





XYLOG 320 : diamètre maxi 320 mm (NOUVEAU)

XYLOG 320: diametre maxi 320 mm (NOUVE)
XYLOG 400: diamètre maxi 400 mm
XYLOG 550: diamètre maxi 550 mm
XYLOG 700: diamètre maxi 700 mm
+ Système automatisé de cubage du bois











RABAUD - BELLEVUE - 85 110 SAINTE-CÉCILE (FRANCE)
TÉL: 02 51 48 51 51 - FAX: 02 51 48 51 53 - info@rabaud.com

# Cahier n° 56 Génie civil des chaufferies et réseaux de chaleur au bois

### Sommaire

• Edito, par Serge DEFAYEp.19
• Le génie civil d'une installation bois-énergie, de l'idée du projet à sa réalisationp.20
Bien concevoir le silo de stockage du combustible boisp.22
Retour d'expérience sur l'emprise foncière et l'intégration architecturale de chaufferies boisp.26
• Les chaufferies bois en container p.30
Le génie civil des réseaux de chaleur     n 31

sont publiés avec le soutien de l'Ademe (direction productions et énergies durables - service bioressources) et du Bois International, sous la responsabilité éditoriale de Biomasse Normandie.

Ce cahier a été préparé par Stéphane COUSIN et Mathieu FLEURY (Biomasse Normandie) et Serge DEFAYE (CIBE). Nous remercions les membres de la commission "Retour d'expériences de conception, construction et exploitation" du CIBE, Jean-Pierre TACHET (CIBE, secrétaire / animateur de cette commission), Régis DOUGOUD (Energico), Fabien LANTELME (Inpal) et Patrick RIEHL pour leur contribution.

Mise en page par la rédaction du Bois International.

Les Cahiers du bois-énergie, co-édités par Biomasse Normandie

et le Comité interprofessionnel du bois-énergie (CIBE),

# Édito

### Être plus attentif au lot génie civil

Dans l'esprit des décideurs et parfois des ingénieurs, une "chaufferie bois" se résume trop souvent au cœur du process, c'est-à-dire à la chaudière et à ses équipements périphériques (automate, traitement des fumées, évacuation des cendres...). Le bâtiment, les aires de manœuvre, les tranchées destinées à accueillir les canalisations enterrées représentent pourtant, en termes d'investissement, des postes aussi lourds, parfois plus même, que les équipements thermiques qu'ils abritent et ceci constitue une pierre d'achoppement pour certains projets.

Les prescripteurs et les entreprises doivent (ou devraient) répondre à trois exigences, souvent contradictoires :

- la fonctionnalité d'abord;
- l'esthétique ensuite;
- le coût de l'ouvrage, ramené à son emprise au sol, enfin.

L'objectif premier est évidemment de disposer d'un ensemble suffisamment vaste et bien conçu, de sorte que les équipements (mécaniques en particulier) fonctionnent sans incident (attention aux coudes à 90 ° par exemple !) et que les agents d'exploitation puissent intervenir facilement pour les opérations de maintenance.

Un bâtiment de type industriel, en zone urbanisée, proche des bâtiments desservis par la chaudière directement ou via un réseau de chaleur, doit présenter une qualité architecturale incontestable (en prenant en compte les normes de sécurité dans le choix des matériaux...) et satisfaire aux exigences du cahier des charges et aux contraintes d'urbanisme, mais ne pas être surdimensionné ou inutilement luxueux.

La maîtrise des coûts suppose qu'il faille optimiser les volumes (surfaces et surtout hauteurs) nécessaires, ce qui est loin d'être toujours le cas. Le génie civil ne doit pas "plomber" l'économie d'un projet et par voie de conséquence le prix de revient de la chaleur produite, payée au final par l'usager. À cet égard, quand on compare les réalisations françaises et celles des autres pays européens, on s'aperçoit que les coûts des lots techniques (chaudière, équipement hydraulique, canalisations) sont assez proches, mais que le poste génie civil, à puissance installée identique, est environ 1,5 fois plus élevé en France qu'en Allemagne ou en Autriche par exemple. Ce constat doit nous conduire à reconsidérer la conception des bâtiments, des aires de manœuvre, des aménagements paysagers...

Comme le dit le proverbe "le diable se niche souvent dans les détails". Celui-ci s'applique au présent dossier... Les promoteurs / concepteurs de chaufferies bois se sont attachés à la technologie de production / distribution et c'est une bonne chose, mais ont trop souvent négligé l'enveloppe, sa qualité et son prix, ce qui obère alors le résultat attendu.

Serge DEFAYE Président du CIBE

- Génie civil des chaufferies et réseaux de chaleur au bois
- >>> Interview de Régis DOUGOUD, responsable maîtrise d'œuvre du bureau d'ingénierie thermique / fluides Energico

# Le génie civil d'une installation bois-énergie, de l'idée du projet à sa réalisation

**Le Cahier du bois-énergie -** Qu'appellet-on "génie civil" d'une installation bois-énergie ?

Régis Dougoud - Les postes de génie civil d'un projet bois-énergie sont le bâti (chaufferie et silo), les voiries sur le site d'implantation (aires de roulement et de manœuvre des camions de livraison de combustible) et, en cas de raccordement de plusieurs bâtiments, le réseau de distribution de la chaleur et les pénétrations dans les sousstations. En outre, au-delà des stricts aspects fonctionnel (quel ouvrage concevoir pour satisfaire les besoins ?) et structurel (comment le réaliser ?), on comprend aussi dans le champ du génie civil l'impact des éléments du bâti sur leur environnement immédiat : intégration architecturale de l'ensemble chaufferie / silo (forme, taille, couleur...), hauteur de cheminée et dispersion du panache de fumée (vents dominants), sécurité des personnes...

# **CBE** - Comment le génie civil est-il pris en compte dans la conception / réalisation du projet ?

**R. D. -** Il est question de génie civil à tous les stades de développement d'un projet, avec toutefois des degrés de précision très différents. A l'occasion de la note d'opportunité qui vise à évaluer l'intérêt global du projet sur la base de ratios techniques et économiques, le génie civil est abordé de manière très succincte : schéma type de chaufferie bois, avis sur l'emplacement et l'intégration de la chaufferie, linéaire approximatif du

réseau. Lors de l'étude de faisabilité, l'analyse s'affine. L'étude thermique permet alors de définir la puissance de la chaudière bois à installer, conditionnant ainsi le des technologies à mettre en œuvre. En prenant également en compte les obligations réglementaires (chaufferie, dépoussiérage des fumées...), les volontés particulières du maître d'ouvrage (site d'implantation non discutable, appoint bois...) et les contraintes locales (intégration architecturale, modes d'approvisionnement en combustible...), il est possible de définir l'organisation spatiale de l'installation (chaufferie, silo, aires de manœuvre) et le tracé prévisionnel de l'éventuel réseau associé et d'estimer l'enveloppe budgétaire relative au génie civil. Enfin arrive la dernière étape, la réalisation proprement dite. A ce stade, ce sont les études de maîtrise d'œuvre (avant-projets sommaire et définitif) qui permettent de figer le choix des solutions techniques, d'établir les plans de construction et les études techniques détaillées avec des notices par corps d'état, d'obtenir un engagement sur le prix des travaux et une estimation précise des budgets par poste. Le maître d'œuvre supervise ensuite les travaux et les harmonise dans le temps et l'espace.

**CBE** - On constate régulièrement que le poste génie civil de l'installation est techniquement et économiquement différent de celui envisagé lors de

l'étude de faisabilité. Comment peuton l'expliquer ?

R. D. - Si l'on exclut les cas où l'étude de faisabilité est de mauvaise qualité ou la réalisation optimisée, les écarts sont liés à trois raisons majeures. Premièrement, il est fréquent que plusieurs mois, voire années, séparent l'étude de faisabilité de la maîtrise d'œuvre. Dans ce cas, la physionomie du projet peut être fortement modifiée : raccordements supplémentaires au réseau de chaleur, nouveau site d'implantation de la chaufferie, évolution du coût des matériaux... L'avant-projet sommaire, qui en temps normal a pour but de valider l'étude de faisabilité, consiste ici à la refaire. Deuxièmement, en phase de maîtrise d'œuvre est réalisée une étude de sol dont les conclusions peuvent conduire à adapter le projet envisagé, avec pour corollaire une augmentation quasi systématique du coût du génie civil. Par exemple, si le sol n'est pas suffisamment porteur, des fondations spéciales (pieux, colonnes ballastées...) sont obligatoires. De même, des remontées de nappe phréatique requièrent l'étanchéité du silo (cuvelage) ou le choix d'un silo de plain-pied. Troisièmement, le maître d'œuvre peut avoir une vision différente de celle du bureau d'études ayant analysé la faisabilité, généralement dictée par un fort retour d'expérience sur ses propres installations.

# **CBE** - Quelles sont vos recommandations pour réussir le génie civil d'un projet bois-énergie ?

- **R. D. -** En matière de génie civil, la réussite n'est possible que si l'on pense à tous les détails. C'est probablement la seule véritable réponse à la question. Néanmoins, des principes généraux peuvent être énoncés :
- bien connaître le sol sur lequel l'installation va être implantée ;
- correctement dimensionner le silo de stockage du combustible et s'assurer que les véhicules de livraison envisagés peuvent manœuvrer et vider leur contenu sans encombre (et bien évidemment, accéder au site de la chaufferie);
- réaliser l'agencement de la chaufferie de manière à en limiter la taille tout en veillant à la fonctionnalité pour l'exploitation des équipements ;
- enfin, une recommandation sur le plan économique : une chaufferie bois n'est pas une œuvre d'art, c'est avant tout un bâtiment technique ; il est important de l'intégrer dans son environnement mais il ne faut pas oublier que des fonds publics sont mobilisés et qu'il convient d'optimiser leur utilisation.

### **✓ ZOOM**

### Petit point sur la réglementation

Le génie civil des chaufferies bois ne fait pas l'objet d'une réglementation spécifique : les ouvrages doivent être réalisés dans le respect des règles en vigueur régissant la construction.

On trouve toutefois des obligations et informations concernant les principales règles d'implantation, la sécurité, le comportement au feu, les conduits d'évacuation et les cheminées dans les arrêtés suivants :

- 20 juin 1975 : équipement et exploitation des installations thermiques en vue de réduire la pollution atmosphérique et d'économiser l'énergie (bien qu'abrogé, l'arrêté sert encore de base au calcul de hauteur des cheminées pour les installations de moins de 2 MW);
- 23 juin 1978 : installations fixes destinées au chauffage et à l'alimentation en eau chaude sanitaire des bâtiments d'habitation, de bureaux ou recevant du public ;
- 25 juin 1980 : dispositions générales du règlement de sécurité contre les risques d'incendie et de panique dans les établissements recevant du public ;
- 25 juillet 1997 : prescriptions générales applicables aux installations classées pour la protection de l'environnement soumises à déclaration sous la rubrique n° 2910 (combustion) ;
- 23 juillet 2010 : chaudières présentes dans les installations de combustion d'une puissance thermique supérieure ou égale à 20 MWth autorisées ou modifiées à compter du 1<sup>er</sup> novembre 2010.

Les réglementations liées au site d'implantation (plan local d'urbanisme...) et concernant notamment l'intégration architecturale sont également à respecter.



Génie civil des chaufferies et réseaux de chaleur au bois

# Bien concevoir le silo de stockage du combustible bois

Cet article ne concerne pas le stockage de longue durée en forêt ou sur plateforme, mais bien le stockage de combustible sur le site de la chaufferie bois, dans un silo adjacent à celle-ci. La conception d'un tel silo doit prendre en compte les paramètres suivants :

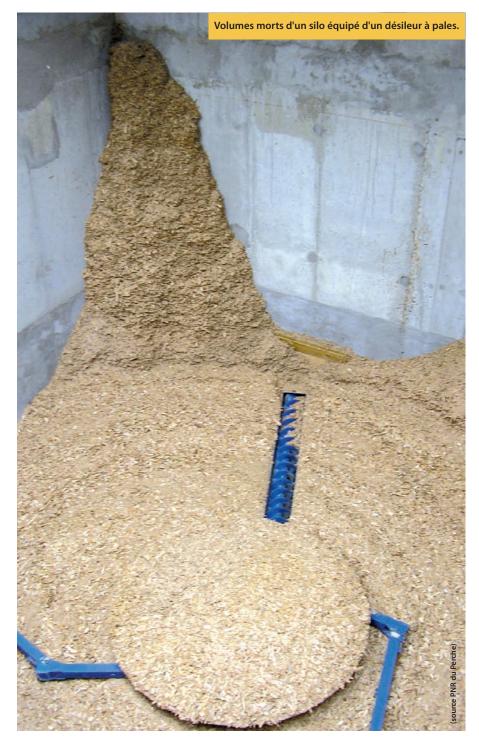
- la disponibilité foncière (surface, nature du sol) ;
- les modes de livraison (type de benne, volume des camions) et de remplissage retenus ;
- l'autonomie souhaitée pour l'installation :
- l'intégration architecturale;
- la disponibilité des équipements (chargeur...) et du personnel sur le site.

## Comment calculer le volume du silo?

Tout d'abord, il convient d'avoir à l'esprit que le volume réel (en eau) du silo est différent de son volume utile (combustible disponible pour la chaudière). Il faut en effet tenir compte des volumes "morts" (impossibilité de remplir à ras le silo, inaccessibilité de certaines zones par le système de désilage), qui peuvent par exemple représenter :

- jusqu'à 30% du volume réel d'un silo enterré carré avec un désileur à pales ;
- de l'ordre de 15% dans un silo enterré rectangulaire équipé d'un système de désilage à racleurs.

Le volume utile de combustible qui doit être stocké sur le site de la chaufferie est déterminé sur la base de l'autonomie souhaitée pour l'installation, c'est-à-dire le nombre de jours pendant lesquels la chaudière bois est capable de fonctionner à puissance maximale sans qu'il y ait besoin de remplir le silo. L'autonomie est donc liée au rythme



auquel la livraison de combustible est possible : elle est au minimum de trois jours (week-end prolongé) et peut être supérieure si des contraintes spécifiques existent (neige, barrières de dégel...). Il est nécessaire d'intégrer dans l'autonomie le fait que le silo ne doit pas être complètement vide au moment de la livraison afin d'éviter tout risque de rupture d'approvisionnement. De même, toute vidange du camion doit pouvoir être effectuée en totalité. Ainsi, le volume utile du silo doit correspondre au minimum à 1,5 fois la capacité de la benne de livraison. De ce fait, pour les chaudières de faible puissance, c'est en réalité le mode de livraison et la contenance des engins utilisés qui dictent le volume du silo à prévoir.

### Typologie des silos de stockage

### Utilisation d'un local existant

Dans le cas d'une chaufferie dédiée de petite puissance (moins de 200 kW), il est possible d'utiliser un local du bâtiment (en sous-sol ou de plain-pied) pour stocker le combustible.

Le plus souvent, le déchargement du combustible se fait dans un pré-silo de faible profondeur équipé d'une vis sans fin pour le transfert du bois vers le silo de stockage. Cette configuration est cependant rarement optimale : importants volumes morts, difficultés de déchargement du véhicule de livraison... On aboutit même parfois à des configurations techniquement aberrantes ou inacceptables au plan de la sécurité (locaux recevant du public...).

Une autre solution consiste à réaliser des livraisons par voie pneumatique (camion souffleur). Ce choix, particulièrement adapté pour les granulés, présente un double avantage : il limite le génie civil et facilite la livraison (possibilité d'une distance maximale de l'ordre de 50 m entre le camion et le silo).

### Création du silo

La plupart du temps, la mise en place d'une chaudière bois implique la construction du silo ex-nihilo. Les principaux modes de stockage du combustible sont :

- un silo enterré de 30 à 250-300 m<sup>3</sup> utiles (limites techniques), adapté à des chaufferies de puissance inférieure à 3 MW; la livraison se fait par tracteur

Autonomie (en jours) de la chaudière selon le volume utile du silo (source Biomasse Normandie)

		Puissance chaudière (kW)				
		200	800	1.500	3.000	5.000
Volume utile du silo (m³)	30	5	_	_	_	_
	50	8	_	_	_	_
	90	15	4	_	_	_
	150	_	6	_	_	_
	200	_	8	4	_	_
	300	_	_	5	3	_
	400	_	_	_	4	_
	600	_	_	_	6	3

Caractéristiques des combustibles considérés :

- PCI de 3,3 MWh/t et densité de 280 kg/m³ pour les chaufferies de petite ou moyenne puissance (800 kW inclus) ;
- PCI de 2,5 MWh/t et densité de 300 kg/m³ pour les chaufferies de plus forte puissance.

avec benne agricole ou par camion benne (basculante ou à fond mouvant);

- un stockage principal de plain-pied associé à un silo ou à une trémie tampon ; la livraison s'effectue par camion avec tout type de benne, de préférence à fond mouvant.

Un silo enterré peut être de section carrée et associé à un système de désilage par pales ou vis rotatives : il est dans ce cas plutôt de faible volume (moins de 100 m³ utiles), adapté aux chaufferies de faible puissance. Il peut au contraire être de section rectangulaire et équipé d'échelles de racleurs : il convient alors à des installations plus importantes.

Le stockage de plain-pied est réalisé lorsque :

- un silo enterré ne peut être envisagé à cause d'une contrainte liée à la nature du sol ;
- le volume minimum de stockage nécessaire sur le site est supérieur aux limites techniques d'un silo enterré;
- on souhaite, pour les chaufferies de petite puissance, stocker in situ la totalité (ou une grande part) du combustible consommé annuellement quand ce dernier est issu d'une filière locale de production (plaquettes forestières, bocagères...).

Concernant les silos de plain-pied, deux cas peuvent être distingués :



# Stockage avec utilisation d'un grappin monté sur pont roulant Silo enterré Stockage avec utilisation d'un grappin monté sur pont roulant Silo enterré Stockage avec utilisation d'un grappin monté sur pont roulant

### Principaux modes de stockage du combustible bois en chaufferie (source Compte R.)

- utilisation d'un grappin : le combustible, livré dans une fosse de déchargement (150 à 200 m³), en est extrait par un système de pont roulant / grappin (gestion automatique par programmation) pour être stocké dans un silo tampon de plain-pied puis repris pour être déposé dans le silo d'alimentation de la chaudière, équipé d'échelles de racleurs ; ce dernier peut être la fosse de déchargement, un silo bétonné de plain-pied ou une trémie aérienne ;
- utilisation d'un chargeur :
- hangar (éventuellement organisé en boxes) équipé d'échelles de racleurs carrossables ; l'engin de manutention sert à pousser le combustible avant et après livraison ;
- hangar partiellement équipé d'un système de désilage à racleurs non carrossables ; il est nécessaire de prévoir un passage régulier (quotidiennement ou tous les deux jours) de l'opérateur pour l'alimentation de la zone silo tampon à l'aide du chargeur;
- pour les chaufferies de petite puissance, hangar dépourvu de système de désilage ; le chargeur permet d'alimenter

le silo tampon enterré ou de plain-pied, distinct du silo principal.

# Retours d'expérience : problèmes rencontrés et solutions

La commission "retour d'expériences de conception, construction et exploitation" du CIBE a listé les différents problèmes rencontrés lors de la livraison et du stockage de combustible bois ainsi que leurs conséquences d'exploitation et les solutions apportées. Elle en a tiré quelques recommandations pour une meilleure conception et/ou exploitation.

### Difficultés liées à la capacité de stockage et/ou à la vidange du camion dans le silo

### Causes:

- silo trop petit (volume utile inférieur au volume de la benne de livraison);
- inaccessibilité d'une partie du silo enterré (impossibilité de le remplir de façon optimale) :

- silo trop large et remplissage préférentiel du côté de la livraison ;
- silo rectangulaire accessible uniquement sur la largeur à cause d'un manque de place pour le braquage des camions ;
- toiture ne permettant pas une ouverture complète du silo (toitures gigognes coulissant vers l'arrière ou latéralement);
- toiture de silo enterré ne dégageant pas une ouverture suffisante ;
- butée de recul du camion trop éloignée du silo (profondeur de recul insuffisante) ou trop haute ;
- inclinaison du sol empêchant la livraison par benne à fond mouvant ;
- contrainte de hauteur d'un stockage de plain-pied (porte, toit ou poutre du hangar...) empêchant la livraison par benne avec vérin hydraulique;
- contrainte de largeur entre deux poteaux du hangar rendant difficile la marche arrière du camion et sa vidange;
- largeur de box à échelles carrossables trop faible pour autoriser l'ouverture des portes de la benne à fond mouvant,

voire des portes de la cabine quand le box est long ;

- dalle du stockage de plain-pied ne supportant pas le poids des camions ;
- problème d'ouverture des portes de la benne ;
- fluidité du combustible différente selon les produits induisant une répartition différente dans le silo (avec éventuellement formation facile d'un cône);
- après livraison, le sommet du cône de combustible empêche la fermeture de la couverture.

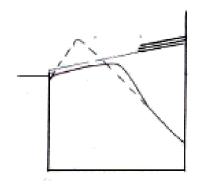
### <u>Conséquences d'exploitation / solutions</u> <u>apportées :</u>

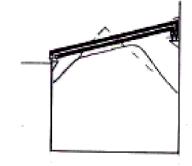
- faible autonomie de la chaudière ;
- utilisation de matériels de livraison plus petits que prévu ou remplissage partiel de la benne (dans tous les cas, augmentation du coût d'approvisionnement en combustible);
- durée de livraison allongée ;
- pour un silo enterré, égalisation du combustible à la main pour pouvoir refermer la couverture ou pour augmenter le volume livré, voire aménagements complémentaires pour automatiser cette égalisation (vis de répartition...);
- déversement du combustible à l'extérieur du hangar de plain-pied et reprise du combustible au chargeur ;
- augmentation du coût d'approvisionnement en combustible et du coût d'exploitation (mobilisation accrue de personnel);
- dégradation de la toiture du silo, d'éléments de structure ou de la dalle du hangar de stockage de plain-pied.

### Recommandations:

- ne pas confondre volume total du silo (ou volume en eau) et volume utile ;
- lors de l'étude du projet, envisager de façon simultanée l'autonomie nécessaire

Problème de fermeture de toiture coulissant vers l'arrière ou latéralement (source Compte R.)





et la configuration des lieux afin de retenir la solution de stockage la plus adaptée ; s'assurer que l'organisation spatiale permet les manœuvres de tous les types de camions qui sont susceptibles d'intervenir;

- en cas de difficulté d'implantation, étudier les possibilités d'augmentation de la capacité de stockage (silo de plain-pied avec chargeur, pont roulant et grappin, trappes carrossables, couplage de silos...);
- s'assurer du remplissage optimal du silo en limitant l'inaccessibilité du silo : toiture autorisant une ouverture totale, petite dalle surplombante sur le long pan des silos enterrés rectangulaires les plus larges afin de permettre aux camions de reculer le plus possible vers l'axe du silo...
- dans le cas des silos rectangulaires, réaliser la livraison par le grand pan (possibilité de faire le déchargement en plusieurs endroits) et quand la livraison ne peut se faire que sur la largeur, couvrir le silo avec une dalle béton et des trappes carrossables ;
- veiller à la bonne manœuvrabilité des portes (silo, camion) ;
- la livraison par voie pneumatique peut être une solution adaptée aux

petites chaufferies et permet de s'affranchir d'un certain nombre de contraintes d'accessibilité au silo ;

- en conclusion : définir la solution technique en fonction du type de livraison mais intégrer la possibilité de changement ou d'évolution dans l'organisation logistique (plus grande capacité, systèmes de déchargement différents...).

### Présence d'eau dans le silo

### Causes:

- infiltration d'eau dans un silo enterré (problème d'étanchéité de l'infrastructure) ;
- vaporisation de l'eau contenue dans le bois qui, faute d'aération suffisante, se condense à l'intérieur de la toiture du silo ou sur le support du pont roulant / grappin.

### <u>Conséquences d'exploitation / solutions</u> <u>apportées :</u>

- combustible plus humide (voire gorgé d'eau) ;
- obligation de laisser la couverture du silo entrouverte pour aérer, ce qui peut être à l'origine de problèmes de sécurité;
- corrosion, dégradation du bâti.



### Recommandations:

- réaliser le silo (fondations, cuvelage) en fonction des résultats de l'étude de sol (portance, présence d'eau);
- respecter la réglementation sur le stockage de bois (ventilations haute et basse obligatoires, bien que la dernière soit difficilement réalisable) ; le principal est d'assurer une bonne ventilation transversale au sommet du tas ;
- vidanger le silo et l'aérer en période d'arrêt prolongé (période estivale).

### Insécurité

### Causes:

- impossibilité d'ouvrir les portes de la benne avant le positionnement au-dessus de la fosse ; - accès au silo enterré non condamné en dehors des moments de livraison ou d'inspection quotidienne de l'exploitant.

### <u>Conséquences d'exploitation / solutions apportées :</u>

- risque de chute dans le silo (livreur, exploitant ou autre).

### Recommandations:

- réaliser les livraisons avec des camions équipés d'un système d'ouverture des portes de la benne évitant au conducteur de passer au-dessus du silo;
- maintenir fermé à clé l'accès au silo en dehors des périodes de livraison ou d'inspection (et ce même si le site de la

chaufferie est ceint d'une clôture et de portes verrouillées) ;

- s'adjoindre la participation ou consulter le CHSCT (Comité d'hygiène, de sécurité et des conditions de travail) de l'exploitant (s'il en existe un) au moment de la conception ;
- Prendre en compte l'aspect sécurité lors des visites de groupes.

Génie civil des chaufferies et réseaux de chaleur au bois

# Retour d'expérience sur l'emprise foncière et l'intégration architecturale de chaufferies bois

# Choix du lieu d'implantation et emprise foncière

Le choix d'un site d'implantation pour la chaufferie bois constitue l'un des points clés de la réussite d'un projet. Quatre critères sont à prendre en compte :

- disponibilité d'une surface suffisante ;
- accès routier aisé pour la livraison de combustible ;
- relative proximité des bâtiments à desservir pour limiter les longueurs de réseau à créer ;
- intégration architecturale dans l'espace environnant.

Sur le terrain retenu, doivent être réalisés : - une voie d'accès et une aire de manœuvre pour les camions de livraison ; la surface nécessaire dépend

- le silo de stockage du bois ;

notamment des véhicules utilisés;

- le local chaufferie bois dont la surface peut varier en fonction des technologies propres à chaque constructeur et de la nécessité d'implanter un équipement performant de filtration des fumées ou un système d'hydro-accumulation;

- le local chaufferie d'appoint / secours le cas échéant.

Pour les chaufferies équipées d'un système de décendrage par voie humide dans une benne extérieure ou intégrée à la chaufferie, il faut également prévoir la surface d'implantation nécessaire et l'accessibilité du camion pour l'enlèvement des cendres.

Le présent article concerne l'emprise foncière et le volume hors sol des silos de stockage du bois et du local chaufferie. Il consiste en une analyse des plans d'installations de 2 à 2,5 MW bois (nommées A, B, C et D) fournis par quatre constructeurs. Les cotes sont

soit lues sur plans, soit estimées ; en conséquence elles restent approximatives et ne prétendent pas refléter une stricte exactitude.

# Impact des choix technologiques sur la taille des bâtiments

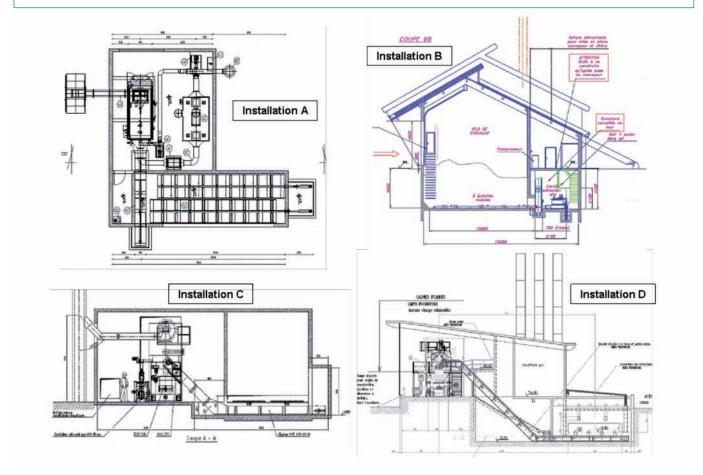
La taille des bâtiments est principalement liée :

- au mode de stockage du combustible bois :
- à la technologie de l'ensemble convoyage du combustible / foyer / échangeur et à la présence ou non d'un filtre à manches ou d'un électrofiltre.

### Stockage du combustible

Le mode de stockage impacte fortement la taille du bâtiment associé (1). La hauteur de ce dernier est en effet très faible pour un silo enterré, importante

### Quelques vues des installations considérées (source CIBE)



pour l'utilisation d'un grappin et intermédiaire pour un stockage de plain-pied avec échelles carrossables (ou avec utilisation d'un chargeur).

Les quatre installations analysées disposent d'un silo enterré ou de plain-pied.

Pour les installations A et C, la hauteur du silo de plain-pied est égale à celle du hall chaudière bois adjacent, afin d'assurer une homogénéité de l'ensemble. Les installations B et D ont une emprise au sol de leur silo enterré identique mais une hauteur au-dessus du sol très différente. La recherche d'esthétique est évidente pour la B (l'architecture du bâtiment silo est similaire à celle du hall chaudière) mais

elle entraîne un important volume vide, de l'ordre de 1,5 fois celui de bois lorsque le silo est à sa contenance maximale.

### **Technologie**

### d'alimentation / combustion

<u>Caractéristiques dimensionnelles de</u> <u>l'ensemble foyer / chaudière</u>

Les cotes du tableau page suivante sont celles relevées sur les plans ou schémas

### Caractéristiques du stockage des quatre installations considérées (source CIBE)

	А	В	С	D
Type de stockage du combustible	Plain-pied	Enterré	Plain-pied	Enterré
Système d'extraction silo	Echelles de racleurs	Echelles de racleurs	Echelles de racleurs carrossables	Echelles de racleurs
Longueur (m)	12,50	10,25	9,50	12,40
Largeur (m)	4,50	7,90	5,00	6,50
Hauteur totale (m)	7,55	12,10 (faîtage)	5,50	4,50
Hauteur hors sol (m)	7,55	8,10 (faîtage)	5,50	1,80
Emprise au sol (m²)	56	81	48	81
Volume total * (m³)	425	870 (hauteur moyenne équiv. 10,7 m)	261	363
Volume hors sol * (m³)	425	546 (hauteur moyenne équiv. 6,7 m)	261	145

<sup>\*</sup> Ce volume n'est pas le volume utile du silo.

### Caractéristiques dimensionnelles de l'ensemble foyer / chaudière des quatre installations considérées (source CIBE)

	_	A	В	C	D		
Technologie	Type de foyer	Grille à gradins					
	Type de chaudière	Tubes de fumées					
	Multicyclone intégré	N	on	Oui			
	Alimentation du foyer	Convoyeur introducteur	Poussoir hydraulique				
Dimensions	Longueur (m)	4,50	5,20	5,75	7,20		
	Longueur avec poussoir d'alimentation (m)	_	8,90	8,60	9,90		
	Largeur (m)	2,30	2,55	2,00	2,60		
	Hauteur (m)	6,00	6,05	4,80	5,65		
Emprise au sol hors poussoir (m²)		10,4	13,3	11,5	18,7		
Encombrement (m³)		62	80	55	106		

des quatre installations considérées. Les tuyauteries ou gaines (air, eau), notamment sur les parties latérales ne sont pas incluses (la largeur hors tout par exemple inclurait environ 0,50 m supplémentaire de part et d'autre), de même que les équipements périphériques (chaîne à racleur d'alimentation, vis d'extraction de cendres).

L'ensemble foyer / chaudière de l'installation B présente, par rapport à

celui de l'installation A (toutes deux n'ont pas de multicyclone intégré), un encombrement supérieur de 30%. Pour les installations C et D équipées de multicyclone, l'encombrement varie du simple au double.

Pour mieux approcher les raisons de ces écarts, il serait nécessaire de comparer les équipements d'un point de vue technologique (combustion, échange de chaleur, dépoussiérage). La présence d'un poussoir d'alimentation rallonge les ensembles foyer / chaudière de 2,7 à 3,7 m.

<u>Caractéristiques dimensionnelles des bâtiments abritant les équipements</u>
Seul le hall chaudière bois est ici pris en compte pour les estimations d'emprise au sol et de volume. Sont donc exclus le bâtiment abritant la chaudière d'appoint / secours et les

### Caractéristiques dimensionnelles des bâtiments abritant les équipements des quatre installations considérées (Source CIBE)

		Α	В	С	D
	Equipements intégrés dans le hall	Multicyclone + électrofiltre	Multicyclone + filtre à manches	Container cendres (extraction voie sèche)	Filtre à manches
	Equipements non intégrés dans le hall	Container cendres (extraction voie sèche)	Container cendres (extraction voie humide)	-	Container cendres (extraction voie humide)
	Longueur (m)	10,75	14,00	13,00	17,30
Hall chaudière bois	Largeur (m)	9,00	10,45	7,80	8,00
	Hauteur (m)	8,50	10,05 (faîtage)	5,50	9,20 (faîtage)
	Emprise au sol (m²)	97	146	101	139
	Volume intérieur (m³)	821	1.241 (hauteur moyenne équiv. 8,5 m)	558	1.150 (hauteur moyenne équiv. 8,3 m)
	Particularités	Passerelle circulable sur chaudière	Toiture à 2 pans (cote prise sous faîtage) Passerelle circulable sur chaudière	Partie supérieure chaudière non circulable	Toiture à 1 pan (cote prise sous faîtage) Passerelle circulable sur chaudière
Niveau par rapport au sol (m) *	Fond du silo	0,00	- 4,00	0,00	- 2,70
	Base du foyer	- 0,95	0,00	0,00	+ 1,30
	Base du convoyeur	- 0,95	- 4,40	- 0,85	- 3,70
	Sommet du convoyeur	+ 0,10	+ 4,20	+ 2,00	+ 4,65
Dénivelé de convoyage (m)		1,05	8,60	2,85	8,35

locaux techniques et sanitaires. Les installations A et C présentent des emprises au sol identiques, avec une occupation plus dense pour la A (présence d'un multicyclone et d'un électrofiltre) que pour la C (container à cendres seulement). Leurs volumes sont cependant différents pour deux raisons : la hauteur plus importante de la A est dictée par l'électrofiltre et la hauteur plus faible de la B implique une impossibilité de circulation en partie supérieure de la chaudière.

Les installations B et D présentent des emprises au sol et des volumes très proches, pour des équipements similaires intégrés dans le hall chaudière. Le dénivelé de convoyage est bien moindre pour les installations A et C, qui disposent d'un silo de stockage de plain-pied, que pour les installations B et D, qui ont un silo enterré. En outre, le système de convoyage de l'installation A permet une introduction directe du bois dans le foyer alors que celui des installations B, C et D nécessite la chute du combustible dans un caisson d'où il est extrait par un piston poussoir pour être introduit dans le foyer : le dénivelé de convoyage pour la première installation est donc moindre, toutes choses égales par ailleurs. Le système d'introduction directe impose toutefois que le système de convoyage soit dans l'axe de la chaudière alors que l'introduction par piston poussoir implique au contraire la perpendicularité.

Comme le convoyage se fait avec un angle de 45 à 60 ° (2) dans un plan vertical, plus le dénivelé est important, plus la distance entre le silo de stockage et la chaudière bois est grande. Un faible dénivelé a ainsi pour conséquence une plus grande

compacité de l'ensemble mais l'espace induit par un fort dénivelé peut permettre d'intégrer le filtre à manche / électrofiltre (cas de l'installation B) ou les locaux techniques / sanitaires et la chaufferie gaz / fioul d'appoint / secours (cas de l'installation D).

On peut constater que la disparité des caractéristiques dimensionnelles conduit à des volumes de bâtiments variant dans un rapport très important, du simple au double. Néanmoins, sur un échantillon réduit, et sans connaître le détail des réalisations, on ne peut tirer de conclusion générale pertinence des effectués. Toutefois, il est clair que le coût du poste génie civil varie proportionnellement à la taille du bâtiment. Pour fixer les idées, le génie civil représente en moyenne de l'ordre de 30% du coût de l'opération, soit 15% pour le hall chaudière. Une augmentation de 50% du coût de ce dernier conduit, toutes choses

égales par ailleurs, à une élévation de 7,5% du coût global de l'opération, ce qui est très significatif et pèse fortement sur l'économie globale du projet.

# Quelques pistes d'optimisation de l'intégration architecturale

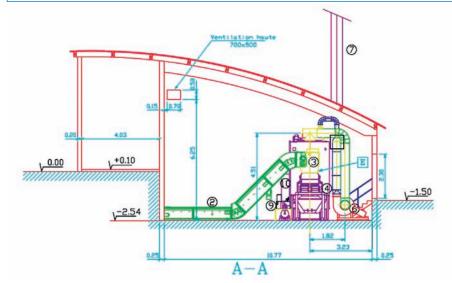
### Décaissement de la chaudière

Pour diminuer la hauteur des bâtiments, il est intéressant de décaisser la chaudière bois par rapport au niveau du sol. Cette solution a le mérite de réduire le dénivelé de convoyage donc la longueur du convoyeur.

### Utilisation de la déclivité du terrain

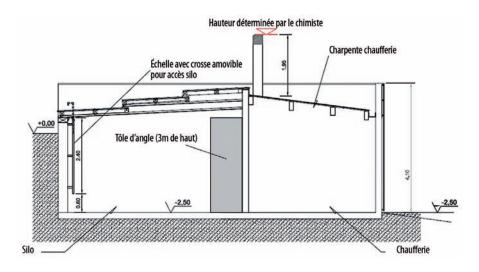
La déclivité du terrain peut elle aussi être utilisée pour diminuer la hauteur des bâtiments : silo de stockage enterré en partie haute, chaudière en partie basse. Cette configuration a également le mérite de réduire le dénivelé de convoyage.

Exemple de décaissement de la chaudière à Saint-Germain-l'Herm (Puy-de-Dôme) (source Débat / Cab. Faget / Compte R.)





### Exemple d'utilisation de la déclivité du terrain (source Débat / SNC Lavalin)



### **Evolutions technologiques**

Pour diminuer la hauteur des ouvrages, il est également possible d'envisager des évolutions technologiques. Par exemple, la diminution de la hauteur de l'échangeur, ce qui, pour lui conserver sa capacité, implique certes une augmentation de sa longueur. Néanmoins, d'un point de vue intégration architecturale, les contraintes d'emprise au sol sont en règle générale moindres que celles liées à la hauteur.

(1) La hauteur dont il est question ici reflète un impératif technique. Une architecture guidée par la recherche d'esthétique peut aboutir à une hauteur réelle plus importante.

(2) Attention, un angle trop important peut créer des problèmes lors du fonctionnement du convoyeur (redescente de combustible).

Génie civil des chaufferies et réseaux de chaleur au bois

# Les chaufferies bois en container

### Compacité et évolutivité

Le concept de chaufferie bois en container, peu développé en France mais pratiqué dans certains pays européens, procède des principes de modularité et de mobilité. Il s'agit de prédisposer dans un caisson des ensembles ou sous-ensembles fonctionnels puis de les acheminer sur site, de les installer et de les raccorder aux équipements ou réseaux gu'ils doivent alimenter.

Selon la puissance, un container peut ainsi inclure la totalité des composants de l'installation, ou bien se limiter à la partie chaudière par exemple. Dans ce dernier cas, il est possible d'envisager le stockage du combustible dans un module spécifique ou dans un silo traditionnel. La puissance de la chaudière et le volume de stockage de combustible nécessaire déterminent le nombre d'éléments, ceux-ci pouvant être assemblés de différentes façons (juxtaposés, empilés, distants au besoin) selon les nécessités des utilités à alimenter et l'espace disponible.

Les chaufferies bois en container présentant des coûts d'investissement inférieurs à ceux observés pour des solutions conventionnelles, il peut être intéressant d'étudier l'option container lorsque des contraintes budgétaires se présentent (ce qui est souvent le cas), à condition qu'aucun autre élément n'y fasse réellement obstacle. Par ailleurs, la modularité implique une certaine standardisation des composants et sous-ensembles ce qui, en matière d'entretien et de maintenance, constitue un avantage indéniable.

La modularité du système s'exprime aussi dans le temps et en fait une solution bien adaptée, en termes d'évolutivité, pour les opérations à montée en charge progressive sur plusieurs années (besoins industriels, petits réseaux de chaleur...). L'investissement est ainsi étalé et l'adéquation capacité de production / besoins à satisfaire est obtenue dans de bonnes conditions.

# Génie civil simplifié mais intégration architecturale limitée

Si le combustible est stocké dans un module, la livraison s'effectue généralement par camion souffleur (éventuellement dépotage au sol puis reprise au chargeur mais cette solution nécessite du personnel et du matériel sur place). Le remplissage direct par le haut à l'aide d'une benne basculante ou à fond mouvant requiert un dénivelé suffisant, obtenu par aménagement d'un quai ou décaissement du container. Les modules intègrent un multicyclone pour le dépoussiérage des fumées. La nécessité éventuelle de recourir à un système plus performant (filtre à manches, électrofiltre) implique une implantation externe qui, bien que compatible, limite l'intérêt de cette solution. Par ailleurs, l'appoint / secours peut se traiter par container annexe, d'autant que les équipements concernés sont d'un encombrement, à puissance équivalente, bien moindre que celui de la chaudière bois et ses périphériques. Les fondations se limitent à la réalisation d'une dalle ou de plots dimensionnés pour supporter la charge des containers et l'installation est rapide (quelques jours). Le coût en est plus réduit et les conditions de réalisation plus aisées que pour un bâtiment conventionnel abritant les équipements. En outre les formalités administratives sont réduites voire supprimées (notamment en ce qui concerne le permis de construire). Bien que limitée, l'intégration architecturale est possible sans pour autant représenter des postes de coût importants qui viendraient gommer les avantages de la solution sur ce plan. C'est néanmoins un des points qui peut





susciter le plus de freins au choix de l'option modulaire.

# Un concept adapté pour un service complet de fourniture de chaleur

L'option "chaufferie bois en container" semble pertinente jusqu'à 400 kW, sans exclure, sous réserve d'une étude

au cas par cas, les puissances supérieures. Elle constitue une solution intéressante, particulièrement dans le secteur industriel qui représente un gros potentiel mais requiert des temps de retour sur investissement faibles, eu égard aux aléas sur la pérennité de l'activité. Le caractère mobilier de la solution (vs le caractère immobilier d'une solution conventionnelle d'un bâtiment sur emprise foncière dédiée) et sa capacité à supporter déplacement ou réinstallation lui confèrent une souplesse apte à séduire des tiers investisseurs offrant un service complet de fourniture d'énergie.

Génie civil des chaufferies et réseaux de chaleur au bois

>>> D'après Fabien LANTELME-FAISAN (Inpal énergie) et Patrick RIEHL

# Le génie civil des réseaux de chaleur (1)

D'une manière générale, la conception / réalisation d'un réseau de transport ou de distribution d'eau chaude doit être effectuée conformément aux préconisations et instructions du fabricant des canalisations et selon les spécifications de la norme EN 13941 "conception et installation des systèmes bloqués de tuyaux pré-isolés pour les réseaux enterrés d'eau chaude". Une étroite collaboration avec les services de la ville est également nécessaire.

### Tracé du réseau

Le parcours du réseau est principalement dicté par la localisation des bâtiments à desservir et de la chaufferie (le site d'implantation de cette dernière est notamment choisi dans l'objectif de minimiser le linéaire de canalisations). Il convient de privilégier le passage dans le domaine public et, lorsque c'est possible, en espace vert (contraintes et coût moindres). La pose sous chaussée est en général effectuée au plus près du bord de la route mais peut également être réalisée sous le trottoir pour limiter l'impact sur la circulation. De même, le

passage sous des places de stationnement est moins gênant. Enfin, le franchissement de voies à grandes circulation, de voies ferrées ou de cours d'eau peut s'effectuer en utilisant des ponts existants ou, à défaut, en réalisant un fonçage (consulter la SNCF pour les voies ferrées). Dans certains cas, un passage en fond de rivière peut aussi être envisagé (consulter le fournisseur de canalisations).

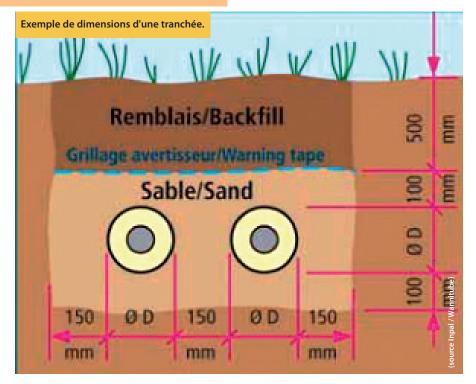
# Prise en compte des réseaux existants

Avant d'entreprendre les travaux, une bonne connaissance du sous-sol est primordiale. Il faut aussi identifier les réseaux susceptibles de se trouver sur le tracé envisagé (eau potable, électricité, gaz naturel, téléphonie, assainissement) et s'assurer qu'ils existent et fonctionnent toujours. Afin de limiter les endommagements de réseaux, le décret n° 2011-1241 du 5 octobre 2011 crée un guichet unique pour une information exhaustive et centralisée sur les réseaux (www.reseaux-et-canalisations.gouv.fr). Cette base de données recensera

l'ensemble des éléments nécessaires à l'identification des réseaux aériens, souterrains et subaquatiques implantés en France et de leurs exploitants. A partir du 1er juillet 2012, la consultation du téléservice sera obligatoire pour les maîtres d'ouvrage et les entreprises qui envisagent de réaliser des travaux.

Un repérage sur site est très utile pour compléter les informations (identification des bouches d'égout, des regards...), appréhender la configuration des lieux et organiser au mieux les travaux.

En cas de croisement de la canalisation pré-isolée et d'une tuyauterie existante, il convient de prévoir un écartement d'au moins 0,25 m ou, si ce n'est pas possible, de buser le réseau de chaleur sur la longueur de l'obstacle et sur 0,5 m de part et d'autre. Dans le cas de lignes électriques ou de canalisations de gaz, il est nécessaire de prendre contact avec leurs gestionnaires respectifs. La norme NF C 11-201 précise par ailleurs qu'à proximité de lignes électriques, des dispositions doivent être prises pour qu'il n'y ait aucune influence thermique sur elles. Il peut également



être intéressant de profiter de l'ouverture de tranchées pour faire passer de nouveaux réseaux (fibres optiques par exemple).

# Réalisation des tranchées et pose du réseau

Les dimensions des tranchées dépendent des diamètres des canalisations : la profondeur de la fouille varie de 0,8 m à plus de 2,5 m selon le cas. Cette dernière est augmentée localement par la présence de piquages pour la dérivation de la canalisation principale vers des canalisations secondaires, afin d'assurer en permanence un recouvrement minimum sur la conduite de 0,6 m. Le fond de la fouille est nivelé avec un lit de sable d'au moins 0,1 m, soigneusement et régulièrement compacté. Le sable utilisé ne doit pas contenir de résidus de plantes, d'humus, d'argile ou de morceaux de limon en quantités dangereuses, ni de gros grains tranchants susceptibles d'endommager le tube et les jonctions.

L'assemblage des tronçons de réseau (d'une longueur unitaire de 6 ou 12 m) se fait hors fouille chaque fois que cela est possible ; dans le cas contraire, il faut prévoir des niches dans la tranchée pour la réalisation des soudures. La descente du réseau dans la fouille se fait à l'aide de sangles, sans provoquer de flèches trop importantes.

Des chambres sont à prévoir pour abriter éventuellement :

- les systèmes de purge à chaque point haut du réseau (évacuation de l'air lors de la mise en eau et des gaz dissous qui se dégagent lors du réchauffement de l'eau) ;

- les systèmes de vidange à chaque point bas ;
- les vannes d'isolement permettant de limiter la quantité d'eau à évacuer lors des interventions de maintenance et de garder en fonctionnement une partie du réseau (continuité du service aux usagers). Une épreuve hydraulique est indispensable pour tester chaque soudure ou raccord avant l'isolation des jonctions, de manière simultanée sur l'ensemble du réseau si celui-ci n'est pas trop étendu ou par tronçon sinon. De plus en plus souvent, des balises sont placées à chaque singularité du réseau de manière à pouvoir les localiser et identifier très précisément le parcours des canalisations.

### Dilatation du réseau

Après sa réalisation et son remplissage ou à l'issue d'une période d'arrêt, le réseau est à la température ambiante. En cours de fonctionnement, sa température s'élève, occasionnant des dilatations et contraintes sur les principaux éléments constitutifs du réseau qu'il est impératif de prendre en compte. A des emplacements précis (autour des coudes, piquages...), des coussins de dilatation sont installés afin de permettre à la canalisation de se déplacer sans dommages dans le sol. Dans le cas de fortes dilatations, une superposition de coussins est réalisée. Pour une portion rectiligne de grande

longueur, plusieurs solutions sont

possibles afin d'absorber la dilatation des réseaux, par exemple :

- subdivision en tronçons de moindre longueur avec installation de lyres de dilatation (ensemble de quatre coudes à 90  $^{\circ}$  formant un "U") ou de baïonnettes (ensemble de deux coudes à 90  $^{\circ}$  formant un "Z") ;
- insertion de compensateurs axiaux (à coulisse ou à soufflet) sur le réseau.

La première possibilité est bien souvent la moins contraignante en termes de génie civil. En effet, la seconde nécessite la création de points d'ancrage du réseau à l'aide de blocs en béton pénétrant les côtés et le fond de fouille d'au moins 0,3 m. Entre deux points fixes ainsi constitués est inséré un compensateur au sein duquel s'effectue la dilatation.

# Remblaiement et réfection de la surface

Le remblaiement s'effectue en plusieurs étapes, après avoir vérifié que les canalisations reposent de toute leur longueur sur le lit de sable et enlevé tout corps dur (pierre, métal, bois...) de la tranchée: - étalement d'une couche uniforme de sable (de qualité identique à celle du sable mis en fond de fouille) affleurant au niveau du sommet des tubes et damage manuel sur les côtés et entre les tubes en évitant tout choc sur les

- étalement d'une nouvelle couche de sable de 0,1 m d'épaisseur au-dessus des canalisations et damage ;

gaines d'isolation;

- pose d'un grillage plastique violet destiné à avertir de la présence du réseau lors de travaux futurs ;
- remblaiement par couches successives de 0,3 m de terre expurgée d'éléments supérieurs à 100 mm et compactage.

Il convient de noter, sauf si cela a été prévu lors de la conception, qu'il est interdit de mettre en chauffe un réseau avant le remblaiement.

La réfection de la surface est réalisée en fonction de l'usage de celle-ci. Pour les voies de circulation, une hauteur de 0,6 m entre le sol et le sommet des tubes est nécessaire (s'il n'est pas possible de l'atteindre, il faut mettre en œuvre des dalles de répartition de charges).

(1) Cet article concerne principalement les réseaux enterrés en acier destinés au transport et à la distribution d'eau chaude. N'y sont donc pas précisées les spécificités des réseaux enterrés souples ou des réseaux d'eau surchauffée ou vapeur en caniveau.