée dans l'entreprise. Les briquettes et les chutes en morceaux sont stockées manuellement, soit dans un dépôt intermédiaire, soit directement dans le bac à combustible attendant à la chaudière.

Lorsqu'on utilise une presse à briquettes mobile (qui fait le tour de différentes entreprises), il faut prévoir un lieu pour stocker les copeaux et les sciures. Il n'est toutefois pas nécessaire que le local à copeaux soit spécialement protégé contre les incendies si les copeaux et les sciures sont stockés dans des sacs. Il existe des machines qui facilitent la mise en sacs.

La chaudière est alimentée manuellement, à partir d'un dépôt intermédiaire ou directement de la chaufferie.



La variante B1 est-elle adaptée à l'entreprise ?

Critères préliminaires

Les trois conditions suivantes doivent être remplies :

- Puissance de la chaudière entre 25 et 110 kW.
- Teneur en eau inférieure à 20%.
- Acceptation d'un temps de travail journalier d'une demi-heure à une heure.

Critères supplémentaires

- Avantages :
- Un déchiqueteur n'est pas nécessaire.
 - Un bac à combustible, d'une contenance maximale de 10 m³, est autorisé dans la chaufferie.
 - Le stockage intermédiaire des briquettes et des chutes en morceaux peut être fait dans un simple local. Dans le cas où l'on utilise une presse à briquettes mobile, les coûts du local à copeaux augmentent sensiblement si les copeaux et les sciures ne sont pas stockés en sacs (prescriptions anti-incendie).

- Désavantages :
- Une presse à briquettes est nécessaire : prix entre Fr. 35 000.– et Fr. 45 000.–.
 - Une chaudière à brûleur tunnel coûte entre Fr. 60 000.– et Fr. 90 000.–.
 - Le broyeur, situé devant la chaudière, est bruyant.
 - Les chutes en morceaux doivent être aboutées à une longueur d'environ 30 cm.

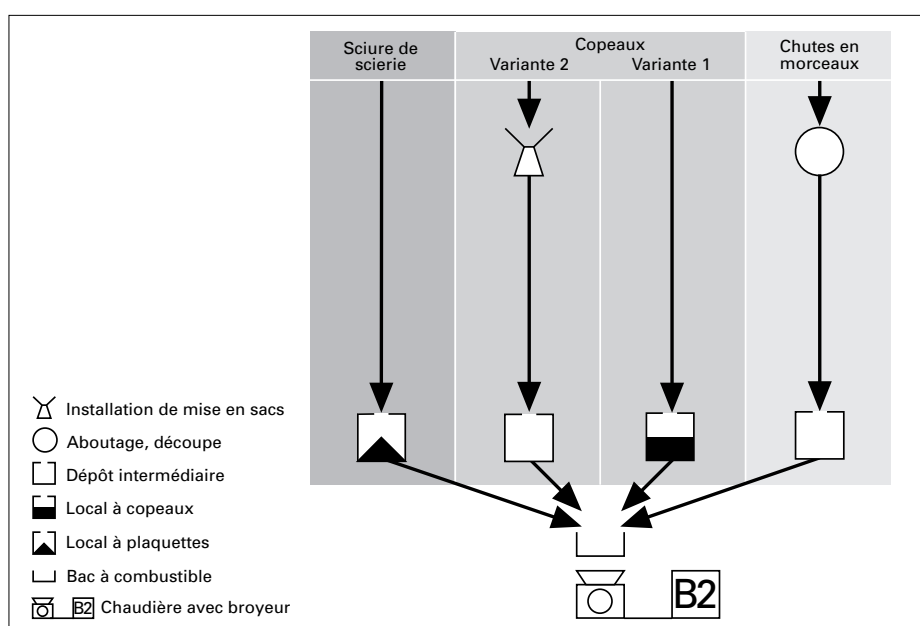
Domaine d'application

Ce type d'installation convient aux entreprises de **menuiserie**, de **charpente** ainsi qu'aux **scieries**.

Description de l'installation

Les copeaux et sciures provenant des menuiseries et charpentes doivent être stockés dans un local à copeaux ou mis en sacs dans un local normal. Les chutes en morceaux peuvent être stockées dans le même lieu. La sciure provenant des scieries est stockée dans un local à plaquettes (humidité plus élevée), un local à copeaux équipé de protections anti-incendie n'est pas nécessaire.

Les restes de bois peuvent être introduits dans le bac à combustible attenant à la chaudière, directement depuis les ateliers ou depuis un stock intermédiaire.

**B2
Installation
semi-automatique****La variante B2 est-elle adaptée à l'entreprise ?***Critères préliminaires*

Les trois conditions suivantes doivent être remplies :

- Puissance de la chaudière entre 30 et 120 kW.
- Teneur en eau inférieure à 45%.
- Acceptation d'un temps de travail journalier d'une demi-heure à une heure.

Critères supplémentaires

Avantages :

- Un déchiqueteur n'est pas nécessaire.
- Une presse à briquettes n'est pas nécessaire.
- Le stockage des chutes en morceaux et des sacs de copeaux peut être fait dans un simple local et les sciures des scieries ne nécessitent qu'un local à plaquettes. Lorsque les copeaux ne sont pas stockés en sacs, les coûts du local sont majorés en raison des prescriptions anti-incendie (local à copeaux).

Désavantages :

- Le volume du bac à combustible attenant à la chaudière n'est que de 1,5 à 3 m³.
- Le coût d'une chaudière automatique acceptant les bois en morceaux se situe entre Fr. 70 000.- et Fr. 90 000.-
- Les chutes en morceaux doivent être aboutées entre 70 et 160 cm de longueur.
- Le broyeur, situé juste avant la chaudière, est bruyant.

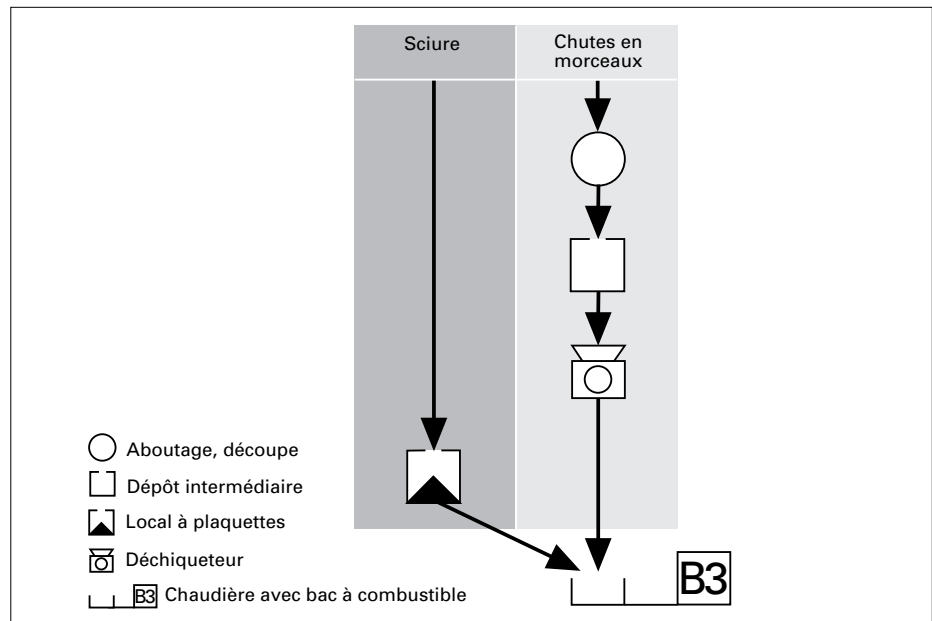
B3
Installation
semi-automatique

Domaine d'application

Scieries ayant de faibles besoins en chaleur et en puissance

Description de l'installation

La sciure produite est stockée dans un local à plaquettes ou acheminée directement vers le bac attenant à la chaudière. Les restes en morceaux (p. ex. couenneaux et délignures) sont stockés avant d'être déchiquetés et acheminés vers le bac à combustible.



L'installation B3 est-elle adaptée à l'entreprise ?

Critères préliminaires

Les trois conditions suivantes doivent être remplies :

- Puissance de la chaudière entre 20 et 120 kW.
- Teneur en eau entre 20% et 45%.
- Acceptation d'un temps de travail journalier d'une demi-heure à une heure.

Critères supplémentaires

- Avantages :
- Une presse à briquettes n'est pas nécessaire.
 - Un bac à combustible de 10 m³ est autorisé.
 - Un stockage simple pour les restes de bois en morceaux et un local à plaquettes pour les sciures sont suffisants.
 - Le coût pour une petite chaudière à plaquettes avec bac à combustible se monte entre Fr. 40 000.- et Fr. 60 000.-.

- Désavantages :
- La valorisation énergétique des restes en morceaux nécessite l'installation d'un déchiqueteur.
 - Les chutes en morceaux doivent être aboutées entre 70 et 160 cm de longueur.

**B5
Installation
semi-automatique**

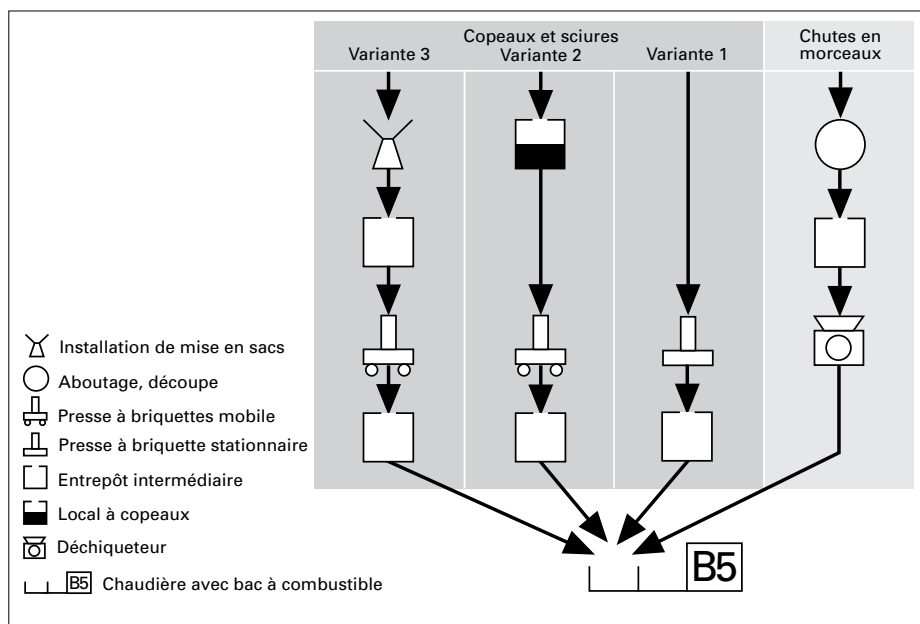
Domaine d'application

Ce type d'installation convient aux petites entreprises de **menuiserie** et de **charpente** qui doivent utiliser des locaux existants pour le stockage des restes de bois, sans toutefois devoir prendre des mesures particulières contre les incendies.

Description de l'installation

Les copeaux et sciures sont briquetés par une presse stationnaire. Les briquettes sont acheminées manuellement ou automatiquement vers un stock intermédiaire. Les restes en morceaux sont également stockés avant d'être déchiquetés et acheminés directement vers le bac à combustible de la chaudière.

Lorsqu'on utilise une presse mobile, les copeaux doivent être préalablement stockés dans un local à copeaux. Le stockage dans un simple entrepôt est toutefois possible s'ils sont conservés dans des sacs (ce qui permet une économie, un local équipé d'une protection anti-incendie n'étant alors plus indispensable). Il existe des machines facilitant la mise en sacs des copeaux.



L'installation B5 est-elle adaptée à l'entreprise ?

Critères préliminaires

Les trois conditions suivantes doivent être remplies :

- Puissance de la chaudière entre 20 et 120 kW.
- Teneur en eau inférieure à 20%.
- Acceptation d'un temps de travail journalier d'une demi-heure à une heure.

Critères supplémentaires

- Avantages:
- Un bac à combustible de 10 m³ est autorisé dans la chaufferie.
 - Le stockage des chutes en morceaux et des sacs de copeaux peut être fait dans un simple entrepôt. (Si les copeaux ne sont pas stockés en sacs, ils doivent être placés dans un local à copeaux protégé contre les incendies).
 - Le coût d'une petite chaudière à plaquettes avec bac à combustible se situe entre Fr. 40 000.- et Fr. 60 000.-.

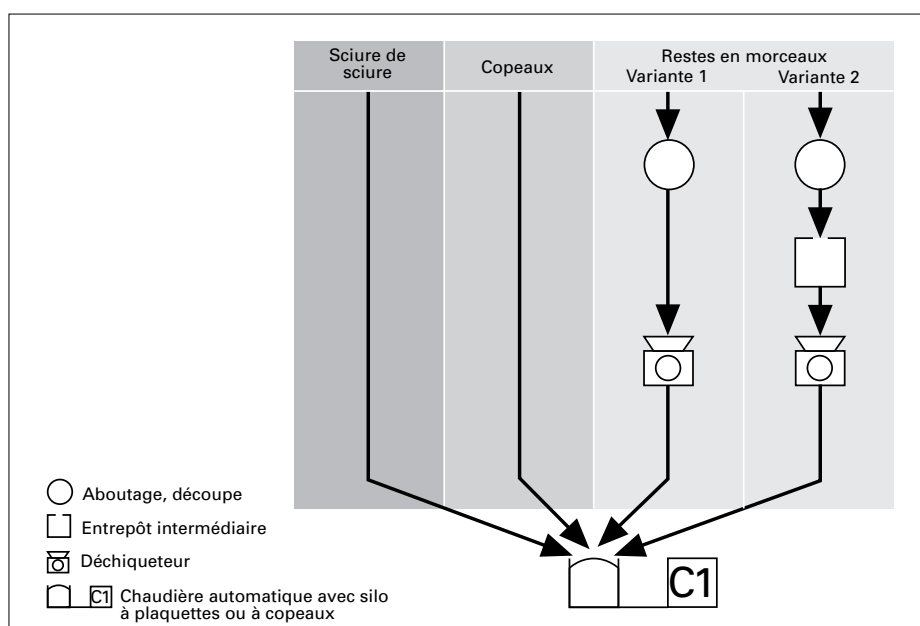
- Désavantages:
- Un déchiqueteur est nécessaire ; prix entre Fr. 40 000.- et Fr. 50 000.-.
 - Une presse à briquettes est nécessaire ; prix entre Fr. 35 000.- et Fr. 45 000.-.
 - Les chutes en morceaux doivent être aboutées entre 70 et 160 cm de longueur.

Domaine d'application

Ce type d'installation convient aux moyennes et grandes entreprises de **menuiserie**, de **charpente** ainsi qu'aux **scieries** qui ont assez de place pour construire un nouveau silo à copeaux ou à plaquettes.

**C1
Installation
automatique****Description de l'installation**

Les copeaux et sciures des ateliers de menuiserie et de charpente sont automatiquement transportés dans un silo à copeaux. La sciure des scieries est généralement conduite dans un silo à plaquettes au moyen d'un chargeur à pneu. Les restes de bois en morceaux sont directement déchiquetés et introduits dans le silo. Le volume de ce dernier peut être réduit s'il est possible d'entreposer les chutes en morceaux avant leur déchiquetage. L'alimentation de la chaudière se fait automatiquement, depuis le silo.

**L'installation C1 est-elle adaptée à l'entreprise ?***Critères préliminaires*

Les quatre conditions suivantes doivent être remplies :

- Puissance de la chaudière supérieure à 50 kW.
- Teneur en eau du combustible inférieure à 45%.
- Place disponible suffisante pour permettre la construction d'un silo à copeaux en hauteur ou d'un silo à plaquettes enterré.
- Acceptation d'un temps de travail journalier d'au maximum une demi-heure.

Critères supplémentaires

Avantages :

- Une presse à briquettes n'est pas nécessaire.
- Le coût d'une chaudière automatique à bois déchiqueté se situe entre Fr. 60 000.- et Fr. 170 000.-.

Désavantages :

- Un déchiqueteur est nécessaire ; prix entre Fr. 40 000.- et Fr. 50 000.-.
- Un silo à copeaux ou à plaquettes est nécessaire. Pour les scieries, le coût spécifique d'un silo à plaquettes enterré se situe entre 500.- et 1000.- Fr./m³. Pour les menuiseries et les charpenteries, un silo à copeaux en hauteur, comprenant la chaufferie, coûte entre 300.- et 500.- Fr./m³.
- Les chutes en morceaux doivent souvent être aboutées entre 70 et 160 cm de longueur. Il existe des déchiqueteurs spéciaux pour les délignures plus longues.

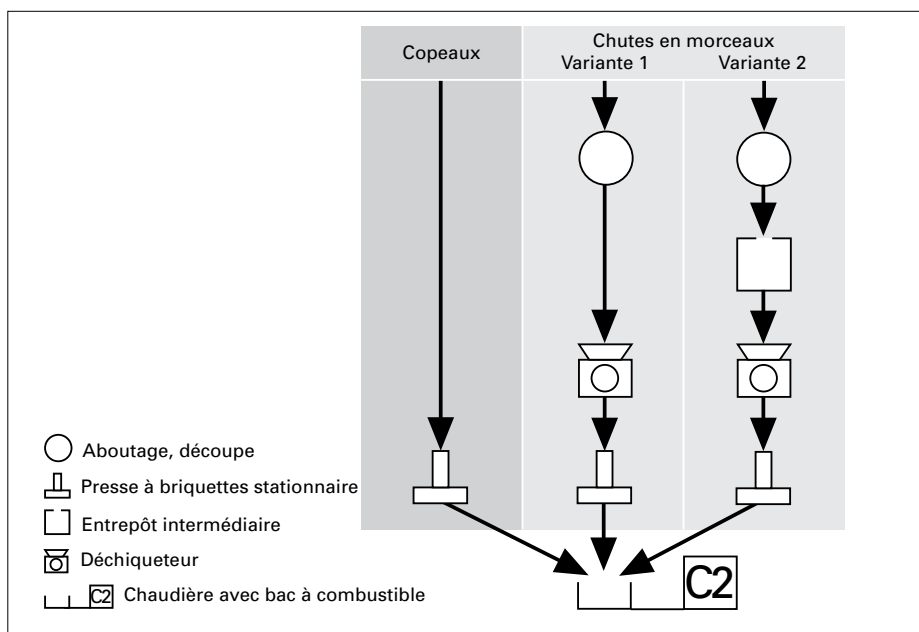
C2 Installation automatique

Domaine d'application

Ce type d'installation convient aux petites entreprises de **menuiserie** et de **charpente** qui doivent utiliser des locaux existants pour le stockage du combustible, sans devoir prendre d'importantes mesures anti-incendie, ni renoncer à un haut degré d'automatisation.

Description de l'installation

Les copeaux sont directement briquetés par une presse stationnaire. Les bûchettes produites sont automatiquement acheminées vers le bac à combustible situé près de la chaudière à bois déchiqueté. Les chutes en morceaux sont déchiquetées, puis briquetées, avant d'être stockées dans le même bac. Lorsque les 10 m³ du bac (volume maximal du combustible admis dans la chaufferie) ne suffisent pas à stocker la production, les restes en morceaux peuvent, avant leur déchiquetage, être stockés dans un local quelconque. La petite chaudière à bois déchiqueté est automatiquement alimentée depuis le bac à combustible.



L'installation C2 est-elle adaptée à l'entreprise ?

Critères préliminaires

Les trois conditions suivantes doivent être remplies :

- Puissance de la chaudière entre 20 et 70 kW.
- Teneur en eau du combustible inférieure à 20%.
- Acceptation d'un temps de travail journalier d'une demi-heure au maximum.

Critères supplémentaires

Avantages :

- Un entrepôt pour les chutes en morceaux et un bac à combustible d'un volume maximal de 10 m³, situé dans la chaufferie, sont suffisants.
- Le coût d'une petite chaudière automatique au bois déchiqueté se situe entre Fr. 40 000.- et Fr. 55 000.- (y compris le bac de 10 m³).

Désavantages :

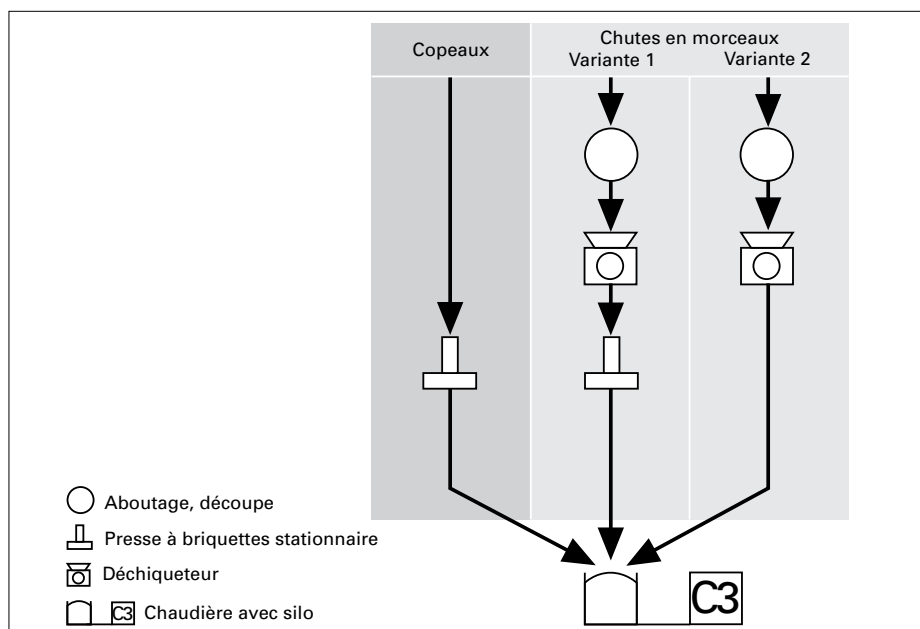
- Une presse à briquettes est nécessaire ; prix entre Fr. 35 000.- et Fr. 45 000.-.
- Un déchiqueteur est nécessaire ; prix entre Fr. 45 000.- et Fr. 50 000.-.
- Les restes en morceaux doivent être aboutés entre 70 et 160 cm.

Domaine d'application

Ce type d'installation convient aux moyennes et grandes entreprises de **menuiserie** et de **charpente** qui doivent utiliser des locaux en sous-sol pour le stockage des restes de bois.

Description de l'installation

Les copeaux sont directement briquetés par une presse stationnaire, puis automatiquement transportés vers un silo à plaquettes. Les chutes en morceaux doivent être déchiquetées avant d'être introduites automatiquement dans le silo. Lorsque la place disponible pour le silo est très réduite, les restes déchiquetés peuvent être briquetés. La chaudière est automatiquement alimentée en briquettes et en plaquettes à partir du silo.

**C3
Installation
automatique****L'installation C3 est-elle adaptée à l'entreprise ?***Critères préliminaires*

Les quatre conditions suivantes doivent être remplies :

- Puissance de la chaudière supérieure à 50 kW.
- Teneur en eau du combustible inférieure à 20%.
- Pas de place disponible pour un silo à copeaux en hauteur.
- Acceptation d'un temps de travail journalier d'une demi-heure.

Critères supplémentaires

Avantages :

- Un silo à plaquettes est suffisant ; le coût spécifique de la transformation d'une cave se situe entre 500.- et 700.- Fr./m³.
- Le coût d'une chaudière automatique à bois déchiqueté se situe entre Fr. 60 000.- et Fr. 170 000.-.

Désavantages :

- Une presse à briquettes est nécessaire ; prix entre Fr. 34 000.- et Fr. 45 000.-.
- Un déchiqueteur est nécessaire ; prix entre Fr. 40 000.- et Fr. 50 000.-.
- Les chutes en morceaux doivent être aboutées entre 70 et 160 cm de longueur.

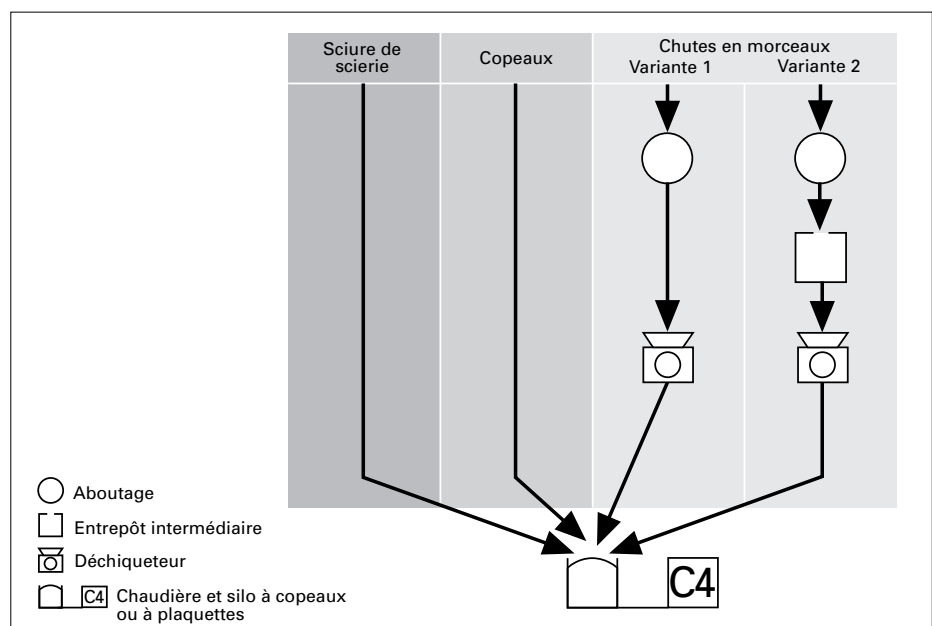
C4
Installation
automatique

Domaine d'application

Ce type d'installation convient aux grandes et moyennes entreprises de **menuiserie** et aux **scieries** qui doivent brûler des bois riches en cendres, comme les panneaux à forte teneur en matériaux inertes (ballast minéral, etc.) ou des bois avec beaucoup d'écorce.

Description de l'installation

Les copeaux des menuiseries sont automatiquement conduits dans un silo à copeaux, les sciures des scieries sont acheminées vers un silo à plaquettes. Après déchiquetage, les restes en morceaux sont également stockés dans le silo. Le volume du silo peut être réduit quand les chutes en morceaux sont stockées avant leur déchiquetage. Le foyer à grille est alimenté automatiquement depuis le silo.



L'installation C4 est-elle adaptée à l'entreprise ?

Critères préliminaires

Les quatre conditions suivantes doivent être remplies :

- Puissance de la chaudière supérieure à 150 kW.
- Teneur en eau du combustible inférieure à 60%.
- Combustion de bois riche en cendres.
- Acceptation d'un temps de travail journalier d'une demi-heure.

Critères supplémentaires

- Avantages :
- C'est la seule solution pour brûler des restes de bois riches en cendres.
 - Une presse à briquettes n'est pas nécessaire.

- Désavantages :
- Un déchiqueteur est nécessaire ; prix : entre Fr. 40 000.– et Fr. 50 000.–.
 - Un silo à copeaux ou à plaquettes est nécessaire. Pour les scieries, les coûts spécifiques d'un silo à plaquettes enterré se situent entre 500.– et 1000.– Fr./m³. Pour les menuiseries et les charpenteries, un silo à copeaux en hauteur, comprenant la chaufferie, coûte entre 300.– et 500.– Fr./m³.
 - Le coût d'une chaudière avec foyer à grille se situe entre Fr. 100 000.– et Fr. 200 000.–.
 - Un déchiqueteur est nécessaire ; prix entre Fr. 40 000.– et Fr. 50 000.–.
 - Les chutes en morceaux doivent généralement être généralement être aboutées entre 70 et 160 cm de longueur. Il existe des déchiqueteurs spéciaux pour les délignures de plus grande longueur.

4.3 Relations contractuelles avec le fournisseur d'une installation

Le respect des prescriptions de l'OPair ne peut être contrôlé qu'après la mise en service de l'installation de chauffage. Le contrat d'achat d'une telle installation doit donc contenir une clause de garantie engageant la responsabilité du fournisseur quant au respect de l'OPair.

Afin d'éviter des malentendus et de limiter les possibilités de détournement de la garantie, il convient de définir clairement les points suivants :

1. Le type de combustible prévu sera décrit avec précision. Il varie énormément d'une entreprise à l'autre et influence très fortement le comportement d'une chaudière.
2. Lorsque tous les éléments du système de chauffage ne proviennent pas du même fournisseur, les responsabilités de chaque partie doivent être clairement définies.
3. La garantie définie dans le contrat doit contenir une clause de sanction en cas de non-respect de l'OPair. En règle générale, on procède à une retenue de paiement qui est libérée au moment où le contrôle des émissions est concluant.

Description des types de combustibles prévu

Matériaux

- Bois massif, 100% naturel
- Panneaux de particules et de fibres, MDF, etc.
- Traitements de surface : mélamine, placages, etc.

Provenance

- Sciage, rabotage, ponçage, fraisage, etc.

Teneur moyenne en eau, variations

Granulométrie

- Grandeur des plaquettes ou copeaux et/ou morceaux
- Proportion de matériel fin (poussières) en %

Opérations pouvant relever de la responsabilité de différents fournisseurs

- Préparation, transport et stockage du combustible
- Production de chaleur
- Traitement des gaz de fumées
- Gestion et distribution de la chaleur

5. Que prescrit la loi ?

5.1 Ordonnance sur la protection de l'air (OPair)

L'Ordonnance sur la protection de l'air définit les limites d'émissions autorisées ainsi que les concentrations maximales de polluants tolérées dans l'atmosphère. Les entreprises de transformation du bois sont concernées par cette ordonnance car elle contient plusieurs prescriptions relatives à la classification des restes de bois et à la limitation des émissions issues de leur combustion.

L'OPair a été instaurée en 1985, sur la base de la Loi sur la protection de l'environnement de 1983. Elle a été modifiée le 20 novembre 1991 ; la nouvelle version est en vigueur depuis le 1^{er} février 1992.

Classification des restes de bois

L'OPair définit plusieurs catégories de restes de bois et stipule les limites des émissions issues de leur combustion.

En résumé, il convient de retenir que l'OPair considère les restes de bois des entreprises de transformation du bois (y compris les panneaux et les bois peints) comme du bois de chauffage. Ces bois sont donc destinés à une valorisation énergétique. Seules deux exceptions sont faites, elles concernent :

1. Les restes de bois contenant du **PVC** (par exemple chants de portes, surfaces pour cuisines, etc.)
2. **Les bois imprégnés** sous pression ou **traités intensivement** avec des produits de préservation (traverses de chemin de fer, poteaux de téléphone, clôtures, etc.)

Ces bois ne sont plus considérés comme bois de chauffage et doivent être incinérés dans un centre pour ordures ménagères.

Les restes de bois à l'état naturel (c'est-à-dire 100 % massif, sans aucun traitement, colle, peinture ou placage) sont soumis aux mêmes prescriptions que les bois frais provenant de la forêt.

Par contre, une meilleure combustion est exigée pour les restes de bois contenant des panneaux, des restes de mélamine, etc. Cette exigence plus sévère est particulièrement contraignante pour les installations de faible puissance.

Les mélanges de deux catégories de bois doivent obligatoirement respecter les exigences les plus sévères applicables à l'une ou l'autre des catégories. Un tri des restes de bois peut donc, dans certains cas, s'avérer intéressant.

Les bois de récupération, issus de démolitions, rénovations et transformations, ainsi que les objets usagés en bois comme les meubles et les emballages, ne peuvent être brûlés que dans des installations spécialement conçues à cet effet ou dans des unités d'incinération des ordures ménagères.

Bois de chauffage à l'état naturel

- Bois en provenance directe de la forêt, sous forme de bûches, rondins et plaquettes.
- Restes de bois à l'état naturel
 - tombants d'aboutage de bois massif
 - couenneaux et délignures
 - copeaux de rabotage
 - sciures et poussières de ponçage issues de bois massif
 - plaquettes de restes de bois massif

Bois de chauffage n'étant pas à l'état naturel (restes de bois des entreprises, selon l'OPair)

- Restes de la transformation de panneaux dérivés du bois
 - panneaux de particules et de fibres
 - panneaux MDF
 - panneaux contre-plaqués
- Restes de bois surfacés (sans PVC)
 - placages
 - revêtements de mélamine
- Restes de bois peints, lazurés
- Restes de bois provenant des chantiers (travaux de montage)
 - coffrages, échafaudages
 - restes de montage (menuiserie d'intérieur, agencements)

Bois de récupération

- Bois en provenance de démolitions et rénovations
 - lambris, poutres, fenêtres, portes, etc.
 - aménagements fixes
- Objets usagés en bois
 - meubles usagés
 - emballages usagés
 - palettes usagées
 - etc.

Ne font pas partie des bois de récupération :

- Les bois revêtus de PVC, contenant des produits d'imprégnation ou du pentachlorophénol. Ces mélanges doivent être incinérés avec les ordures ménagères, dans des installations spécialisées.

Prescriptions concernant les émissions

L'OPair fixe des limites aux émissions de certaines substances dégagées par la combustion des bois de chauffage tels qu'ils sont définis plus haut. Ces limites concernent le monoxyde de carbone (CO), les poussières et les oxydes d'azote (NO_x). Les prescriptions dépendent de la grandeur des installations (puissance thermique).

Teneur maximale en poussières (particules solides)

Pour les installations entre 70 kW et 5 MW, la teneur maximale en gaz de fumées est fixée à 150 mg/m³. Aucune limitation n'est fixée pour les installations de moins de 70 kW, alors que celles de plus 5 MW ne doivent pas dépasser 50 mg de poussières par m³ de gaz de fumées.

Teneur maximale en monoxyde de carbone

La limite d'émissions concernant le monoxyde de carbone (indicateur de la qualité de la combustion) dépend fortement de la puissance de l'installation : les prescriptions relatives à la combustion des bois de chauffage n'étant pas

à l'état naturel (ce qui correspond aux restes de bois des entreprises du bois) sont plus sévères que celles applicables aux bois à l'état naturel. Cette différence est particulièrement sensible pour les installations de moins de 200 kW.

Teneur maximale en oxydes d'azote

Cette limitation n'est effective que pour des installations d'une puissance dépassant 1,5 MW (4 MW pour les bois à l'état naturel).

Mesure des émissions

L'application de l'OPair est déléguée aux cantons qui désignent les personnes autorisées à effectuer les mesures de contrôle.

La mesure des gaz de fumées est obligatoire et ne peut pas être refusée. Le détenteur doit rendre l'installation accessible, de telle sorte que les mesures puissent être effectuées selon les prescriptions correspondantes. Une mesure est faite lors de la première mise en service, ou après l'assainissement d'une installation; elle est répétée périodiquement. Une mesure peut être ordonnée en cas de soupçon de non-respect des limites.

Une installation ne respectant pas les limites d'émissions doit être assainie ou mise hors service. L'autorité compétente fixe le délai d'assainissement en fonction de la situation présente (degré de dépassement des normes et ampleur des investissements nécessaires). Le délai habituel est de 5 ans.

Nota:

Les prescriptions en vigueur pour la combustion des bois de chauffage (auxquels appartiennent les restes de la transformation du bois) sont présentés à l'annexe A6.

Installations à chargement manuel

Les installations à chargement manuel d'une puissance inférieure ou égale à 40 kW, ainsi que les cheminées, ne peuvent brûler que des bois en morceaux à l'état naturel. La combustion de restes de bois n'étant pas à l'état naturel (par exemple panneaux) n'y est donc pas autorisée, pas plus que celle des plaquettes, copeaux, sciures et poussières (même s'ils ne contiennent que du bois naturel).

Ces installations doivent être en mesure de respecter les prescriptions, même si elles fonctionnent à puissance réduite. Dans le cas contraire, les nouvelles installations doivent être équipées d'un accumulateur de chaleur capable de stocker au moins la moitié de la chaleur produite par une charge de combustible.

Les briquettes de bois

Les briquettes de bois exemptes de liant, faites avec des bois et des restes de bois à l'état naturel, sont considérées comme bois de chauffage en morceaux et peuvent donc être utilisées sans restriction.

Les briquettes de bois exemptes de liant mais fabriquées avec des restes de bois n'étant pas à l'état naturel (contenant par exemple des restes de panneaux ou autres dérivés du bois) ne peuvent être utilisées que dans des installations automatiques et dans des chaudières à chargement manuel de plus de 40 kW. Leur combustion est donc interdite dans les fourneaux d'appartement et les cheminées.

Mesure des gaz de fumées pour les installations de moins de 70 kW

L'autorité compétente peut renoncer à mesurer les installations de moins de 70 kW qui sont alimentées exclusivement avec du bois naturel et qui sont utilisées selon les indications du fabricant.

Une mesure des gaz de fumées sera par contre toujours effectuée lorsque les installations brûlent des restes de bois n'étant pas à l'état naturel, comme les panneaux et autres dérivés du bois.

Cas spéciaux

L'autorité compétente peut demander la mesure continue et l'enregistrement des polluants issus d'installations dont les émissions sont particulièrement importantes pour leur environnement (il s'agit principalement d'installations de grande taille ou brûlant des combustibles spéciaux).

Définition des bois de chauffage selon l'OPair 92, annexe 5 chiffre 3

Sont réputés bois de chauffage

- a. Le bois à l'état naturel et en morceaux, y compris son écorce, par exemple les bûches et les briquettes de bois sans liants, ainsi que les brindilles et les pives ;
- b. Le bois à l'état naturel sous une autre forme qu'en morceaux, par exemple le bois déchiqueté, les copeaux, la sciure, la poussière d'une ponceuse, les écorces ;
- c. Les résidus de l'industrie du bois, de son artisanat et des chantiers, dans la mesure où le bois n'est pas imprégné d'un enduit ni recouvert d'un revêtement renfermant des composés organo-halogénés.

Ne sont pas réputés bois de chauffage

- a. Le bois usagé issu de la démolition, de la transformation ou de la rénovation de bâtiments ou provenant d'emballages, les vieux meubles et les mélanges de bois usagé et de bois de chauffage au sens du 1^{er} alinéa ;
- b. Les autres substances en bois telles que :
 - 1. Le bois usagé ou les déchets de bois imprégnés, enduits de produits de conservation ou qui présentent un revêtement renfermant des composés organo-halogénés ;
 - 2. Les déchets de bois usagé ayant été traités intensivement avec des produits de conservation du bois comme le pentachlorophénol ;
 - 3. Les mélanges de tels déchets avec du bois de chauffage au sens du 1^{er} alinéa ou du bois usagé selon la lettre a.

5.2 Ordonnance sur le traitement des déchets (OTD)

L'Ordonnance sur le traitement des déchets réglemente le traitement des déchets et veille à leur diminution par leur valorisation ou par leur destruction.

L'obligation de valoriser les déchets est un des principes de base de l'OTD. Ce principe doit être appliqué dans tous les cas où la technique le permet et où les coûts sont supportables. Les restes de bois des entreprises de transformation du bois doivent donc être valorisés en tant que matière première (par exemple pour les panneaux de particules) ou comme combustible de chauffage. Une combustion sans récupération et utilisation de la chaleur ne peut être envisagée que si aucune autre solution n'est techniquement ou financièrement possible.

Un autre principe interdit un mélange des déchets qui aurait pour but de diminuer la concentration des polluants. Le mélange de classes de déchets différentes doit respecter les prescriptions de la classe la plus sévère.

L'application des deux principes énoncés ci-dessus implique la quasi-obligation de trier le bois des autres déchets.

Le mélange de déchets est interdit lorsqu'il a pour but de diluer les concentrations de polluants qu'ils contiennent.

Le mélange de déchets appartenant à des classes différentes doit respecter les prescriptions valables pour la classe la plus sévère.

Le bois et les déchets de bois ne peuvent pas être mis en décharge. Il est néanmoins possible, à titre exceptionnel, de les mettre en décharge bio-active (pour déchets ménagers) lorsqu'aucune installation de valorisation ni aucune centrale d'incinération des ordures ménagères n'est à disposition.

6. Une combustion des restes de bois respectueuse de l'environnement

6.1 Le processus de combustion du bois

Le bois est un combustible à flamme longue. Au cours de son échauffement dans le foyer, il est transformé en gaz et en charbon de bois. Au contact de l'air de combustion, les gaz prennent feu et forment une longue flamme. En revanche, le charbon de bois, qui forme les braises, se consume lentement et ne forme que peu de flammes.

Le bois est un combustible solide riche en gaz. Les gaz libérés lors de l'échauffement constituent, suivant les essences, entre 80 % et 90 % du poids du bois. Les gaz combustibles issus du bois sont le monoxyde de carbone, l'hydrogène et des hydrocarbures. Ces gaz doivent être brûlés dans le foyer afin de ne pas être rejetés dans l'atmosphère où ils ont une action polluante.

La combustion du bois commence par un dégazage du combustible et se poursuit par la combustion des gaz dégagés. On parle donc d'un processus en deux phases : la première étant la production des gaz et la deuxième étant leur combustion.

Les polluants émis par la combustion du bois peuvent être classés comme suit :

- les polluants issus d'une combustion incomplète : monoxyde de carbone (CO), hydrocarbures (HC), goudrons et suie ;
- les polluants issus d'une combustion complète : dioxyde de carbone (CO₂), oxydes d'azote (NO_x) et poussières de cendres.

Lorsque les émissions de monoxyde de carbone sont basses, celles des autres polluants, comme les hydrocarbures, les goudrons et la suie le sont aussi. Les émissions de monoxyde de carbone peuvent ainsi être utilisées comme indicateur de la qualité de la combustion. C'est pour cette raison que l'OPair prescrit également des limites d'émission de CO pour les petites installations. Une limite pour les hydrocarbures n'est par contre fixée qu'à partir d'une puissance de 1 MW.

Les polluants issus de la combustion du bois

Le bois comme combustible

Le bois est un combustible à flamme longue et riche en gaz. La combustion du bois se déroule en deux étapes :

1. dégazage du bois et formation de charbon de bois ;
2. combustion des gaz (chambre de combustion) et combustion du charbon de bois (lit de braises).

Figure 6.1:
Le comportement du bois lors de son échauffement.

Les 85 % du poids environ sont libérés sous forme de gaz.

Seuls les 15% du poids du bois brûlent sous forme de charbon de bois.

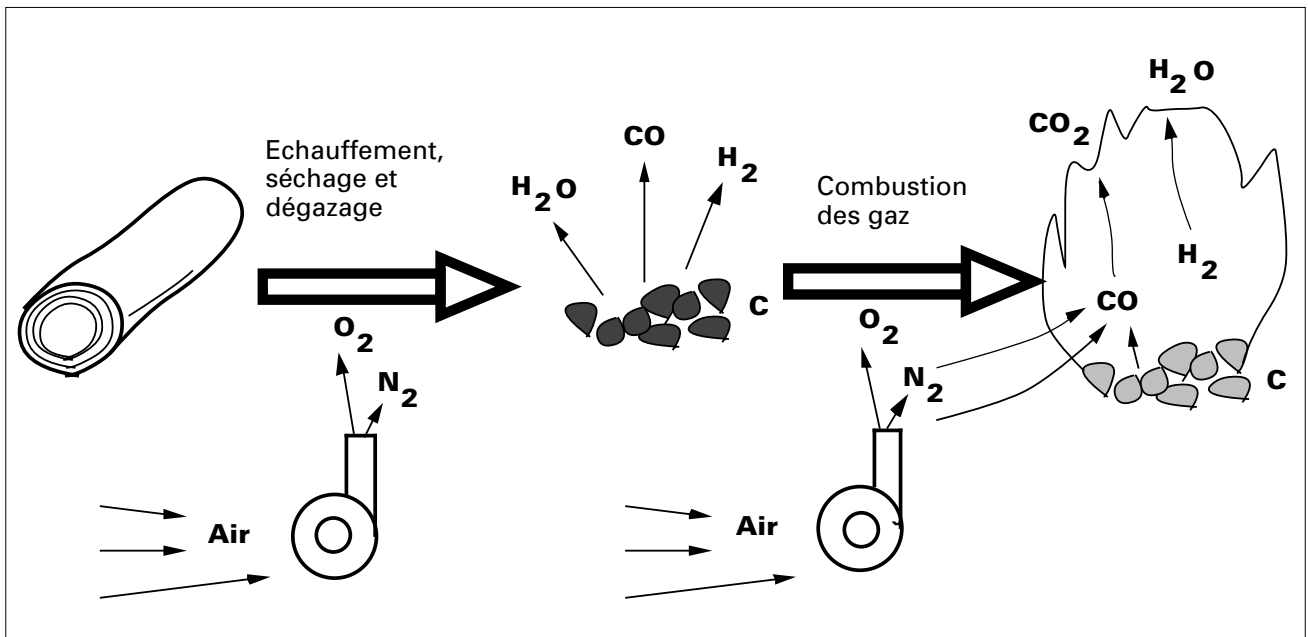
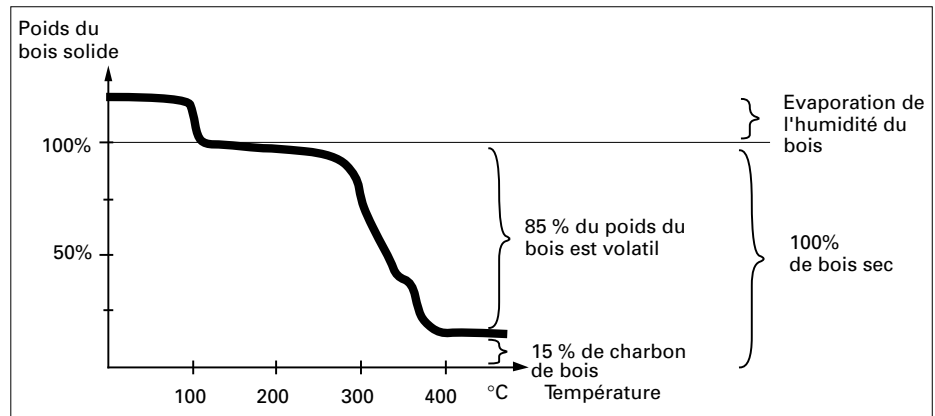


Figure 6.2:
Les deux phases de la combustion du bois:

1. Échauffement, séchage et dégazage
2. Combustion des gaz et du charbon de bois

Les polluants provenant d'une combustion incomplète: monoxyde de carbone (CO), hydrocarbures (HC), goudrons et suie.

Afin de garantir une bonne combustion et un minimum d'émission de CO, HC, goudrons et suie lors de la combustion du bois, on veillera au respect des conditions suivantes:

- La longue flamme du bois nécessite une grande chambre de combustion.
- L'air est séparé en air primaire et en air secondaire afin de respecter les deux phases de la combustion du bois. L'air primaire sert au dégazage et à la combustion du charbon de bois alors que l'air secondaire assure la combustion des gaz.
- L'air secondaire doit être bien mélangé aux gaz afin d'assurer une combustion optimale.

- Une combustion complète nécessite une température d'au moins 800°C. Cela signifie que la flamme ne doit pas être refroidie (par exemple par des parois froides), qu'il faut une grande chambre de combustion, que l'humidité du bois soit adaptée et que la combustion doit se dérouler dans un mélange air-combustible optimal.

Le rapport air/combustible est représenté par l'excédent d'air lambda (λ)

$$\lambda = \frac{\text{volume d'air amené}}{\text{volume d'air nécessaire à une combustion stœchiométrique}}$$

Une combustion complète nécessite un lambda > 1. Cela permet d'éviter que certaines zones de combustion ne manquent d'air (en raison du mélange imparfait entre les gaz combustibles et l'air comburant). Si l'excédent d'air est trop élevé ($\lambda > 2... 3$), la flamme est refroidie par de l'air inutilisé, ce qui provoque une combustion incomplète. Pour les foyers de construction modernes, l'excédent d'air optimal se situe entre 1,5 et 2,0.

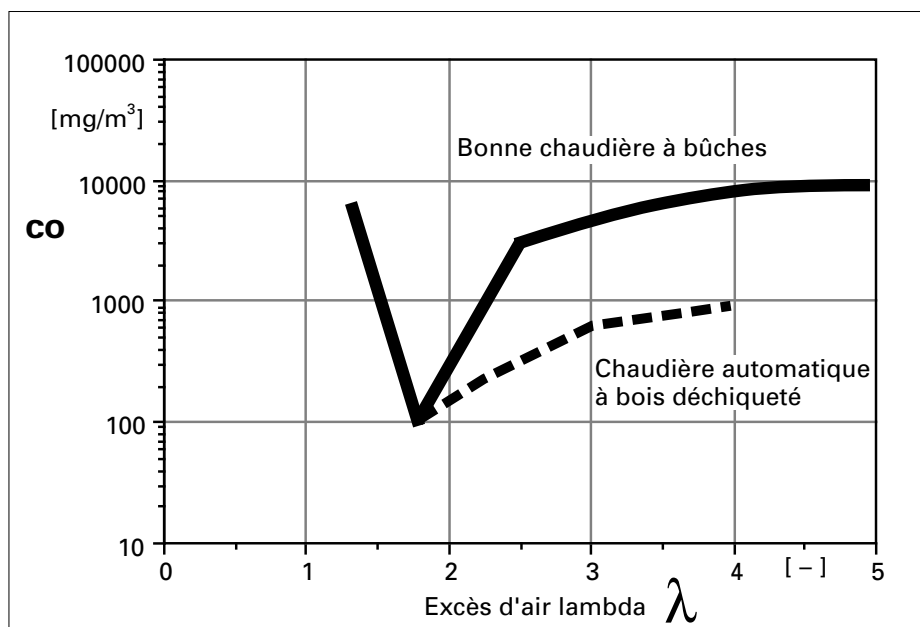


Figure 6.3:
Emission de monoxyde de carbone en relation avec l'excédent d'air

Polluants provenant d'une combustion complète : oxydes d'azote (NO_x), dioxyde de carbone (CO₂), cendres, poussières

Oxydes d'azote (NO_x)

Le bois contient de petites quantités d'azote qui sont en partie libérées sous forme d'oxyde d'azote au cours de la combustion. L'émission d'oxyde d'azote par les chauffages à bois n'a donc pas encore pu être évitée.

Dioxyde de carbone (CO₂)

Le CO₂ est le produit normal de la combustion complète. Il peut, par l'effet de serre, provoquer un réchauffement global de la terre. La combustion du bois, constamment régénéré par la forêt, n'engendre cependant pas une augmentation de la concentration de CO₂ dans l'atmosphère car ce dernier est directement réutilisé par la prochaine génération d'arbres. Ce fonctionnement en circuit fermé n'étant par contre pas valable pour les combustibles fossiles, leur consommation doit être réduite le plus possible.

Cendres

Les cendres, résidu normal de la combustion, ne doivent pas arriver dans les gaz de fumées sous peine de constituer une émission de poussières. Les ins-

tallations d'une certaine puissance sont équipées de dispositifs de retenue. Les cendres de bois naturel peuvent être utilisées comme engrais agricole. En revanche, les cendres issues de la combustion de restes de bois n'étant pas à l'état naturel, ou de bois de récupération, doivent être évacuées avec les déchets.

Poussières

Les poussières englobent les particules de goudron et de suie. Leur émission peut être évitée grâce à une combustion complète. Des particules de cendres peuvent cependant être emportées par les effluents gazeux et venir augmenter les émissions de poussières. Les cendres doivent donc être retenues dans le foyer (par exemple par la grille de certains foyers à bûches) ou récupérées après (par exemple par un système de cyclones ou de filtres). Les combustibles contaminés peuvent produire des poussières contenant des métaux lourds et d'autres polluants qui nécessitent des systèmes de dépoussiérage des fumées performants.

6.2 Les polluants provenant de la combustion des restes de bois

Lorsque le combustible renferme des substances étrangères au bois telles que peintures, laques, produits de conservation du bois ou autres, les gaz de fumées peuvent contenir des polluants tels que le chlore ou des métaux lourds. Ces polluants sont beaucoup plus nocifs que le monoxyde de carbone et les particules de cendres qui sont produits par la combustion du bois naturel. Les panneaux dérivés du bois pouvant contenir des colles et des liants renfermant de l'azote (p. ex. à base d'urée), leur combustion peut provoquer une élévation des émissions d'oxyde d'azote. Les principaux polluants issus de la combustion des restes de bois sont : le plomb, le zinc, le cadmium, les oxydes d'azote, les composés chlorés et fluorés. Les poussières peuvent aussi contenir des particules de goudron, de suie et des cendres, ainsi que du plomb, du zinc et du cadmium.

Conséquences pour la valorisation des restes de bois

Les installations destinées aux restes de bois ne peuvent brûler que des restes de bois ne contenant que de très faibles quantités de chlore ou de métaux lourds. La combustion des bois de récupération (de démolition, rénovation) y est strictement interdite car ces derniers contiennent des polluants nécessitant un traitement des fumées adapté, et dont seules les installations destinées aux bois de récupération sont équipées. Quant aux bois revêtus de PVC et aux objets imprégnés (comme les poteaux téléphoniques, les traverses de chemin de fer ou les barrières de jardin), ces deux types de bois ne peuvent même pas être brûlés dans des installations destinées aux bois de récupération ; ils doivent obligatoirement être acheminés vers une centrale d'incinération des ordures ménagères.

Les exigences posées aux systèmes de traitement des fumées (des installations de combustion destinées aux restes de bois) dépendent de la composition du combustible, et de la grandeur de l'installation. Les cas suivants imposent des exigences particulières :

- Restes de bois riches en azote (N)

Lorsque les émissions d'oxydes d'azote (NO_x) dépassent 2,5 kg/h, la limite de 250 mg/m³ doit être respectée. Dans le cas d'une émission de NO_x de 500 mg/m³ (typique pour la combustion de restes de bois), la limitation

doit être respectée dès que l'installation atteint une puissance de 2,5 MW. Si les installations plus petites ne sont généralement pas inquiétées, les installations plus puissantes devront par contre respecter la limite des 250 mg/m³ et traiter leurs fumées.

Conséquence :

Obligation de procéder à la dénitrification des fumées (chapitre 6.5)

- Présence de chlorure d'ammonium ou de combinaisons à base de chlore ou d'azote dans le combustible.

Le chlore n'étant que très faiblement présent dans le bois à l'état naturel, la combustion de ce dernier ne provoque pratiquement aucune émission de chlore. Le chlore est par contre un composant important du PVC ; c'est pour cette raison que les bois et panneaux revêtus de PVC ne peuvent pas être brûlés avec les restes conventionnels.

Certains types de panneaux contiennent cependant du chlore ; leur combustion peut provoquer l'émission de chlorure d'ammonium (NH₄CL) qui est formé par la réaction entre l'azote (N) du bois, le chlore et les composants des colles. Le chlorure d'ammonium est également présent dans certains restes de bois (par exemple comme durcisseur dans le cas de panneaux MDF). Une forte concentration de chlorure d'ammonium dans les gaz de fumées peut provoquer un dépassement des limites d'émissions de poussières autorisées. En outre, le chlorure d'ammonium peut, lors du démarrage ou de l'arrêt du chauffage, obstruer les filtres textiles ou céramiques par cristallisation.

Conséquences :

Nécessité de procéder à l'élimination du chlore dans les gaz de fumées grâce à l'installation de filtres textiles ou par injection de chaux. L'obstruction des filtres, lors de l'allumage du chauffage sera, par exemple, évitée par le chauffage électrique du filtre.

Mieux encore :

Eviter la présence de chlore et de ses liaisons dans le combustible en utilisant des produits de substitution, par exemple des durcisseurs à base de sulfate d'ammonium.

6.3 La conception des foyers modernes

Conditions pour une bonne combustion

Pour obtenir une bonne combustion, il faut que les gaz combustibles puissent brûler intégralement, à haute température. Pour cela le foyer sera suffisamment grand et la température des flammes ne sera pas diminuée par des parois refroidies. Afin de garantir une température élevée, on veillera que le mélange air-combustible soit correct, c'est-à-dire que l'installation ménage un excédent d'air optimal. L'utilisation de combustibles humides a tendance à faire baisser la température dans le foyer ; ils ne doivent donc être brûlés que dans des installations spécialement conçues.

La séparation des deux phases de la combustion (dégazage du bois et combustion des gaz), dans deux zones distinctes du foyer, assure des conditions optimales. De l'air primaire est introduit au niveau des braises pour permettre le dégazage. L'air secondaire est ensuite mélangé aux gaz de bois de manière à produire une longue flamme assurant une combustion intégrale du combustible.

**Caractéristiques
d'une bonne installation
de combustion**

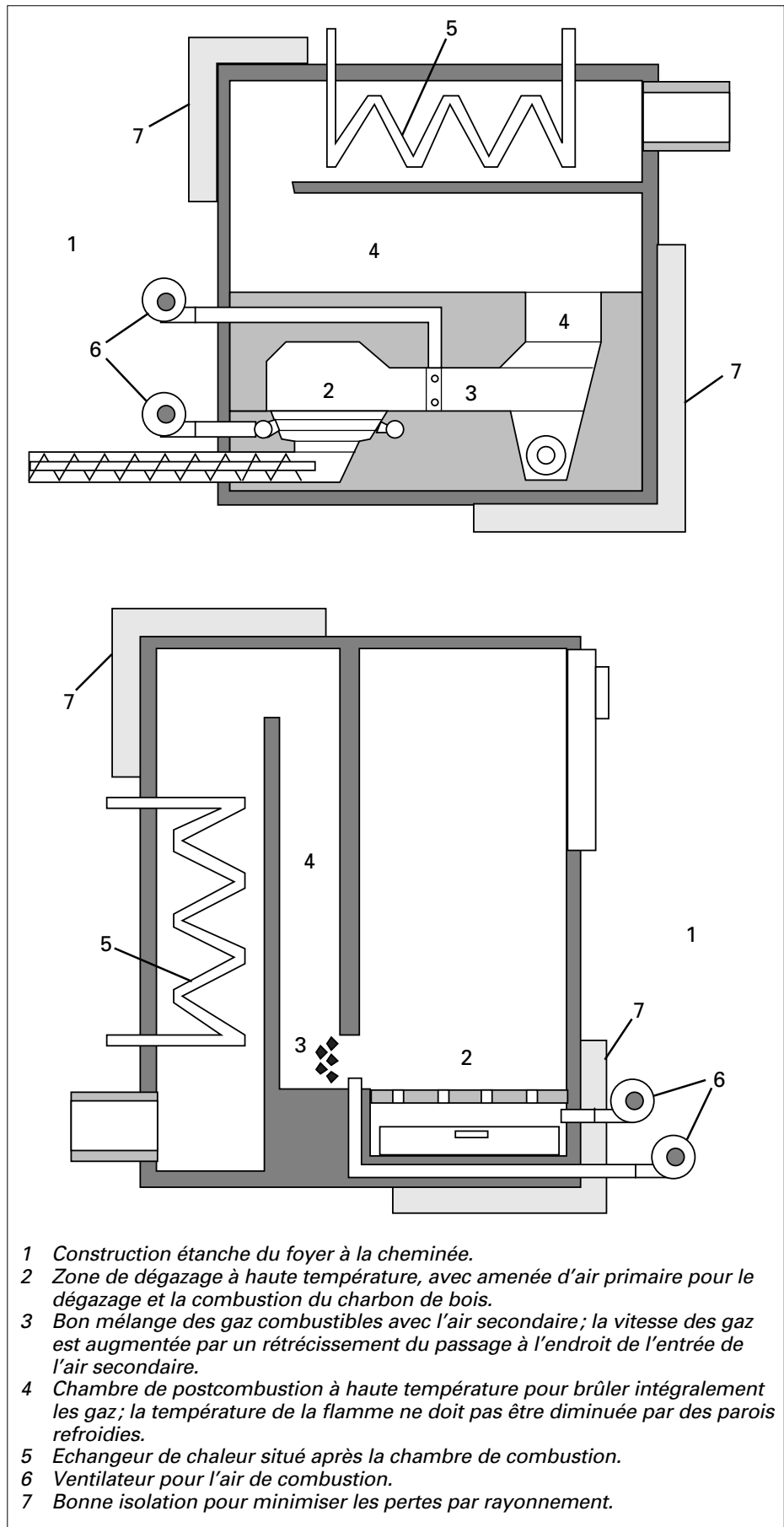


Figure 6.4

6.4 L'utilisation et la régulation des chaudières aux restes de bois

Une exploitation assurant des émissions minimales est possible lorsque la combustion reste dans une phase stable. L'humidité et la granulométrie du combustible seront adaptées à l'installation et la régulation garantira des quantités d'air optimales pour la combustion. En résumé, les conditions d'une bonne combustion sont les suivantes :

- bonne intégration de la chaudière dans le système de chauffage en vue d'une exploitation stable (éviter le surdimensionnement) ;
- régulation de la puissance ou accumulateur de chaleur afin de permettre une exploitation constante. Les accumulateurs de chaleur sont obligatoires pour les chaudières à bûches qui ne sont pas équipées de régulation de la puissance ;
- utilisation d'un combustible adapté (humidité, grosseur) ;
- régulation de la combustion garantissant un rapport air/combustible optimal.

Régulation de la dépression

La régulation de la dépression sert à assurer une dépression constante dans le foyer et empêche l'échappement de gaz combustibles et toxiques dans la chaufferie. Elle permet également de conserver des conditions stables, indépendamment du tirage de la cheminée. Une dépression constante favorise également un réglage grossier de la puissance désirée et de la quantité d'air de combustion.

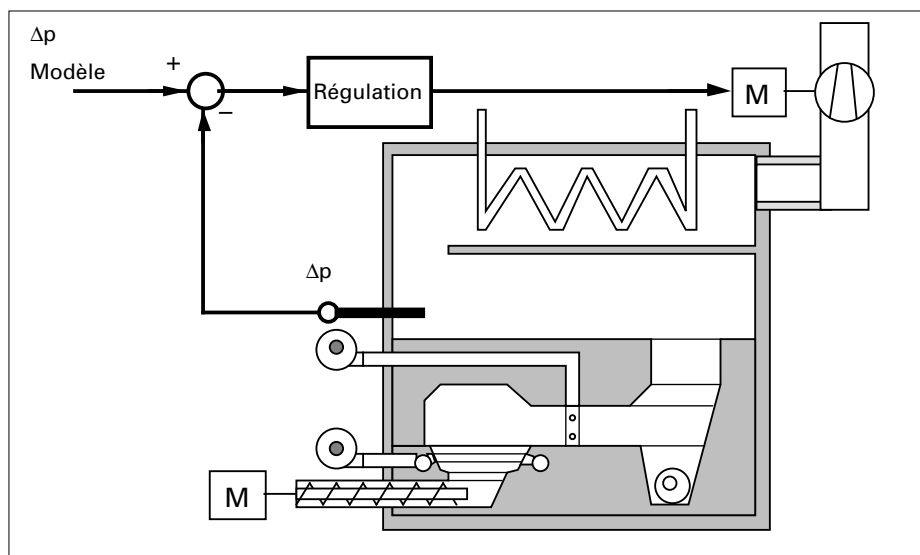
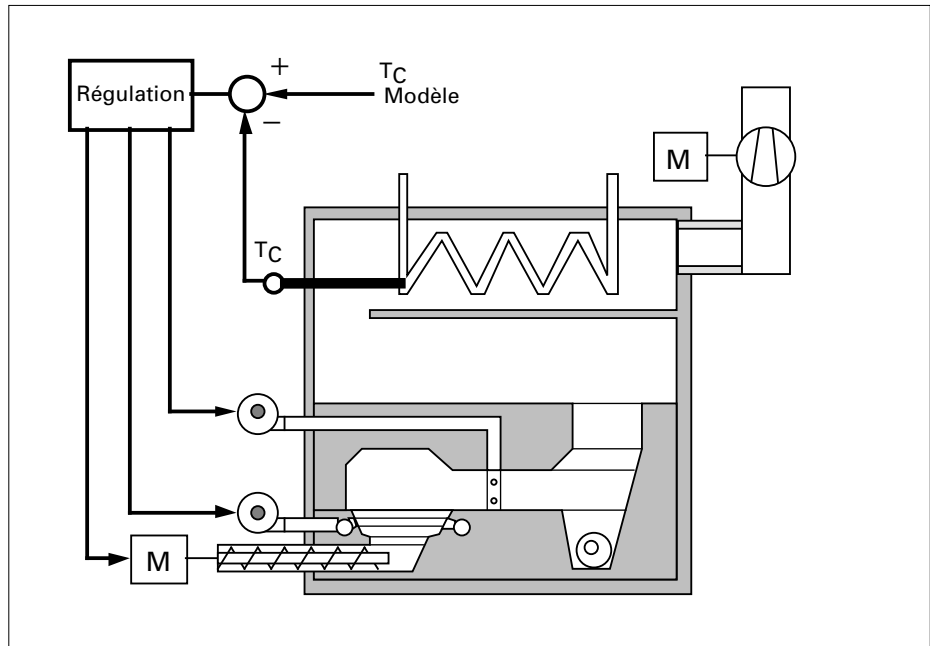


Figure 6.5 :
Régulation de la dépression :
mesure de la dépression dans
le foyer et régulation du venti-
lateur d'échappement afin
d'obtenir une dépression
constante

Régulation de la puissance

Les chaudières automatiques sont généralement équipées d'une régulation de la puissance qui autorise une exploitation à deux, ou à plusieurs niveaux. Par exemple : l'alimentation en combustible et l'air de combustion sont préalablement réglés à 100 %, 80 % ou 60 % de la puissance nominale. La régulation mesure la température de la chaudière et passe d'un niveau à l'autre selon les besoins. La régulation de la puissance permet d'augmenter le rendement de l'installation car elle diminue les pertes dues au refroidissement à l'intérieur du foyer, celles engendrées par le rayonnement, ainsi que les gaz de fumées.

Figure 6.6:
Régulation de la puissance: mesure de la température de la chaudière TC (température de départ de l'eau) et régulation des quantités d'air et de combustible en fonction de la demande de chaleur



Régulation de la combustion (selon lambda ou température)

La régulation de la combustion est complémentaire à celle de la dépression et de la puissance. Elle assure une qualité de combustion optimale. Une bonne combustion du bois ne peut être atteinte que par un rapport optimal combustible/air.

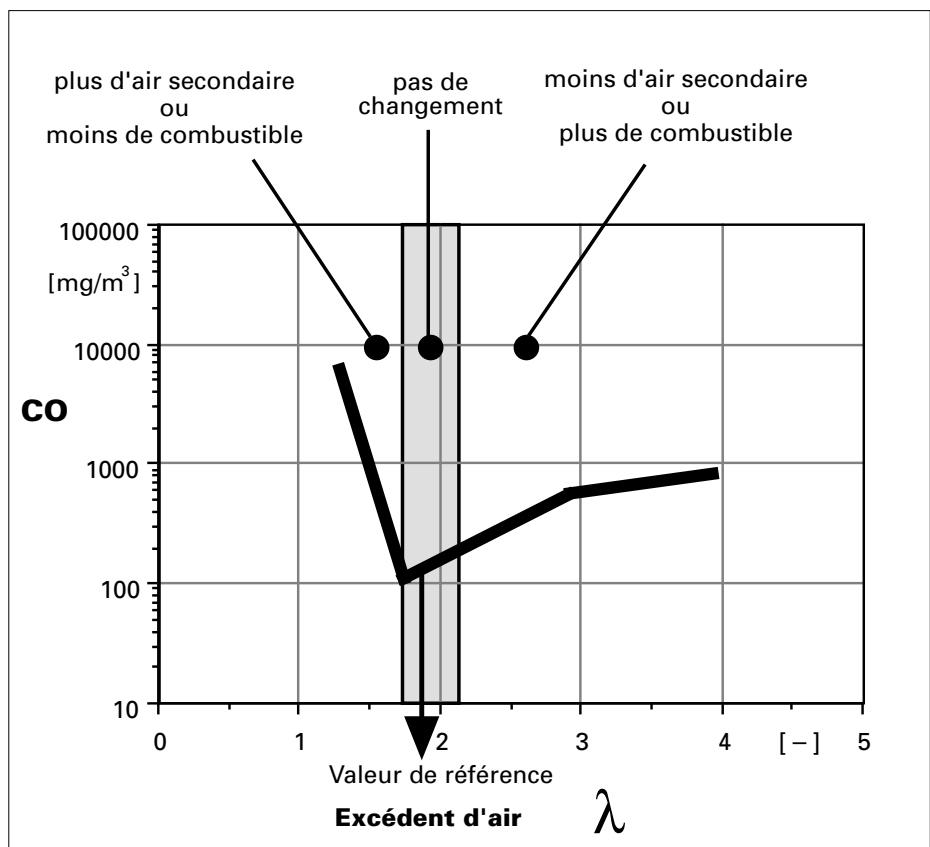


Figure 6.7:
Principe de fonctionnement de la régulation de la combustion: régulation de l'air secondaire ou de l'alimentation en combustible

Les combustibles utilisés pouvant avoir des caractéristiques variables (densité, humidité, essences de bois, etc.), les installations devraient être ajustées à chaque changement. Ceci étant pratiquement impossible, les installations automatiques sont équipées d'une régulation qui contrôle la combustion et assure un réglage toujours optimal. Actuellement, ces systèmes de régulation fonctionnent sur la température ou sur l'excédent d'air (λ).

Régulation d'après la température

Mesure de la température des flammes ou du foyer. Lorsque la température est trop basse, la quantité de combustible est augmentée, lorsque elle est trop haute, la quantité de combustible est diminuée.

Régulation d'après λ

Mesure de l'excédent d'air avec une sonde λ p. ex., et régulation de la quantité de combustible, éventuellement ajustement de l'air secondaire.

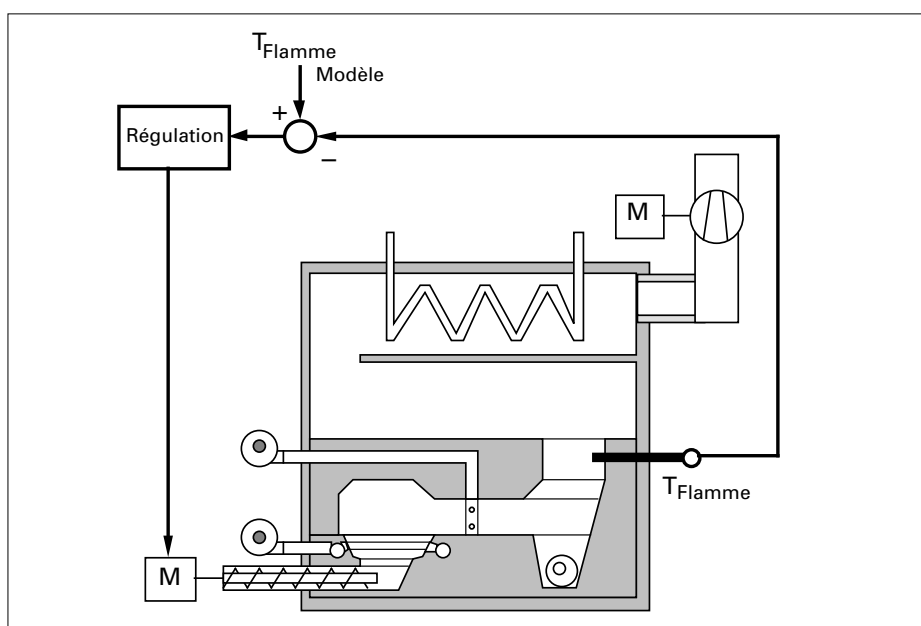


Figure 6.8:
Régulation d'après la température

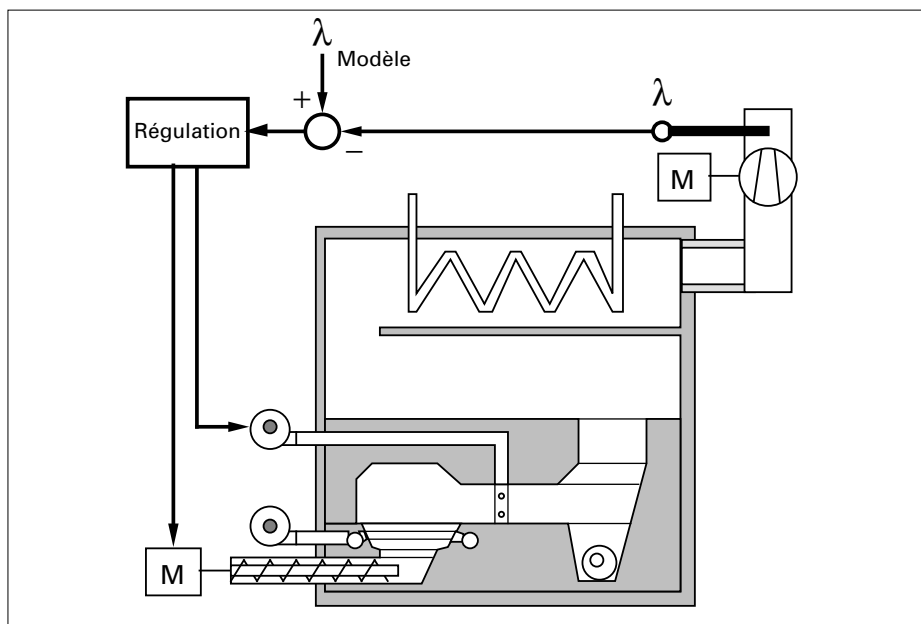


Figure 6.9:
Régulation d'après λ

6.5 Le traitement des gaz de fumées

Les restes de bois peuvent contenir toutes sortes d'impuretés :

- pierres, sable ;
- clous, vis ;
- colles ;
- durcisseurs ;
- peintures, laques, produits de préservation ;
- placages et surfaçages, etc.

Ces substances sont à l'origine des émissions suivantes :

- poussières ;
- métaux lourds ;
- oxydes d'azote (NO_x) ;
- acide chlorhydrique (HCL) ;
- chlorure d'ammonium (NH_4CL) ;
- hydrocarbures (en cas de mauvaise combustion).

L'ampleur de la dépollution des gaz de fumées dépend des assortiments et de la composition des bois à brûler. Les opérations suivantes peuvent être envisagées : dépoussiérage et diminution des métaux lourds, élimination de l'acide chlorhydrique et diminution des oxydes d'azote.

Dépoussiérage et diminution des métaux lourds

Les émissions produites par la combustion de bois à l'état naturel se composent de poussières de cendres ainsi que de suie et d'imbrûlés. La suie et les imbrûlés sont évités par une combustion complète du bois. La combustion de restes de bois n'étant pas à l'état naturel peut, quant à elle, produire différentes substances émises sous forme de poussières et de particules solides :

- métaux lourds (comme le plomb, le zinc et le cadmium) lorsque le combustible est peint ou préservé avec des produits contenant ces substances ;
- particules solides sous forme de sels (comme le chlorure d'ammonium par exemple).

Une bonne installation de dépoussiérage est en mesure de retenir une grande partie des métaux lourds. Les limites d'émissions concernant les métaux lourds étant très strictes, le système de dépoussiérage des installations brûlant des bois n'étant pas à l'état naturel devra être plus performant que celui suffisant pour le bois à l'état naturel. La limite pour les métaux lourds est généralement respectée lorsque les émissions de poussières ne dépassent pas 10 mg/m^3 . L'utilisation d'un cyclone classique ne suffisant pas à garantir de telles valeurs, il est nécessaire d'avoir recours à des systèmes de filtres électriques, textiles ou en céramique.

Cyclone

Principe de fonctionnement : les gaz sont conduits en un mouvement rotatif qui projette les particules solides contre les parois extérieures ; ces particules tombent ensuite dans le conteneur à poussières. Les gaz, après libération de leurs poussières, sont évacués par un canal central. L'efficacité d'un cyclone dépend de la grosseur et de la densité des particules, de la géométrie et de la perte de pression dans le cyclone.

Le pouvoir de séparation du cyclone est limité. Suivant la granulométrie et le type de poussières, les particules peuvent être éliminées à partir d'une dimension allant de 2 à 5 mm. Les émissions des chaudières au bois se situent

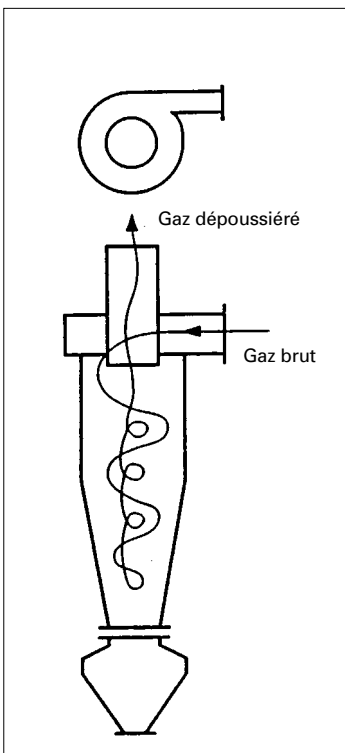


Figure 6.10 :
Cyclone

généralement entre 50 et 200 mg/m³. L'étanchéité du cyclone et de son conteneur à poussières est très importante pour son bon fonctionnement car l'entrée d'air parasite dérange le parcours des gaz et diminue le pouvoir de séparation du système. La limite des 150 mg/m³ peut généralement être respectée à l'aide d'un cyclone lorsque le combustible n'est pas problématique. Etant d'un prix avantageux, les cyclones sont généralement très utilisés pour le dépoussiérage des gaz de fumées dans les installations allant jusqu'à 5 MW.

Filtre électrique

Principe de fonctionnement : les particules de poussières sont chargées négativement dans un champ électrique intense, puis elles se dirigent vers une électrode de réception chargée positivement. Elles y restent collées avant d'être récupérées par un dispositif mécanique agissant par secouement.

Les filtres électriques récupèrent des quantités de poussières dans les gaz de fumées allant de 5 à 20 mg/m³, ce qui permet de respecter la limite de 50 mg/m³ imposée aux installations de plus de 5 MW. Par rapport aux filtres textiles, les filtres électriques présentent les avantages de provoquer de plus petites pertes de pression et d'être insensibles aux étincelles. En revanche, ils nécessitent beaucoup de place et sont relativement chers.

Filtres textiles et céramiques

Principe de fonctionnement : les gaz contenant des particules circulent à travers une couche poreuse, tissée ou feutrée. Les poussières se déposent ainsi dans le filtre. Les dépôts sont périodiquement refoulés par une contre-pression de gaz nettoyé avec de l'air comprimé. L'adjonction de chaux permet l'élimination simultanée de l'acide chlorhydrique contenu dans les gaz de fumées.

Ces filtres sont constitués de textiles tissés ou feutrés, d'où leur appellation de filtres textiles. Des filtres inorganiques en céramique ou en métal sont également utilisés. Les filtres ainsi construits sont appelés filtres céramiques et filtres métal.

Les quantités résiduelles de particules dans les gaz de fumées se situent entre 2 et 20 mg/m³, suivant le type de filtre et la composition des poussières. La température maximale des gaz de fumées est déterminée par le type de matériau du filtre. Les filtres textiles ne conviennent que lorsque la température ne dépasse pas 250°C, alors que les filtres céramiques peuvent supporter des températures atteignant 450°C environ.

Lavage des fumées

Principe de fonctionnement : de fines gouttelettes de liquide de lavage sont introduites dans les gaz, ce qui permet de récupérer les particules de poussières mouillées. Les particules de cendre de bois étant difficiles à humidifier (elles sont légèrement hydrofuges), le lavage des fumées n'est que peu efficace pour le dépoussiérage des émanations de la combustion du bois. En revanche, ce système se prête bien à l'élimination de l'acide chlorhydrique, à condition de prévoir un traitement du liquide de lavage. Toutefois, la nécessité de traiter les eaux de lavage, ainsi que la faible efficacité de ce système en ce qui concerne les poussières, font qu'il est rarement utilisé dans les installations de combustion des restes de bois.

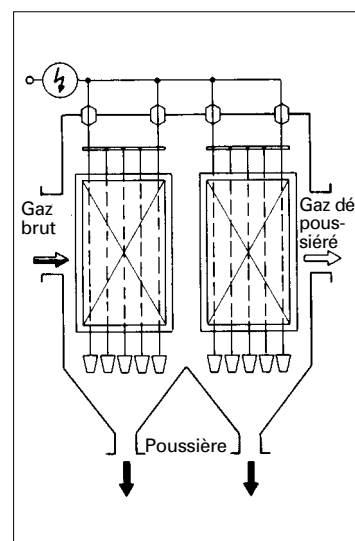


Figure 6.11:
Filtre électrique

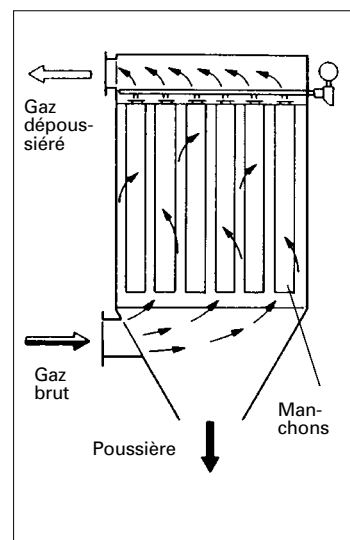


Figure 6.12:
Filtre textile

Élimination de l'acide chlorhydrique

Le chlore contenu dans le combustible forme de l'acide chlorhydrique dans les gaz de fumées. Cet acide peut être éliminé par l'adjonction de chaux couplée à l'utilisation d'un filtre textile.

Un lavage des gaz de fumées par un liquide basique permet également de neutraliser l'acide chlorhydrique. Cependant, l'eau de nettoyage devant être traitée, un tel système est rarement utilisé pour l'assainissement des fumées issues de la combustion des restes de bois.

Dénitrification

Les oxydes d'azote produits par les chauffages au bois proviennent en majeure partie de l'azote contenu dans le bois. Les colles renfermant également de l'azote, les émissions produites par les restes de bois n'étant pas à l'état naturel sont plus riches en oxyde d'azote que celles issues de bois à l'état naturel.

L'Ordonnance sur la protection de l'air fixe la limite des émissions de NO_x à 250 mg/m^3 pour des installations dont l'émission de NO_x globale dépasse 2500 g/heure (Annexe A5). La combustion de panneaux de particules produisant environ 500 mg/m^3 d'oxydes d'azote, une dénitrification des gaz de fumées est nécessaire pour les installations d'une puissance d'environ $2,5 \text{ MW}$. Dans pareil cas, les mesures suivantes sont envisageables :

- dénitrification par injection d'ammoniac ou d'urée dans la chambre de combustion ($850\text{--}950^\circ\text{C}$). Une chambre très chaude étant nécessaire, ce système est surtout intéressant pour les nouvelles installations ;
- dénitrification par injection dans les gaz de fumées d'ammoniac ou d'urée après la chaudière. La réaction se produit dans un catalyseur à 250°C – 400°C qui peut également être adapté sur des installations existantes.

7. Réduction de la consommation d'énergie

7.1 Consommation d'électricité

Notions/Prix de l'énergie

L'énergie active est nécessaire pour faire fonctionner les moteurs, les lampes et les chauffages électriques. L'énergie électrique nous est utile après transformation en énergie mécanique, lumineuse, thermique, etc. Elle est mesurée par le compteur des services industriels avec pour unité de base le kilowatt/heure [kWh]. Exemple : un radiateur d'une puissance de 1,5 kW fonctionnant pendant 2 heures consomme 3 kWh d'énergie.

L'énergie réactive est absorbée principalement par les moteurs, les transformateurs et les condensateurs. Elle est liée à la formation de champs électromagnétiques et constitue en quelque sorte une réaction au type d'appareil utilisé, d'où sont appelation d'énergie réactive. Cette forme d'énergie ne peut être mesurée qu'avec un compteur spécial. Malgré son caractère quelque peu sous-jacent, l'énergie réactive représente une charge réelle pour les producteurs et les distributeurs d'électricité. L'unité utilisée est le kilovar/heure [kVarh].

La puissance de pointe est la valeur maximale de consommation d'électricité en un temps donné. Le compteur des SI mesure continuellement la puissance totale demandée par l'utilisateur (somme de toutes les machines et appareils électriques de l'entreprise) et enregistre les moyennes sur 15 minutes. La valeur la plus élevée de chaque mois est ensuite facturée. L'unité utilisée est le kilowatt [kW].

Composition d'une facture d'électricité

Les compagnies d'électricité ne facturent pas simplement le courant. La facture se compose généralement de frais fixes (abonnement, location du compteur) et de frais variables liés à la consommation d'énergies active et réactive, ainsi qu'à la demande de puissance de pointe. Les tarifs varient selon les compagnies et diffèrent en fonction des saisons (été, hiver) et des heures (jour, nuit) de consommation.

Ordre de grandeur des tarifs :

Energie active	1 kWh	4,4 – 22 cts
Energie réactive	1 kVarh	2,5 – 6 cts
Puissance de pointe	1 kW	5 – 15 Fr./mois

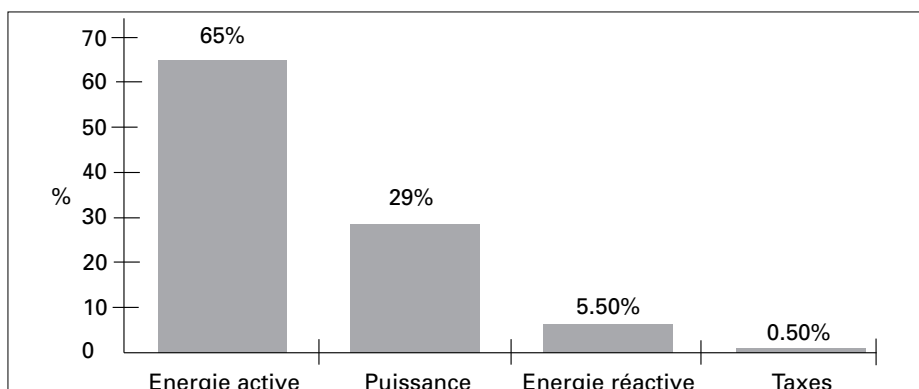


Figure 7.1 : Composition d'une facture d'électricité

Structure de la consommation

La consommation électrique de plusieurs menuiseries a été analysée en détail. Il n'est pas surprenant de constater que les machines de fabrication constituent le poste de consommation le plus important, avec près de la moitié de la consommation totale. En seconde position vient le système d'aspiration avec plus d'un quart. Le dernier quart est utilisé par l'air comprimé et l'éclairage. Cette structure, illustrée par le schéma 7.2, peut varier d'une entreprise à l'autre. Elle demeure cependant un bon point de comparaison et donne de précieuses indications sur les priorités à fixer lors de mesures d'assainissement.

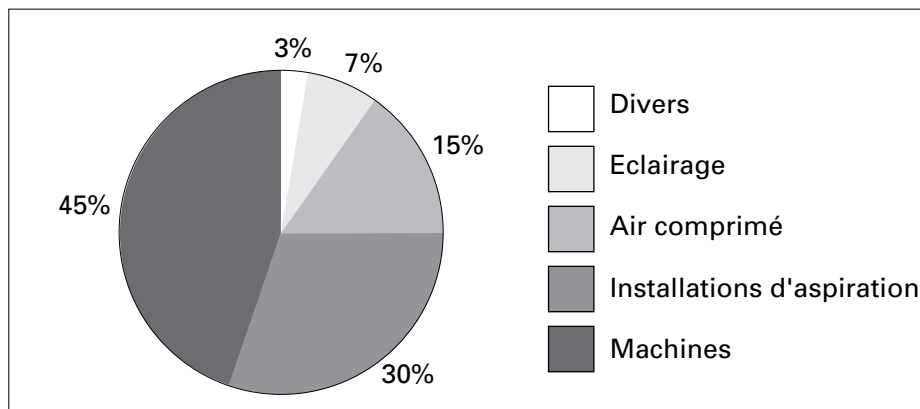


Figure 7.2:
Structure de la consommation
d'électricité

Possibilités de réduction des frais d'électricité

Comportement des utilisateurs

Les machines constituent généralement le poste de consommation le plus important. Il est donc intéressant de faire des économies dans ce domaine. Le potentiel purement technique (par exemple meilleurs moteurs) reste réduit. En outre, les machines actuelles étant complexes, il n'est d'ordinaire pas rentable de les transformer. En revanche, la consommation énergétique est un critère important dans le choix de nouvelles installations et les modèles pourvus du meilleur bilan énergétique sont à préférer.

La mesure la plus rentable réside certainement dans la « prise de conscience de la valeur énergétique » par les collaborateurs, cette dernière étant susceptible des économies de l'ordre de 10%, sans nécessiter d'investissement. Le fait de n'enclencher un appareil que lorsqu'il est réellement utilisé doit devenir une évidence pour tous. L'arrêt et la remise en marche des appareils n'influent quasiment pas sur leur longévité lorsqu'on n'y procède pas d'une manière exagérée. Le temps de démarrage des machines étant très court (>5sec.), la consommation énergétique qui en découle est insignifiante.

Compensation de l'énergie réactive

Les entreprises de transformation du bois consomment souvent beaucoup d'énergie réactive car elles utilisent beaucoup de moteurs électriques. C'est pour cette raison que les SI installent un compteur pour l'énergie réactive induite et facturent cette dernière au consommateur. Cette forme d'énergie réactive peut être neutralisée par une installation de compensation capacitive provoquant un déphasage inverse qui neutralise l'effet des moteurs. Lorsque ces deux formes d'énergies réactives (induite et capacitive) sont égales, elles s'annulent et évitent ainsi la consommation d'énergie réactive. Ce type d'installation se nomme « compensateur d'énergie réactive » ; il peut être amorti rapidement (3 ans).

Air comprimé

Les consommateurs ne sont souvent pas conscients que l'utilisation de l'air comprimé consomme beaucoup d'énergie. Les installations étant habituel-

lement amorties en 8 ans environ, leur consommation énergétique représentée, contrairement aux autres installations, un facteur de coût important. Le tableau ci-dessous compare les coûts de deux systèmes à air comprimé.

	Compresseur à piston	Compresseur à vis
Coûts fixes	49%	53,5%
Entretien	16%	7,5%
Coûts énergétiques	35%	39%

Les coûts de production d'un m³ d'air comprimé (en moyenne 10 bar) se montent entre 5 et 12 centimes. Les économies les plus importantes sont réalisées par :

- une bonne planification de l'installation (dimensionnement);
- un déclenchement la nuit, durant les pauses de midi et les week-ends;
- une minimalisation des fuites (10 – 15%);
- l'utilisation de la chaleur du compresseur, p. ex. pour l'eau chaude sanitaire.

Installations d'éclairage

La participation de l'éclairage à la consommation globale d'énergie est souvent sous-estimée. Les luminaires étant généralement installés en grand nombre et leur temps de fonctionnement assez long, l'éclairage est un important consommateur d'énergie. Contrairement à une opinion largement partagée, il est tout à fait intéressant d'éteindre l'éclairage, même pour de courtes pauses. Les lampes modernes n'en souffrent pas.

Mesures à prendre :

- bonne planification des nouvelles installations (la bonne lumière à la bonne place);
- déclenchement systématique de l'éclairage lorsqu'il n'est pas nécessaire;
- équipement des grands locaux avec un système de déclenchement/enclenchement automatique en fonction de la lumière naturelle;
- équipement des lieux de passage et des zones peu utilisées avec des minuteries ou des détecteurs de présence.

Diminution des pertes de puissance

Une analyse correcte de la situation ne peut se faire que par l'enregistrement de la demande de puissance sur un jour complet. Le graphique suivant illustre le résultat d'un tel enregistrement. Ce dernier est effectué par un appareil spécial, généralement mis à disposition par la compagnie d'électricité contre une modique location. L'objectif, qui est de diminuer les pointes les plus élevées, peut être atteint grâce à un limiteur de puissance. Cet appareil mesure continuellement la puissance demandée et, à partir d'un certain seuil, déclenche sélectivement les machines et appareils de moindre priorité.

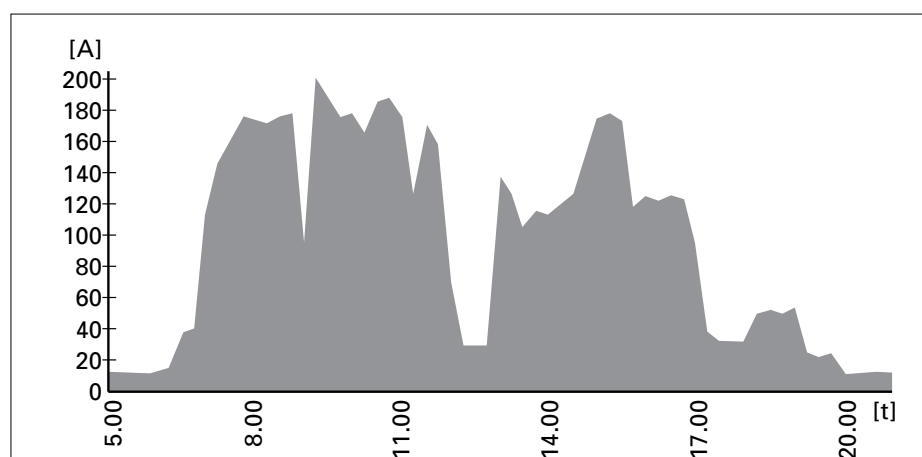


Figure 7.3:
Pointes de puissance au cours
d'une journée

Les installations dont le déclenchement ne perturbe pas la production sont :

- le chauffage électrique, le chauffage de l'eau sanitaire ;
- la ventilation, les pompes ;
- les presses à placage, étuves et séchoirs ;
- les déchiqueteurs de restes de bois.

Installations d'aspiration

Les installations d'aspiration sont, avec les machines de production, les plus gros consommateurs d'énergie. Le dimensionnement habituel des ventilateurs est calculé sur le 60% de la capacité maximum nécessaire lorsque toutes les machines fonctionnent simultanément.

Dans la pratique, cette puissance d'aspiration n'est que très rarement nécessaire. Les ventilateurs transportent très souvent beaucoup d'air inutilement car les clapets manuels restent généralement ouverts sur des machines à l'arrêt. Plus la quantité d'air transportée est grande, plus la quantité d'énergie consommée est importante. La quantité d'énergie nécessaire croît à la puissance 3 de la quantité d'air (2 x plus d'air nécessite 8 x plus d'énergie, tout comme la résistance de l'air freine les voitures). Il est indispensable que les installations soient équipées d'une installation de régulation comprenant les aménagements suivants :

- des clapets automatiques sont installés aux endroits importants du système de conduite. Les clapets ne sont ouverts que si au moins une machine du réseau concerné est en fonction ;
- le ventilateur d'aspiration ne fonctionne que si au moins une machine est utilisée ;
- le ventilateur est équipé d'un régulateur de vitesse qui commande la quantité d'air transporté en fonction du nombre de machines en service.

Suivant la taille de l'installation et son temps de fonctionnement, on peut réaliser des économies d'énergie de l'ordre de 40%.

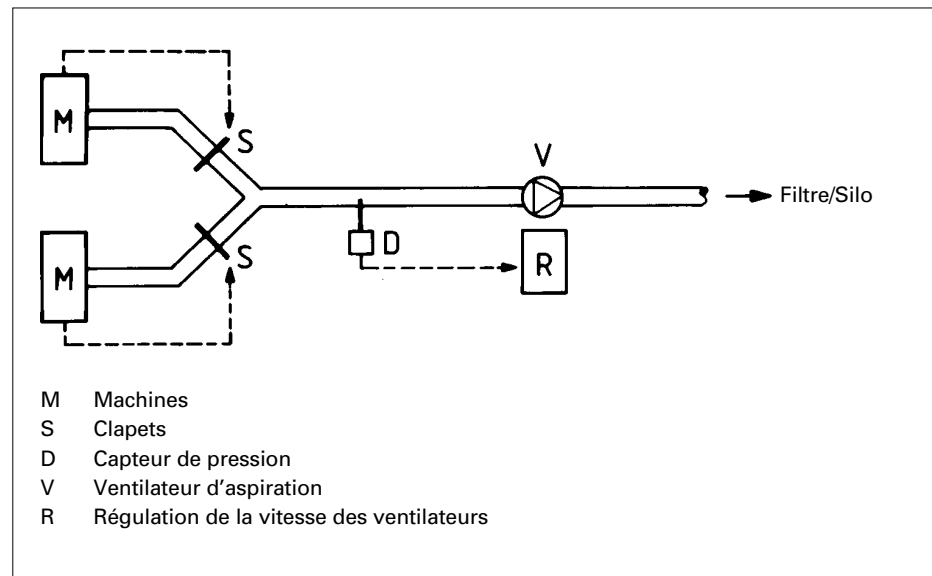


Figure 7.4:
Système d'aspiration avec
régulation

Exemple d'assainissement d'une installation d'aspiration

L'exemple suivant indique l'ordre de grandeur des investissements et des économies réalisables pour une menuiserie moyenne :

Données techniques	
Moteur d'aspiration	37 kW
Nombre de machines de production	10 pièces

Investissements pour les mesures d'assainissement

Appareils:

Commande de régulation des ventilateurs	Fr.	12 100.–
Capteur de pression	Fr.	800.–
Clapet pneumatique	Fr.	2 600.–

Installations:

Conduits d'air comprimé	Fr.	2 000.–
Montage du clapet et du capteur de pression	Fr.	2 300.–
Installations électriques	Fr.	6 000.–
Honoraires de planification	Fr.	4 000.–
Total	Fr.	29 800.–

Economies

Les mesures présentées ci-dessus permettent de faire les économies suivantes:

Energie active	(38 600 kWh)	Fr.	4 885.–
Puissance	(122 kW)	Fr.	935.–
Total des économies/an		Fr.	5 820.–

Coûts/bénéfices

Coûts de l'assainissement	Fr.	29 800.–
Economies annuelles d'électricité	Fr.	5 820.–

Durée d'amortissement environ 5 ans

Ces calculs sont basés sur un prix de l'électricité plus bas que la moyenne suisse (10,1 cts/15,2 cts ; tarifs bas/haut). Un coût d'électricité plus élevé améliorera le résultat des investissements en raccourcissant la durée d'amortissement.

7.2 Récupération de la chaleur

Installation d'aspiration

Beaucoup d'entreprises évacuent encore l'air d'aspiration qui est passé dans le silo directement vers l'extérieur. Les pertes liées à cette pratique se montent jusqu'à 50% de l'énergie utilisée pour le chauffage des locaux, une moitié se perdant à travers l'enveloppe du bâtiment. Mesures à prendre :

Récupération de l'air

L'installation d'aspiration est équipée d'un dispositif de récupération de l'air. Dans les cas favorables, l'air est récupéré directement après le filtre situé dans le silo.

Séparation de l'air d'aspiration et de l'air de transport

Le transport des copeaux nécessitant beaucoup moins d'air que leur aspiration, la séparation de ces deux phases permet d'économiser beaucoup d'énergie, particulièrement lorsque le transport s'effectue sur une longue distance.

Autres avantages :

- chauffage de moindre puissance pour les nouvelles installations;
- moins de courants d'air en hiver;
- dimensionnement du conduit de transport réduit;
- possibilité de régler le ventilateur d'aspiration en fonction des besoins momentanés.

Exemple :

Dans une grande menuiserie, 24 000 m³/heure d'air ont ainsi été récupérés. Cela représente une économie d'énergie de chauffage d'environ 155 000 kWh par an (correspondant à environ 200 m³ de copeaux/poussières) et une réduction de la puissance de chauffage de 115 kW.

Enveloppe du bâtiment

Après avoir réalisé les premières mesures d'économie d'énergie (récupération de l'air d'aspiration), il convient d'examiner également l'enveloppe du bâtiment :

- étanchéité des fenêtres et portes;
- isolation des combles, du toit et des murs;
- fenêtres isolantes;
- endroits peu étanches (courants d'air).

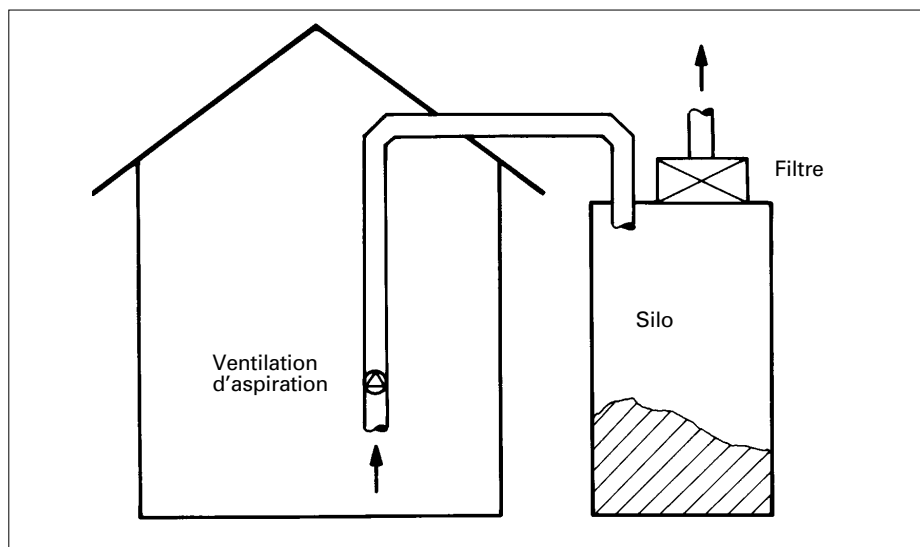


Figure 7.5:
Installation d'aspiration sans
récupération de l'air

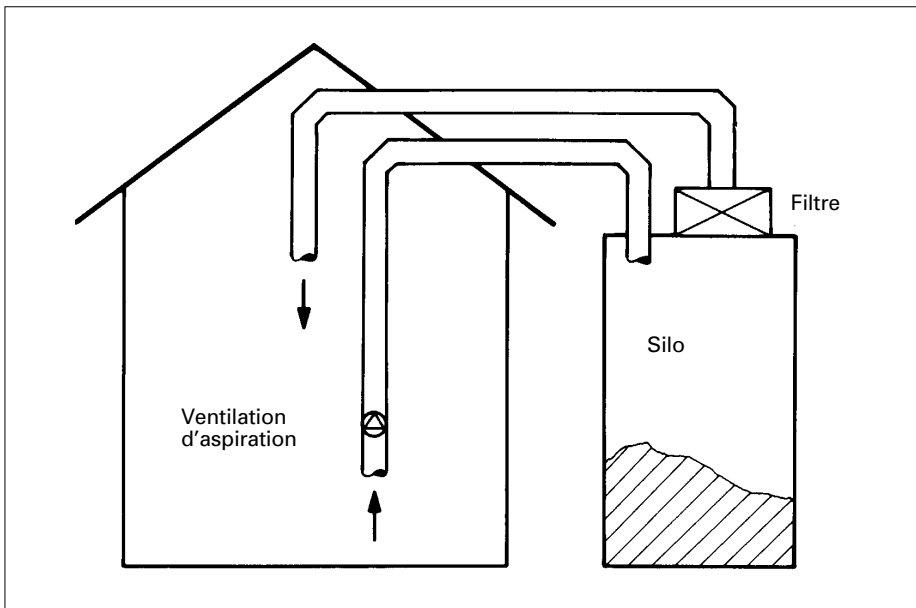


Figure 7.6:
Installation d'aspiration avec
récupération de l'air

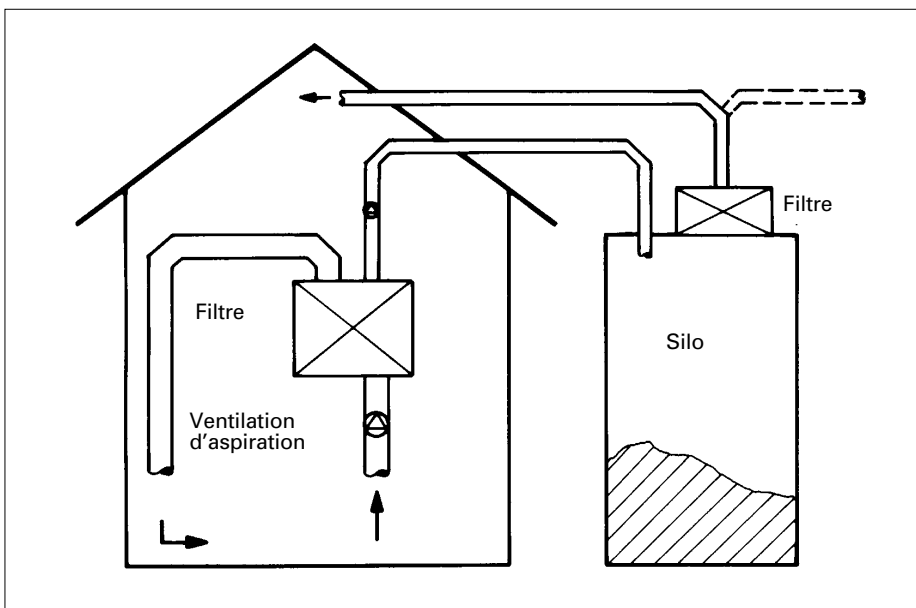


Figure 7.7:
Installation d'aspiration avec
récupération de l'air et sépara-
tion de l'air d'aspiration et de
transport

A1 Données techniques requises pour le dimensionnement d'une installation

Ce chapitre propose une méthode d'estimation très simplifiée des données techniques d'une installation.

Cette estimation ne peut être réalisée que dans des entreprises qui répondent aux conditions suivantes :

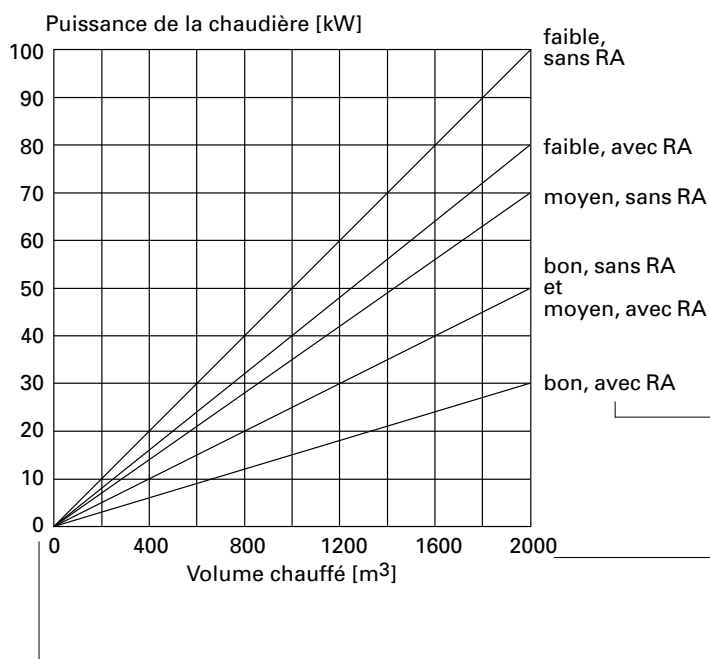
- besoins de chaleur quasi exclusivement réservés au chauffage des locaux (ateliers, bureaux et éventuellement habitations raccordées) ;
- besoins de chaleur sporadiques, (p. ex. pour une cabine à peinture qui ne doit pas obligatoirement fonctionner en période particulièrement froide) ;
- aucun besoin de chaleur industrielle (comme p. ex. séchoirs, étuves, etc.).

Le dimensionnement exact du chauffage devra obligatoirement être déterminé par un **spécialiste compétent**.

Nota :

Des originaux des tableaux et graphiques à copier se trouvent à l'annexe A6.

I. Diagramme de puissance de la chaudière



I. Puissance de la chaudière

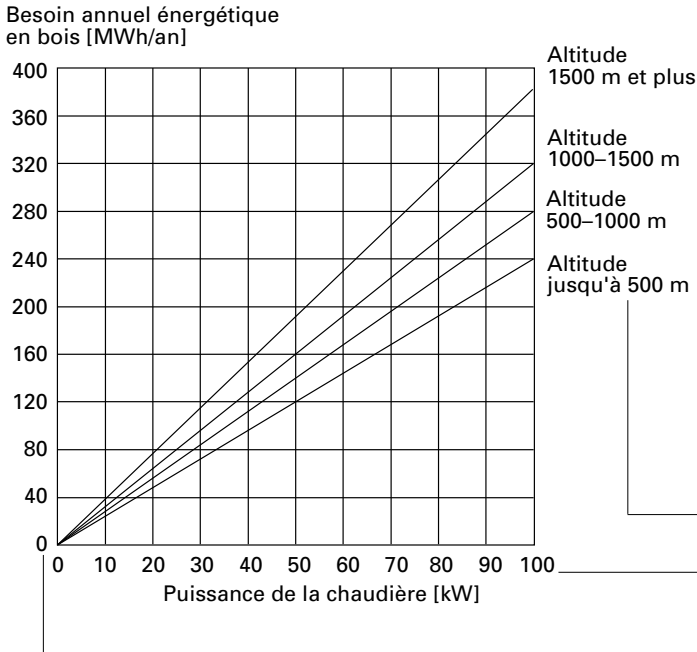
La puissance de la chaudière doit être adaptée le mieux possible aux besoins de chaleur de l'entreprise :

- pas trop petite afin qu'il y ait assez de chaleur disponible en période très froide ;
- pas trop grande pour garantir une combustion optimale, sans émission d'odeurs désagréables et avec un minimum de polluants.

Marche à suivre

1. Estimer la qualité de l'isolation des locaux à chauffer, et s'assurer que l'air d'aspiration est bien récupéré (RA) (les locaux sans aspiration sont considérés comme ayant une récupération d'air).
2. Déterminer le volume des différents locaux et additionner les volumes des locaux ayant les mêmes caractéristiques (isolation et récupération d'air).
3. Rechercher les puissances correspondantes sur le diagramme et additionner les puissances relatives aux différents types de locaux.

II. Diagramme du besoin en énergie bois



II. Besoins en énergie bois

Le besoin annuel en énergie bois sert de base:

- à l'estimation de la quantité de restes de bois qui doit être stockée;
- au calcul du bilan des restes de bois.

Marche à suivre

1. Déterminer l'altitude de l'entreprise et la reporter sur le diagramme.
2. Reporter la puissance de la chaudière déterminée grâce au diagramme précédent.
3. Déterminer le besoin annuel en énergie bois.

III. Tableau du contenu énergétique des restes de bois

Deux méthodes simples sont proposées pour déterminer les quantités annuelles de restes de bois et leur contenu énergétique:

1 ^{re} méthode Lorsque les quantités de restes de bois sont connues				
Assortiments de restes de bois		Quantités (Q) (m ³ /an)	Facteur énergétique (F)	Contenu éner. (E) (MWh/an) Q x F = E
Copeaux, plaquettes, poussières écorces déchetées	(m ³ pl)		0.7	
Chutes de bois massif	(m ³)		2	
Chutes de panneaux	(m ³)		3.5	
Contenu énergétique total				
2 ^e méthode Lorsque seule la consommation de bois est connue				
Assortiments de restes de bois	Consommation annuelle de bois (m ³)	Quantités (Q) (m ³ /an)	Facteur énergétique (F)	Contenu éner. (E) (MWh/an) Q x F = E
Bois massif			2	
Panneaux			3.5	
Contenu énergétique total				

III. Contenu énergétique des restes de bois

Marche à suivre 1^{re} méthode

- (d'après les quantités de restes)
1. Reporter sur le tableau les quantités annuelles de copeaux, plaquettes, poussières, chutes de bois massif et de panneaux.
 2. Calculer les contenus énergétiques [quantités (Q) x facteur énergétique (F) = contenu énergétique (E)] et additionner.

Marche à suivre 2^e méthode

- (d'après la consommation de bois)
1. Déterminer la consommation annuelle de bois d'après les commandes, bulletins de livraison et factures.
 2. Calculer les quantités de restes de bois et de dérivés (cf. tableau « valeurs indicatives des taux de déchets »).
 3. Calculer les contenus énergétiques [quantités (Q) x facteur énergétique (F) = contenu énergétique (E)] et additionner.

IV. Bilan des restes de bois

Le bilan des restes de bois permet de déterminer si les quantités de restes de bois suffisent à chauffer l'entreprise. Lorsque le bilan est positif, les restes de bois de l'entreprise suffisent à couvrir ses propres besoins en chaleur. Le surplus peut, p. ex., être livré à une autre entreprise qui en manque. Si le bilan est négatif, les restes de bois de l'entreprise ne suffisent pas à couvrir ses besoins en chaleur. Les quantités manquantes peuvent être reprises d'une entreprise excédentaire. Il est également possible de choisir une chaudière à bois plus petite et d'installer une chaudière d'appoint au mazout ou au gaz pour la couverture des pointes.

IV. Tableau du bilan des restes de bois

Contenu énergét. de la production annuelle de restes de bois (Report du tableau III MWh/an)	
Besoin annuel en énergie bois (Report du diagramme II MWh/an)	
Surplus/manque annuel en énergie bois	

Marche à suivre

1. Reporter le contenu énergétique des quantités annuelles de restes de bois du tableau «Contenu énergétique des restes de bois».
2. Reporter les besoins annuels en énergie bois du diagramme «Besoins annuels en énergie bois».
3. Calculer la différence: position 1 – position 2.

V. Tableau du volume de stockage

Assortiments de restes de bois	Quantités (Q) (m ³ /an)	Facteur de foisonnement (A)	Volume (V) (m ³ /an) Q x A = V	Volume de stockage (S) (m ³) V x 0,5 = S
Copeaux, plaquettes, poussières écorces déchiquetées (m ³ pl)		1		
Chutes de bois massif (m ³)		2.5		
Chutes de panneaux (m ³)		2.5		
*) Nota: à partir de 500 m d'altitude, le volume de stockage est réduit en raison de l'allongement de la période de chauffage.				Volume de stockage total *)

V. Volume de stockage

Le volume nécessaire au stockage des restes de bois dépend de la durée de la période de chauffage et du système de stockage. Le briquetage permet, p. ex., de réduire 6 fois le volume par rapport à un silo à copeaux.

Marche à suivre

1. Report de la quantité annuelle de restes de bois du tableau «Contenu énergétique des restes de bois».
2. Calcul du volume effectif (V) des différents assortiments [quantité (Q) x facteur de foisonnement (A) = volume (V)].
3. Calcul du volume de stockage nécessaire à chaque assortiment [volume (V) x 0,5 = volume de stockage (S)] et additionner.

A2 Exemple d'une petite entreprise

1. Situation

Une entreprise de charpente, couverture et ferblanterie, occupant 7 personnes, construit de nouveaux locaux pour abriter ses ateliers, garages et bureaux. Contrairement à l'ancien, ce nouveau bâtiment sera chauffé avec les restes de bois de l'entreprise. Située dans la campagne fribourgeoise (district de la Glâne), l'entreprise est à environ 800 mètres d'altitude.

Anciennement, les restes de bois étaient distribués aux voisins (morceaux) et aux agriculteurs (sciure et copeaux) de la région. Cette évacuation ne provoquait quasiment pas de frais.

Le nouveau chauffage a été mis en service en décembre 1994.

2. Données de base

Equipements techniques existants

L'aspiration des copeaux et sciures est assurée par un aspirateur mobile, raccordé aux machines lors de leur utilisation. La récupération de l'air aspiré est ainsi directement assurée car les filtres se trouvent sur l'aspirateur, qui reste dans l'atelier.

Chauffage des locaux

Les locaux de production seront chauffés au moyen d'aérochauffeurs, les bureaux et sanitaires seront équipés de convecteurs.

Les locaux se répartissent en trois zones de températures différenciées :

Locaux	Température de consigne	Volume chauffé	Isolation
Bureaux, sanitaires et réfectoire	20 °C	200 m ³	très bonne, vitrages isolants
Ateliers de ferblanterie, menuiserie et affûtage	16 -18 °C	850 m ³	très bonne, vitrages isolants
Halle de charpente	tempéré 10 – 12 °C	4000 m ³	bonne, vitrages isolants, beaucoup d'aération
Abris PC et garage	non chauffés	1300 m ³	

Assortiments et gestion du combustible

La taille de charpente en bois massif ne produisant que peu de copeaux et sciures, la majeure partie des résidus seront donc du bois naturel en morceaux. L'installation de chauffage devra être en mesure d'utiliser ce combustible de façon automatique et avec un minimum de manutention.

Durant l'été, les morceaux sont conservés dans des caisses à claire-voie. Elles seront stockées sous un abri, à proximité de la halle. Les copeaux sont laissés directement dans les sacs plastiques de l'aspirateur. Ces sacs seront conservés au même endroit que les caisses.

En cas de pénurie de combustible, du bois de feu en provenance des forêts avoisinantes pourra être obtenu à des conditions avantageuses.

3. Caractéristiques d'une nouvelle installation

Bâtiments à chauffer

La chaufferie à bois doit être en mesure de chauffer les ateliers et bureaux de l'entreprise, ainsi qu'une extension prévue dans le cadre de la zone artisanale.

Puissance nécessaire

Locaux existants : 50 kW

Extension prévue : 30 kW

Consommation d'énergie calorifique

Bâtiments existants : 120 MWh

Extension prévue : 70 MWh

Contenu énergétique des restes de bois

60 m³ de bois naturel en morceau à 2,5 MWh/m³, soit 150 MWh

50 m³ de copeaux et sciures à 0,7 MWh/m³, soit 35 MWh

Bilan des restes de bois

La quantité de combustible disponible est très variable d'une année à l'autre en raison de la fluctuation des travaux. La quantité attendue permet de chauffer les locaux de l'entreprise. Une extension utilisant la puissance nominale de l'installation pourrait provoquer un manque de combustible. Les quantités complémentaires peuvent alors être obtenue directement de la forêt voisine.

Volume de stockage

Les volumes n'étant pas très importants, il pourront être stockés sans difficultés aux abords et dans la halle de charpente.

4. Nouvelle installation

Variantes envisageables

Le temps d'occupation avec les restes de bois et le chauffage ne doit pas dépasser une heure par jour. Les restes de charpente étant relativement massifs (20 à 50 cm de côté), l'installation de chauffage doit être en mesure de les brûler sans préparation préalable. L'option de base est une solution semi-automatique, permettant un bon confort d'utilisation sans investissements trop lourds. Les variantes B1 et B2 sont envisageables dans un cas pareil. C'est finalement la variante B2 qui sera retenue : une chaudière à plaquettes est alimentée directement par un déchiqueteur à rotation lente. La trémie de chargement du déchiqueteur fait office de réserve de bois pour quelques heures ou quelques jours.

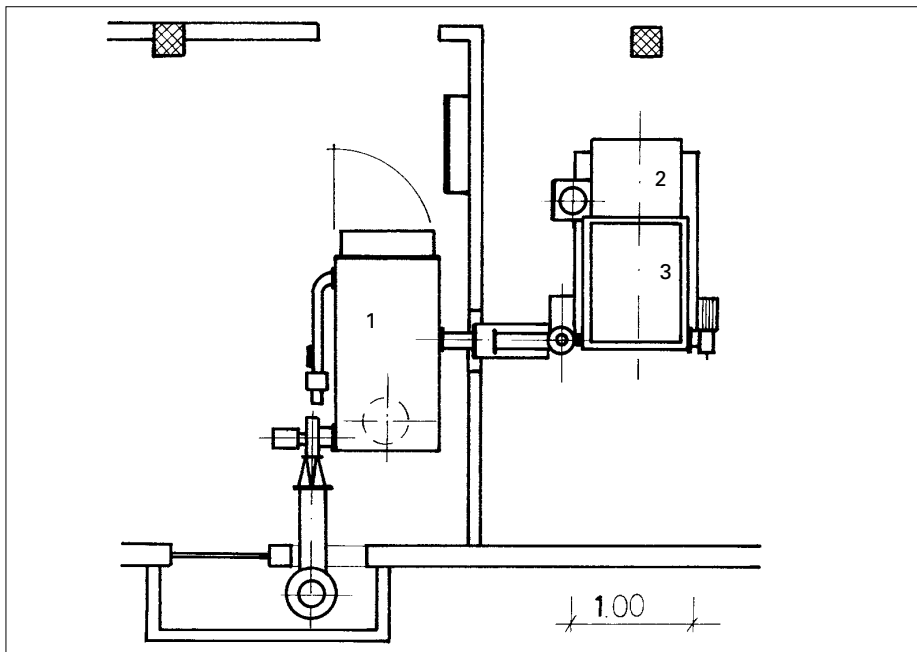
Critères de choix

- Nouveaux bâtiments, d'où liberté de conception.
- Installation de relativement faible puissance: 80 kW.
- Restes de bois massifs (20 à 50 cm de côté) et peu de copeaux/sciures.
- Temps de travail journalier réduit.
- Pas de silo ni de déchiqueteur disponible.

Evolution possible

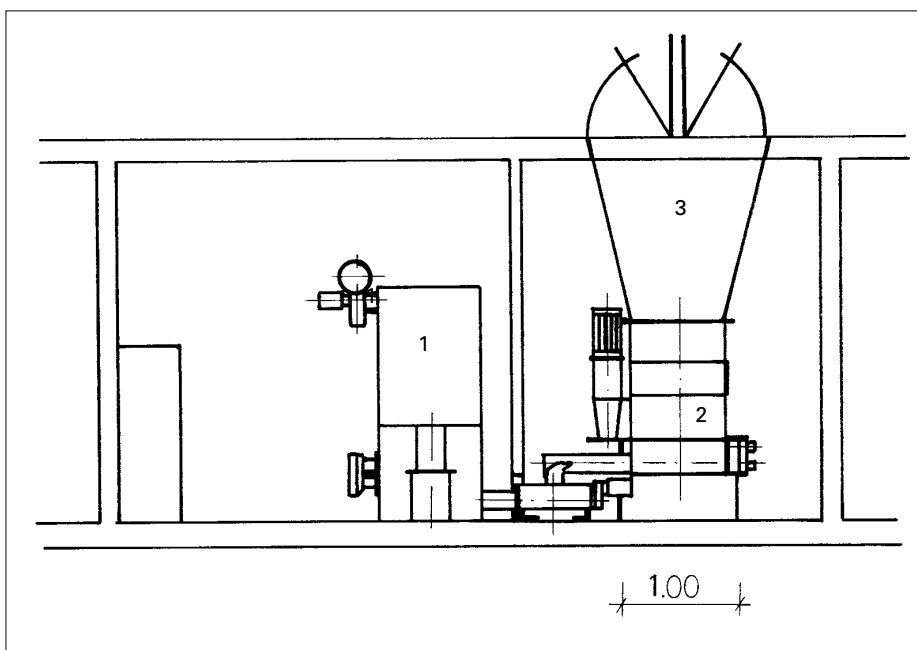
Chauffage de bâtiments voisins par conduite à distance.

5. Disposition des installations dans une petite entreprise



- 1 Chaudière
- 2 Déchiqueteur
- 3 Trémie de chargement

Figure A2.1:
Plan de la disposition de la chaudière et du déchiqueteur à rotation lente (sans échelle)



- 1 Chaudière
- 2 Déchiqueteur
- 3 Trémie de chargement

Figure A2.2:
Elévation de la disposition de la chaudière et du déchiqueteur à rotation lente (sans échelle)

A3 Exemple d'une entreprise de taille moyenne

1. Situation

Le chauffage manuel, alimenté avec les restes en morceaux, d'une menuiserie occupant une quinzaine de personnes a dû être remplacé car il ne correspondait plus aux exigences de l'OPair. L'installation avait une trentaine d'années. L'entreprise effectue des travaux de menuiserie, d'agencement, d'ébénisterie et construit des escaliers. Elle est située dans les Alpes, à une altitude de 1000 m.

Le chauffage manuel nécessitait deux remplissages par jour, la nuit étant assurée par un brûleur à mazout. Seuls les restes en morceaux pouvaient être utilisés pour le chauffage. Les copeaux et sciures étaient évacués gratuitement par un transporteur de la région, équipé avec un camion à aspirateur.

En été 1994, la réfection du chauffage est entreprise.

2. Données de base

Installations existantes en 1994

- Ancienne chaudière manuelle, devant être changée.
- Système d'aspiration des copeaux avec récupération de l'air chaud.
- Silo à copeaux avec aspirateur pour l'extraction des copeaux: 70 m³ de volume brut, fond en terre battue.
- Chaufferie en sous-sol, à côté du silo.

Chauffage des locaux

Les ateliers sont chauffés au moyen d'aérochauffeurs, les bureaux ainsi qu'une petite surface de logements sont munis de radiateurs.

Les volumes des locaux chauffés se répartissent ainsi :

	Volume chauffé	Isolation
Ateliers	1000 m ³	faible, vitrages doubles
Bureaux et logement	300 m ³	moyenne et bonne, vitrages doubles

Assortiments et gestion du combustible

Les travaux de menuiserie-ébénisterie produisent des restes de bois de tous genres: délignures, morceaux, sciures, copeaux et poussières. Les matériaux utilisés sont le bois massif et les panneaux dérivés.

La nouvelle installation de chauffage utilisera les copeaux et sciures, les restes en morceaux devant être évacués. Les restes de bois massif peuvent être valorisés par des privés qui possèdent des chauffages au bois (poêles et chaudières). La demande devrait être assez forte dans cette région de montagne. En revanche, les restes de panneaux doivent être évacués vers une centrale d'incinération assez éloignée car leur mise ou leur combustion en décharge n'est plus autorisée.

Le silo est régulièrement plein avant le début de la saison de chauffage, nécessitant l'évacuation des copeaux excédentaires. La quantité restante et la production hivernale ne suffiront pas obligatoirement à assurer l'intégralité du chauffage. La première saison de chauffage servira de test et de base de décision pour d'éventuels aménagements.

3. Caractéristiques d'une nouvelle installation

Economies d'énergie

Les bâtiments ont été agrandis par étape. Les éléments récents ont une bonne isolation et sont équipés de vitrages isolants. Des mesures supplémentaires d'isolation ne sont pas prévues.

La consommation électrique de pointe représentant des coûts importants, l'installation d'une alarme de pointe devrait être envisagée. La structure de l'entreprise permettant une organisation du travail assez souple, les collaborateurs pourraient être motivés à tenir compte de ce nouvel élément. Le déclenchement automatique de gros consommateurs d'arrière-plan n'est pas envisageable en raison de l'absence de tels consommateurs.

Puissance nécessaire

Chauffage des locaux: 40 kW

Consommation d'énergie calorifique

120 MWh/an

Contenu énergétique des restes de bois

Copeaux et sciures: 150 m³ à 0.9 MWh/m³, soit 135 MWh/an

Restes en morceaux: 40 m³ à 2.5 MWh/m³, soit 100 MWh/an

Bilan des restes de bois

La production annuelle moyenne de restes de bois suffit largement à couvrir les besoins en énergie calorifique. Un manque de combustible est néanmoins à craindre car les restes en morceaux ne sont pas utilisables avec l'installation actuelle et une partie de la production estivale de copeaux doit être évacuée par manque de place dans le silo.

Volume de stockage

Le silo d'un volume brut de 70 m³ n'est pas suffisant pour stocker les copeaux en été. Des aménagements complémentaires seront peut-être nécessaires.

4. Nouvelle installation

Variantes envisageables

La variante C1 du chapitre 4 (installation automatique avec un silo à copeaux) correspond en partie aux exigences. Chaudière UTSS 40 alimentée par un extracteur circulaire à vis de 1/4 de tour. La gestion des copeaux est automatique mais les morceaux ne sont pas utilisés.

Le choix d'une vis d'extraction sur rail, disposée à 10 cm du sol permet de ne pas bétonner le fond du silo, qui peut ainsi rester en terre battue. L'économie réalisée est substantielle.

Cette solution permet d'obtenir un chauffage automatique avec très peu de transformations des bâtiments et installations existantes. Suivant les expériences qui seront faites durant les premiers hivers, l'acquisition d'un déchi-queteur permettra la réalisation de la variante C1 complète.

L'adjonction d'une presse à briquettes est également envisageable afin de diminuer la place nécessaire au stockage des copeaux. D'importantes transformations seraient alors nécessaires au niveau de l'extraction et du transport du combustible, à moins que les briquettes ne soient déchiquetées avant utilisation.

Critères de choix

- Silo de 70 m³ existant.
- Un dispositif d'extraction adapté au silo a pu être trouvé d'occasion.
- Grande production de copeaux.
- Chaufferie à proximité du silo.
- Pas de déchiqueteur ni de presse à briquettes.
- Possibilité d'évacuer une grande partie des restes de bois massif.

Evolution possible

Si les quantités de copeaux ne suffisent pas à passer l'hiver, l'achat d'un déchiqueteur devra être envisagé afin de compléter les quantités de combustible en fin d'hiver par des restes en morceaux qui auraient été conservés à cet effet.

5. Disposition des installations dans une entreprise de grandeur moyenne

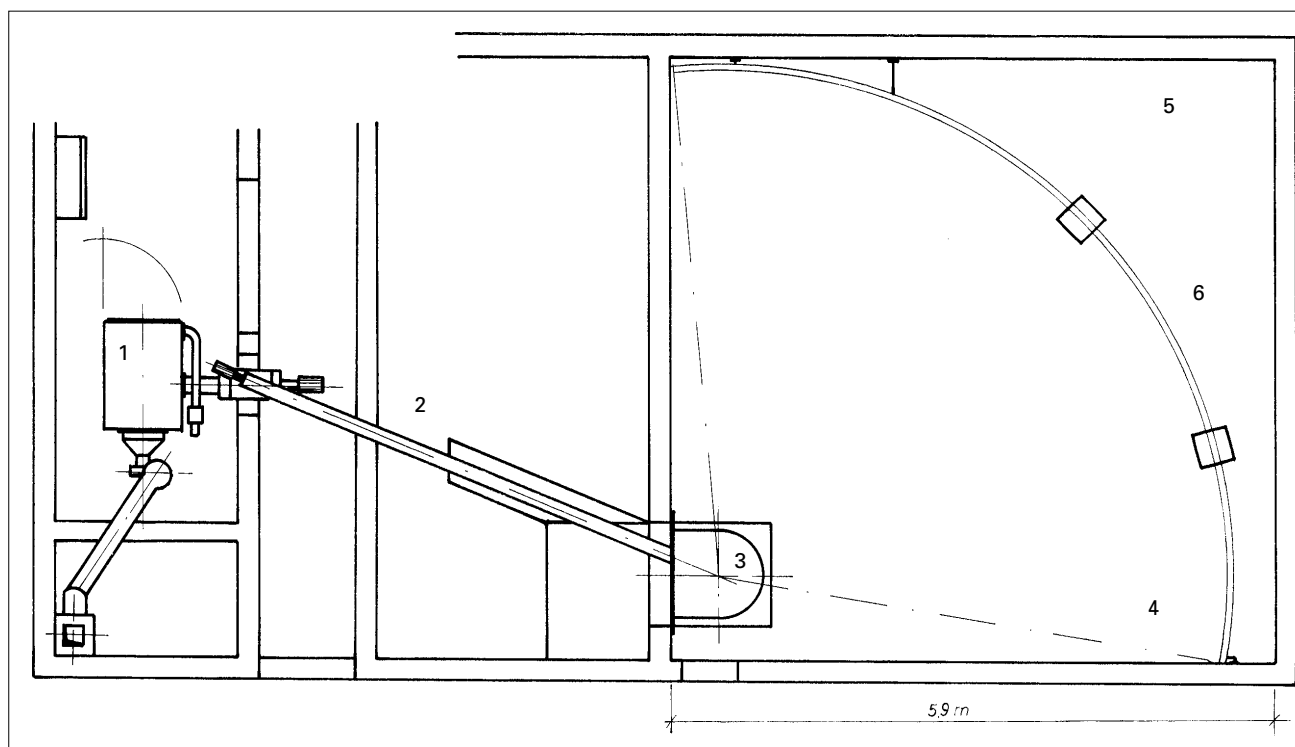


Figure A3.1:
Plan de la disposition de la chaudière et du silo (sans échelle)

- 1 Chaudière
- 2 Vis de transport
- 3 Mécanisme d'extraction pendulaire
- 4 Vis d'extraction
- 5 Silo
- 6 Rail de guidage pour la vis d'extraction

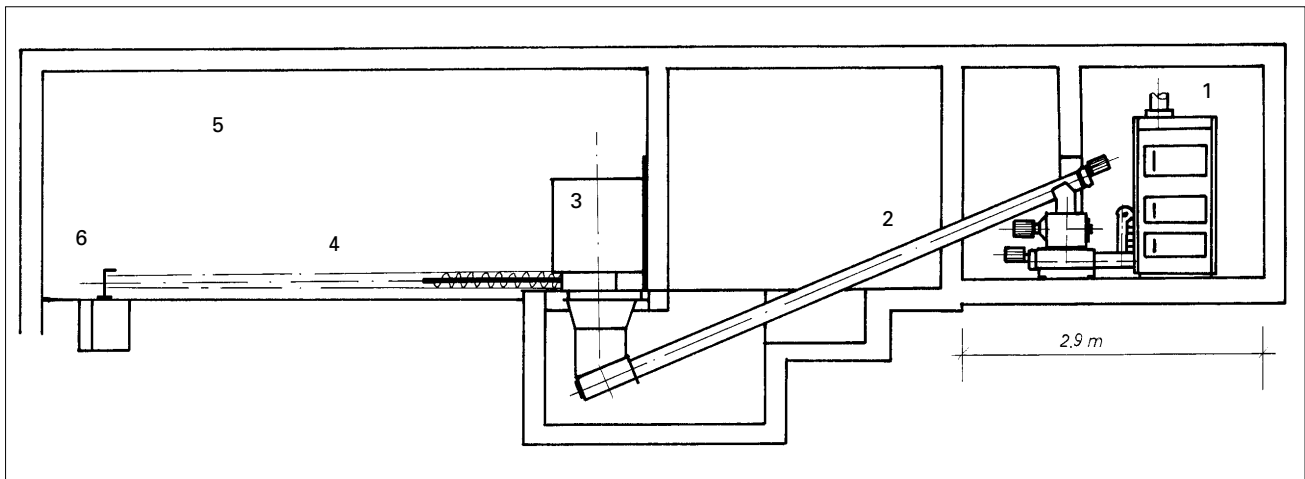


Figure A3.2:
Elévation de la disposition de
la chaudière et du silo (sans
échelle)

- 1 Chaudière
- 2 Vis de transport
- 3 Mécanisme d'extraction
pendulaire
- 4 Vis d'extraction
- 5 Silo
- 6 Rail de guidage pour la vis
d'extraction

A4 Exemple d'une grande entreprise

1. Situation

Le chauffage automatique au bois déchiqueté d'une menuiserie occupant environ 40 personnes a dû être remplacé en deux étapes. L'entreprise produit des objets en bois et utilise presque exclusivement du bois massif (95 %). Elle est située sur le Plateau, à une altitude d'environ 500 m.

Le chauffage d'origine était constitué de deux chaudières de 520 kW chacune. En hiver 1990, une des chaudières doit être remplacée d'urgence car elle tombe en panne. Une nouvelle unité de 250 kW est alors installée.

En 1994, le remplacement de la deuxième chaudière est envisagé.

2. Données de base

Installation existante en 1994

- Une chaudière de 250 kW datant de 1990.
- Une ancienne chaudière de 520 kW.
- Un broyeur lent en bon état.
- Un silo à copeaux de 470 m³ muni d'un extracteur circulaire.
- Une place de stockage pour les délignures en été.
- Chaufferie située en sous-sol, en dessous du silo.

Consommateurs de chaleur industrielle

- Cabine de peinture, sans récupération de chaleur. Consommation moyenne 80 kW.
- Séchoirs à bois alimentés par le chauffage. Puissance nécessaire 80 kW (nécessaires pour la montée en température).

Chauffage des locaux

Le système d'aspiration des copeaux est équipé d'une récupération de l'air chaud. Les filtres et le dispositif de retour étant situé au sommet du silo, les conduites extérieures sont relativement longues. Le rendement de la récupération d'air n'est ainsi pas maximal.

Les volumes des locaux chauffés se répartissent ainsi :

	Volume chauffé	Isolation
Ateliers I	5000 m ³	moyenne, simples vitrages
Ateliers II	6000 m ³	moyenne, doubles vitrages
Administration	700 m ³	bonne, doubles vitrages
Dépôt	400 m ³	moyenne, simples vitrages

Conduite du chauffage

Le concierge de l'entreprise s'occupe du chauffage, l'alarme de panne est reliée à son logement. Cette tâche l'occupe en moyenne 1/2 heure par jour.

Assortiments et gestion du combustible

La fabrication d'objets à partir de bois massif produit des restes de bois sous forme de délignures, chutes, copeaux, sciures et poussières. Les copeaux, sciures et poussières sont directement acheminés vers le silo. Les chutes et délignures doivent être préalablement déchiquetées. La teneur en eau du combustible se situe entre 10 et 15 %.

En été, les chutes et délignures sont stockées avant d'être déchiquetées durant la période de chauffage. Malgré cela, la capacité du silo ne permet pas de stocker la totalité de la production estivale de copeaux. Une partie de ces copeaux sont en conséquence évacués par une entreprise de transport spécialisée. Le système d'extraction du silo possède une sortie à cet effet.

En hiver, les restes de bois massifs sont déchiquetés et acheminés pneumatiquement vers le silo. Le broyeur lent est mal adapté aux délignures, longues et minces. L'aspiration des plaquettes sera adaptée afin de pouvoir recevoir les plaquettes d'un déchiqueteur mobile (à disque ou à tambour) qui viendra sporadiquement pour déchiqueter les délignures.

Malgré cette bonne organisation, un manque de combustible se fait régulièrement sentir durant les mois de février et mars alors qu'une surproduction est observée en fin d'été.

3. Caractéristiques d'une nouvelle installation

Economies d'énergie

Les bâtiments jouissant d'une isolation acceptable et l'air d'aspiration étant récupéré, aucune mesure importante d'économie d'énergie n'est prévue.

Les mesures suivantes pourraient être envisagées à long terme :

- récupération de chaleur sur la cabine de peinture
- remplacement des simples vitrages par des doubles

Puissances nécessaires

- Chauffage des locaux: 670 kW.
- Cabine de peinture: 100 kW.
- Séchoir à bois: 80 kW.

La puissance totale nécessaire est donc de 850 kW.

Consommation d'énergie

- Chauffage des locaux: 1700 MWh/an.
- Cabine de peinture: 140 MWh/an.
- Séchoirs à bois: 30 MWh/an.

La consommation totale d'énergie est donc de 1870 MWh/an (rendement annuel des chaudières 85 %).

Contenu énergétique des restes de bois

2000 m³ de copeaux/plaquettes représentent environ 1800 MWh.

Bilan des restes de bois

La production annuelle de restes de bois devrait suffire à couvrir les besoins en énergie. Le problème se situe au niveau du stockage du combustible en été.

Volume de stockage

Le silo de 470 m³ ne pourrait être agrandi qu'avec des frais disproportionnés. Il ne sera en conséquence pas modifié.

4. Nouvelle installation

Variantes envisageables

La variante C1 du chapitre 4 correspond aux exigences posées. Une nouvelle chaudière MRU 800, de 800 kW est installée.

Critères de choix

- Le broyeur lent peut être conservé.
- Le silo peut être conservé.
- La chaufferie offre assez de place pour recevoir une nouvelle chaudière.

La solution de briqueter les copeaux en été (variante C3) n'a pas été retenue. Les énormes volumes devant être gérés nécessiteraient une presse de grande puissance, entraînant des investissements trop importants.

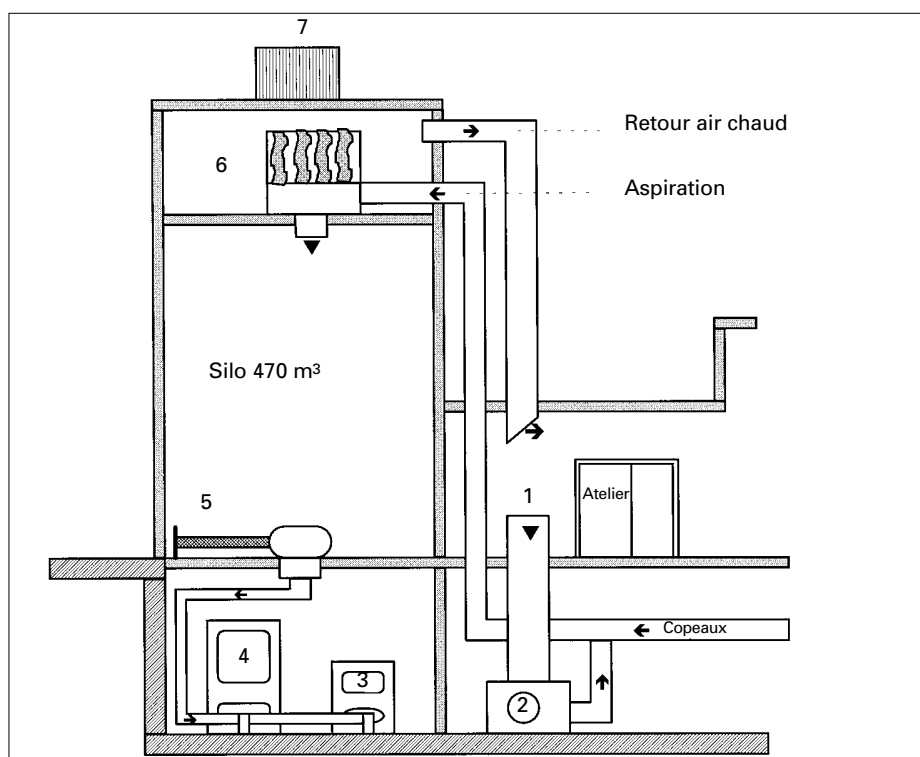
Répartition des puissances

La différence majeure entre l'ancienne et la nouvelle installation réside dans la répartition des puissances entre les deux chaudières. La nouvelle répartition des puissances (une petite chaudière assurant 1/4 de la puissance et une plus importante en apportant 3/4) permet une utilisation plus rationnelle de l'installation et une amélioration du rendement global.

Autres modifications

Les conduites de transport des copeaux et des plaquettes ont été modifiés de façon à permettre le soutirage de copeaux en été et l'introduction de plaquettes en hiver.

5. Disposition des installations dans une grande entreprise



- 1 Déversoir pour le broyeur
- 2 Déshiqueteur en sous-sol
- 3 Chaudière 250 kW
- 4 Chaudière 800 kW
- 5 Extracteur à vis
- 6 Filtres de l'aspiration et retour de l'air chaud
- 7 Cheminée

Figure A4.1 :
Disposition des chaudières, du déshiqueteur et du silo (sans échelle)

A5 Systèmes d'extraction pour silos

Extraction en cône

Domaine d'utilisation:

Menuiseries et charpenteries

Description:

Une vis inclinée circule dans le silo en décrivant un cercle. Son mouvement concentre le combustible au centre du fond du silo, là où se trouve le dispositif d'extraction et de transport.

Avantages

- Système d'extraction bon marché.
- Adapté aux silos de grande hauteur ayant une faible surface au sol.
- Elimination du danger de formation de ponts.

Désavantages

- Le volume brut du silo n'est pas totalement utilisé.
- Surface de base limitée.

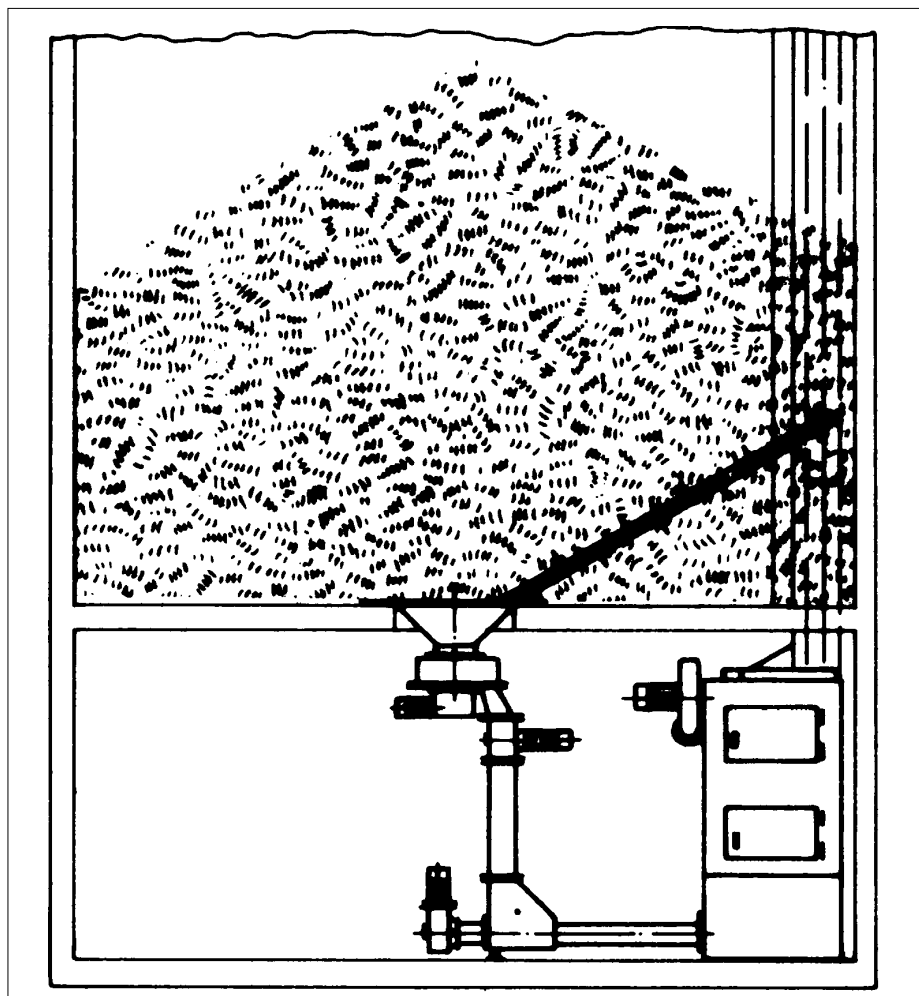


Figure A5.1:
Système d'extraction en cône
dans une section carrée

Extraction centrale

Domaine d'utilisation:
Menuiseries et charpenteries

Description:
Une vis disposée à plat au fond du silo décrit un mouvement circulaire (360°) et dirige le combustible au centre, là où se trouve le dispositif d'extraction et de transport.

Extraction pendulaire: le fonctionnement est semblable mais la vis ne fait qu'un mouvement pendulaire (180°).

Avantage

- Peut également être utilisé pour des silos dont le diamètre dépasse 4 m ($O > 4$ m).

Désavantages

- Sensible aux corps étrangers.
- Tendance à la formation de ponts.

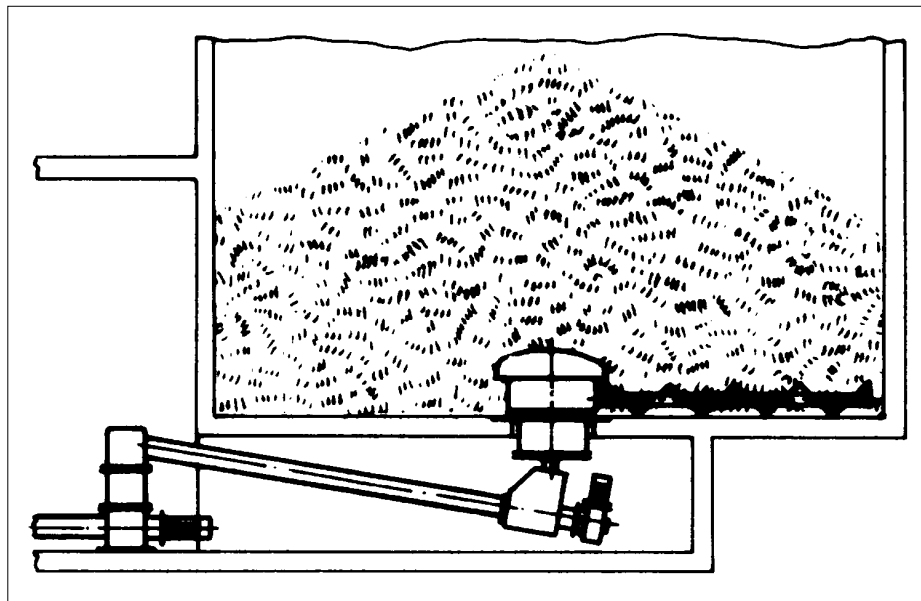


Figure A5.2:
Extraction centrale pour un silo
de section carrée

Extraction à racloirs

Domaine d'utilisation:

Menuiseries, charpenteries et menuiseries

Description:

Les mouvements avant/arrière d'une série de profils racleurs situés au fond du silo poussent le combustible vers une spirale généralement située au bord du silo. Une vis assure le transport du combustible dans la rigole.

Avantages

- Pas d'éléments mécaniques dans le combustible.
- Insensible à la grosseur et à l'humidité du combustible.
- Tendance à la formation de ponts quasi inexistante.

Désavantage

- Système cher.

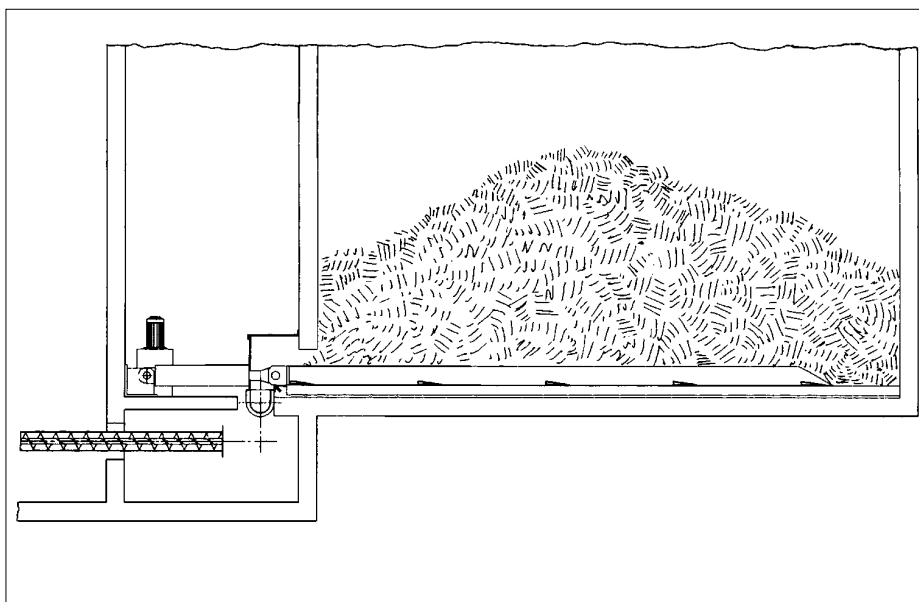


Figure A5.3:
Extraction à racloirs dans un silo carré

A6 Prescriptions de l'OPair pour les bois de chauffage

Prescriptions valables pour la combustion du bois de chauffage

	Puissance de l'installation					
	de 20 kW à 70 kW	de 70 kW à 200 kW	de 200 kW à 500 kW	de 500 kW à 1 MW	de 1 MW à 5 MW	plus de 5 MW
Référence: Les valeurs limites se réfèrent à une teneur en oxygène de ... % Vol. dans les gaz de fumées	13%	13%	13%	13%	11%	11%
Particules solides: total ... mg/m ³	–	150	150	150	150	50
Monoxyde de carbone (CO) bois à l'état naturel ... mg/m ³ restes de bois ... mg/m ³	4000 1000	2000 1000	1000 800	500 500	250 250	250 250
Oxydes d'azote (NO_x)	voir tableau suivant	voir tableau suivant	voir tableau suivant	voir tableau suivant	voir tableau suivant	voir tableau suivant
Substances organiques gazeuses exprimées en carbone total (C) mg/m ³	–	–	–	–	50	50
Ammoniacque et liaisons de l'ammoniacque exprimées en ammoniacque ... mg/m ³	–	–	–	–	30	30

Nota:

- un tiret dans le tableau signifie qu'aucune limitation n'est prescrite;
- la limitation des émissions d'ammoniacque n'a de sens que pour les installations équipées d'un système de dénitrification correspondante.

Limitation des oxydes d'azote

La limitation des oxydes d'azote n'intervient qu'à partir d'une émission globale de NO_x de 2500 g/h. Elle n'est donc applicable qu'à partir d'une certaine puissance, selon le combustible.

Le tableau suivant présente les ordres de grandeur de puissances à partir desquelles une dénitrification s'avère nécessaire.

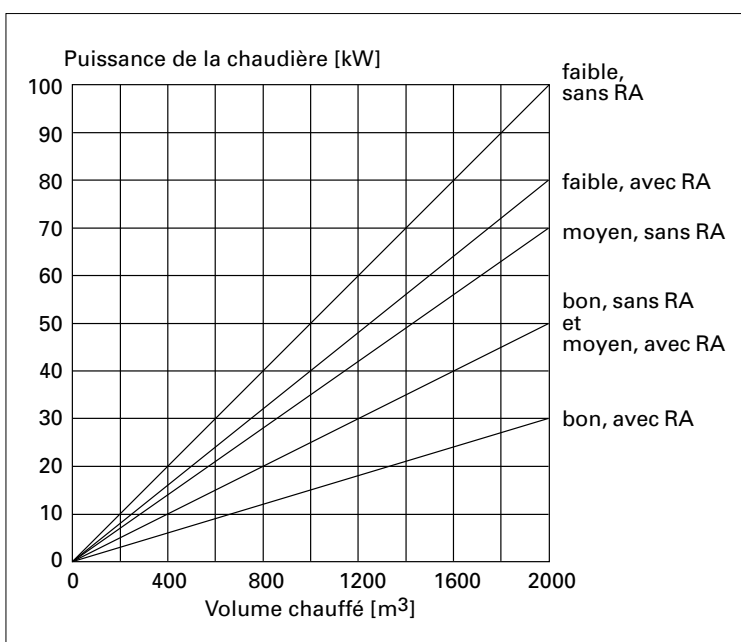
Combustible composé de	Quantité de NO _x dans les gaz de fumées [mg/m ³] NO ₂ à 11% O ₂	Dénitrification nécessaire à partir de [MW]
100% de bois à l'état naturel	200 – 300	4
100% de bois à l'état naturel et 50% de restes de bois	300 – 500	2,5
100% de restes de bois	500 – 800	1,5

A7 Diagrammes et tableaux

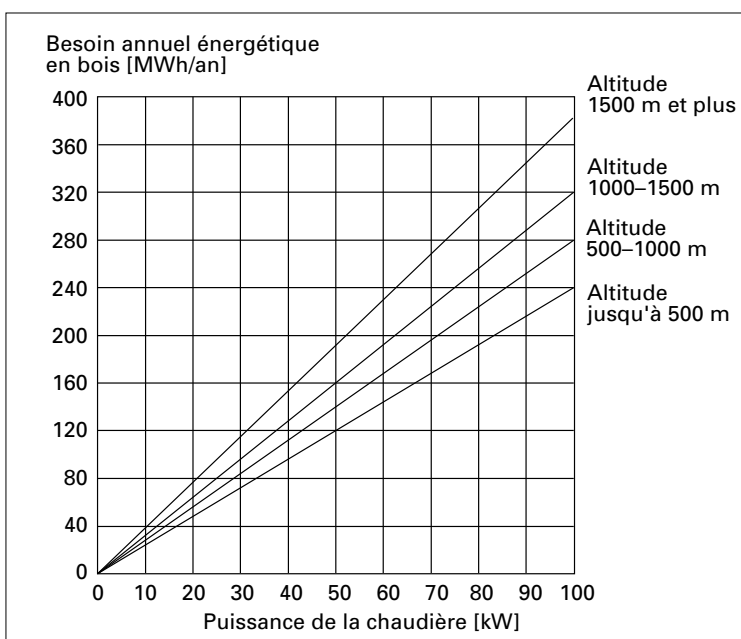
(Originaux à copier)

Estimation des données de base en vue du dimensionnement d'une installation

Entreprise	Fait pour l'année:	Date, visa
------------	--------------------	------------



I. Diagramme de puissance de la chaudière



II. Diagramme du besoin en énergie bois

III. Tableau du contenu énergétique des restes de bois

Deux méthodes simples sont proposées pour déterminer les quantités annuelles de restes de bois et leur contenu énergétique:

1^{ère} méthode

Lorsque les quantités de restes de bois sont connues

Assortiments de restes de bois	Quantités (Q) (m ³ /an)	Facteur énergétique (F)	Contenu énerg. (E) (MWh/an) $Q \times F = E$
Copeaux, plaquettes, poussières écorces déchiquetées (m ³ pl)		0.7	
Chutes de bois massif (m ³)		2	
Chutes de panneaux (m ³)		3.5	
Contenu énergétique total			

2^e méthode

Lorsque seule la consommation de bois est connue

Assortiments de restes de bois	Consommation annuelle de bois (m ³)	Quantités (Q) (m ³ /an)	Facteur énergétique (F)	Contenu énerg. (E) (MWh/an) $Q \times F = E$
Bois massif			2	
Panneaux			3.5	
Contenu énergétique total				

Valeurs moyennes pour la production de restes de bois

		Construction	Meubles
Menuiserie/Charpente	Bois massif	Morceaux	15–20–30%
		Copeaux	10–15–20%
	Panneaux	Morceaux	7–10–13%
		Copeaux	1%
Scierie	Dosses et délignures		16–20–25%
	Sciure		7–8–9%
	Ecorce (lors de l'écorçage)		7–10–12%

IV. Tableau du bilan des restes de bois

Contenu énergét. de la production annuelle de restes de bois (Report du tableau III MWh/an)	
Besoin annuel en énergie bois (Report du diagramme II MWh/an)	
Surplus/manque annuel en énergie bois	

V. Tableau du volume de stockage

Assortiments de restes de bois	Quantités (Q) (m ³ /an)	Facteur de foisonnement (A)	Volume (V) (m ³ /an) $Q \times A = V$	Volume de stockage (S)(m ³ /an) $V \times 0.5 = S$
Copeaux, plaquettes, poussières écorces déchiquetées (m ³)		1		
Chutes de bois massif (m ³)		2.5		
Chutes de panneaux (m ³)		2.5		

*) Nota: à partir de 500 m. d'altitude, le volume de stockage est réduit en raison de l'allongement de la période de chauffage

Volume de stockage total *)

A8 Adresses importantes

OFQC

Office fédéral des questions conjoncturelles
Effingerstrasse 27, 3003 Berne
Tél. 031/322 21 29 – fax 031/372 41 02

Renseignements concernant les programmes d'action:
RAVEL/Utilisation rationnelle de l'électricité;
PACER/Programme d'action énergies renouvelables et
PI BAT/Entretien et rénovation des constructions.

OFEPF

Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage
Hallwylstrasse 4, 3003 Berne
Tél. 031/322 93 11 – fax 031/322 99 81

Renseignements concernant l'Ordonnance sur la protection de l'air (OPair)
et l'Ordonnance sur le traitement des déchets (OTD).

OFEN

Office fédéral de l'énergie
Kapellenstrasse 14, 3003 Berne
Tél. 031/322 56 11 – fax 031/382 43 07

Renseignements concernant les programmes d'encouragement
Energie 2000 de l'OFEN.

Programme d'encouragement en faveur du bois

c/o Association suisse pour l'énergie du bois
Rue Mauborget 14, 1510 Moudon
Tél. 021/905 48 28 – fax 021/905 48 27

Prestations: conseils et information, marche à suivre pour tous types de
chauffage au bois, possibilités de soutien de la part des cantons et de la
Confédération.

DIANE Bois de récupération et vieux papiers, source d'énergie

Ruedi Bühler, Bureau d'ingénieur Environnement + Energie
Dörfli 5, 8933 Maschwanden
Tél. 01/767 15 16 – fax 01/767 15 54

Prestations: conseils concernant la marche à suivre et les pré-évaluations
dans le domaine des installations de combustion de bois de récupération
et de vieux papiers, encouragement à l'application des nouvelles technolo-
gies.

DIANE Petits chauffages au bois

Christian Völlmin, Sopra AG, Liestal
Antenne romande:
Philippe Steinmann, Xylon SA
Chemin des Aulx 18, 1228 Genève
Tél. 022/794 01 01 – fax 022/794 01 11

Prestations: conseils et encouragement à l'application de nouvelles techno-
logies dans le domaine des petits chauffages au bois, soutien de projets de
mesures et de démonstration.

Programmes d'action

Ordonnance sur la protection de l'air

Energie 2000

Directives de protection incendie**AEAI**

Association des Etablissements cantonaux d'assurance incendie
 Bundesgasse 20, 3011 Berne
 Tél. 031/320 22 22 fax 031/320 22 99

Renseignements relatifs aux directives de protection incendie concernant la manutention, le stockage et l'utilisation des restes de bois, adresses des assurances cantonales pour les bâtiments.

Prescriptions concernant la sécurité**CNA**

Caisse nationale suisse d'assurance en cas d'accident
 Case postale, 6002 Lucerne
 Tél. 041/21 51 11 – fax 041/21 58 28

Renseignements concernant les prescriptions en matière de sécurité du travail, particulièrement pour le stockage des restes de bois.

Centres de conseils en matière d'énergie**FRIBOURG**

Département des transports et de l'énergie
Suivi des dossiers et application de la législation
 13, rue Joseph-Piller, 1700 FRIBOURG
 Tél. 037/25 28 42/43 – fax 037/25 28 48
 Questions techniques: tél. 037/25 28 46

GENÈVE

Office cantonal de l'énergie (OCEN)
Centre d'information sur l'énergie
 4, Puits-Saint-Pierre, 1204 GENÈVE
 Tél. 022/319 23 23 – fax 022/319 20 94

JURA

Centre d'information sur les économies d'énergies
 2, rue des Moulins, 2800 DELÉMONT
 Tél. 066/21 53 90 – fax 066/22 76 18

JURA BERNOIS

Service d'information sur les économies d'énergies
 2, rue de la Préfecture, 2608 COURTELARY
 Tél. 039/44 18 40

NEUCHÂTEL

Infoénergie
 16, rue de Tivoli, 2003 NEUCHÂTEL
 Tél. 038/39 47 26 – fax 038/39 60 60

VALAIS

Département cantonal de l'énergie
 Service de l'énergie
 7, avenue du Midi, 1950 SION
 Tél. 027/60 31 00 – fax 027/60 30 04

VAUD

Info-Energie Centre cantonal
 5, rue de l'Université, 1014 LAUSANNE
 Tél. 021/316 70 16 – fax 021/316 70 36

Service télématique Vidéotex

VIDÉOTEX, code *ENERGIES# ou *5747#

A9 Bibliographie

Chauffages centraux au bois

Office fédéral des questions conjoncturelles, Berne 1989
PI BAT Form 724.623 f

Programmes d'impulsions

Chaleur par le bois

Office fédéral des questions conjoncturelles, Berne 1988
PI BOIS Form 724.950 f

Emissionen von Holzfeuerungen

Schlussbericht NFP 12-Projekt 4.971.0.86.12,
Nussbaumer, Th., Institut für Energietechnik,
ETH-Zürich, Zürich 1988

Programme national de recherche (PNR) 12

Energiehandbuch für die Holzverarbeitenden Betriebe

Schriftenreihe des Bundesamt für Energiewirtschaft, Studie Nr. 42, NFP 12,
Bern 1987

Directives de protection incendie, installations thermiques

Association des établissements cantonaux d'assurance incendie (AEAI),
Berne 1993

Directives et prescriptions

Ordonnance sur la protection de l'air (OPair)

Ordonnance fédérale RS 814.318.142.1,
Berne 01.01.1992

Ordonnance sur le traitement des déchets (OTD)

Ordonnance fédérale RS 814.015, Berne 10.12.1990

Emissions de dioxines par les chauffages au bois

Hasler, Ph., Nussbaumer, Th., Bühler, R., 1993, Série Environnement
N° 208, Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage,
Berne 1993

Publications générales

Schadstoffbildung bei der Verbrennung von Holz

Diss. ETH Nr. 8838, Nussbaumer, Th., Zürich 1989

Energetische Nutzung von Holz, Holzreststoffen und Altholz

Nussbaumer, Th. (Hrsg.), Bundesamt für Energiewirtschaft, ENET,
Bern 1990

Neue Konzepte zur schadstoffarmen Holzenergie-Nutzung

Nussbaumer, Th. (Hrsg.), Bundesamt für Energiewirtschaft, ENET,
Bern 1992

Stickoxyde bei der Holzverbrennung

Nussbaumer, Th., Heizung Klima 12 1988, 51-62

Organisations faîtières

VSSM

Verband Schweizerischer Schreinermeister
und Möbelfabrikanten

Association suisse des maîtres menuisiers
et fabricants de meubles

FRM

Fédération romande des entreprises de
menuiserie, ébénisterie, charpentes,
des fabriques de meubles
et des parqueteurs

Patronage

SSMC

Société suisse des maîtres charpentiers

ASEB

Association suisse pour l'énergie du bois

ASIB

Association suisse des scieries
et de l'industrie du bois

CBS

Comité bois suisse
