



Génie climatique



Systeme de conduits aérauliques autoporteurs Climaver

Guide technique général

ISOVER
L'isolation responsable

Les panneaux de laine de verre pour conduits autoporteurs de climatisation sont fabriqués aux États-Unis depuis plus de 50 ans et notamment par l'une des sociétés du Groupe Saint-Gobain (Certain Teed Corp). SAINT-GOBAIN ISOVER France fabrique et commercialise ce type de matériaux depuis plus de 40 ans. En utilisant les techniques déjà développées, d'importantes recherches ont été effectuées pour concevoir de nouveaux panneaux et aboutir à la gamme CLIMAVER actuelle.

Une qualité de l'air garantie

- Une bonne isolation prévient la condensation propice au développement des légionelles.
- Le **CLIMAVER** ne contient pas de substances nutritives favorisant la prolifération des bactéries.
- Différentes solutions de nettoyage mécanique à sec des conduits permettent une « hygiénisation » sans endommager le revêtement intérieur (pérennité de la qualité de l'air intérieur).
- Le développement de systèmes complets (produits et accessoires) assure une continuité du revêtement intérieur aux joints périmétriques et longitudinaux; une technicité incontournable pour pérenniser la qualité globale de l'air véhiculé.

Les avantages de la laine de verre

- Un matériau imputrescible et inerte dont les propriétés thermo-acoustiques sont fiables dans le temps.
- Le **CLIMAVER** est constitué de fibres exonérées de classement cancérigène. Il ne contient pas d'amiante.
- Les panneaux **CLIMAVER** répondent parfaitement à la réglementation au feu (y compris IGH et ERP).
- Des matériaux surfacés donc propres et de manipulation aisée.
- Des produits légers et solides.
- Aucun gaz d'expansion n'est nécessaire à leur élaboration.

***GUIDE TECHNIQUE
DES SYSTÈMES DE CONDUITS
AÉRAULIQUES AUTOPORTEURS
CLIMAVÉR***

1 TABLE DES MATIÈRES

2	PRÉSENTATION	7
3	INTRODUCTION	8
	3.1 Critères de choix des installations	8
	3.2 Les différents systèmes de conditionnement d'air	9
	3.3 Les avantages de la préinstallation d'air conditionné	11
	3.4 La consommation des installations	11
4	TYPES DE CONDUITS	13
	4.1 Conduits de tôle métallique	13
	4.2 Conduits de laine de verre	14
	4.3 Le Nouveau SYSTÈME CLIMAVER MÉTAL	14
	4.3.1 Composants du SYSTÈME CLIMAVER MÉTAL	14
	4.3.2 Avantages du SYSTÈME CLIMAVER MÉTAL	15
	4.3.3 Norme européenne	16
5	THERMIQUE	17
	5.1 Généralités : Transmission de la chaleur	17
	5.1.1 Transmission de la chaleur	17
	5.2. Transfert superficiel de la chaleur	19
	5.2.1 Coefficient superficiel dû à la convection h_{cv}	19
	5.2.2 Coefficient superficiel dû au facteur d'échange radiatif	21
	5.2.3 Transmission thermique	22
	5.3 Isolement thermique des conduits	23
	5.3.1 Transmission thermique des conduits	23
	5.3.2 Transfert de chaleur dans un système de conduits	25
	5.3.3 Réduction de la consommation d'énergie (exemple)	25
	5.4 Isolation thermique des installations	26
	5.5 Risque de condensation	27

6	ISOLEMENT ACOUSTIQUE DE LA CLIMATISATION	31
6.1	Origine et voies de transmission du bruit dans les installations	32
6.1.1	Types de bruits	32
6.2	Solutions anti-bruit dans les installations	33
6.2.1	Matériel de traitement	33
6.2.2	Conduits de distribution d'air	39
6.2.3	Transmission croisée	41
7	PROTECTION ANTI-INCENDIE DE LA CLIMATISATION	43
7.1	Généralités sur l'origine et la propagation d'un incendie	43
7.2	Réaction des matériaux face au feu : Normes	44
7.3	Réglementation pour les matériaux de climatisation dans les installations de climatisation	44
7.4	Le problème des fumées dans la sécurité contre les incendies	44
7.4.1	Opacité des fumées	44
7.4.2	Toxicité des fumées	45
7.4.3	Indice des fumées	46
7.4.4	Le <i>CLIMAVÉR</i> et les classements fumées	46
8	PERTES DE CHARGES DANS LES CONDUITS <i>CLIMAVÉR</i>	47
8.1	Pressions statistique, dynamique et totale	47
8.1.1	Concepts	47
8.1.2	Unités et appareils de mesure	48
8.2	Pertes de charge	49
8.2.1	Pertes de charge par frottement	49
8.2.2	Pertes de charges locales	52
9	LES CONDUITS D'AIR ET LEUR INFLUENCE SUR LA QUALITÉ EN ESPACE CLOS	61
9.1	Variation des magnitudes physiques de l'air	61
9.1.1	Température	61
9.1.2	Déséquilibres de pression	62
9.2	Le bruit dans les conduits	62
9.3	Pollution endogène de l'air	63
9.3.1	Pollution d'origine externe	63
9.3.2	Pollution d'origine interne	64

9.4	Nettoyage des conduits	69
9.4.1	Inspection des installations	69
9.4.2	Ouverture des conduits	70
9.4.3	Méthodes de nettoyage des conduits	71
9.5	Le nouveau SYSTÈME CLIMAVER MÉTAL	73
9.6	Conclusions	73
10	INSTALLATION DES CONDUITS CLIMAVER	75
10.1	Fabrication des conduits - Bases	75
10.1.1	Tracé	76
10.1.2	Coupe	77
10.1.3	Jonction longitudinale	78
10.1.4	Jonction transversale des éléments	79
10.2	Conception d'un tronçon droit	79
10.2.1	Fabrication d'un conduit droit d'une pièce	80
10.2.2	Fabrication d'un conduit droit de deux pièces	81
10.2.3	Fabrication d'un conduit droit d'une pièce en U et recouvrement	82
10.2.4	Fabrication d'un conduit droit de quatre pièces	83
10.3	Conception de figures	84
10.3.1	Fabrication des coudes	84
10.3.2	Ramifications doubles par tronçons droits	88
10.3.3	Ramifications simples en "r"	91
10.3.4	Réductions	94
10.3.5	Autres pièces	100
10.4	Surfaces de produits nécessaires à la réalisation de différentes pièces courantes	101
10.5	Supports pour conduits CLIMAVER	102
10.5.1	Supports de conduits horizontaux	102
10.5.2	Supports de conduits verticaux	102
10.6	Renforts pour conduits et assemblages	103
10.6.1	Renforts extérieurs transversaux en "U" et en "T"	103
10.6.2	Renforts de tiges d'acier galvanisé	106

10.7 Connexions	108
10.7.1 Connexion à une grille de soufflage	108
10.7.2 Connexion à un diffuseur	109
10.7.3 Connexion à un clapet	110
10.7.4 Connexion à un clapet coupe feu	111
10.7.5 Connexion à une batterie chaude	112
10.7.6 Connexion à des équipements	113
10.7.7 Porte d'accès	114
10.8 Malette de rabots 45	115
10.8.1 Remplacement des lames	115

2 PRÉSENTATION

Ce manuel a pour objectif de proposer une documentation technique complète pour la conception et les calculs des conduits dans les installations d'air conditionné et de ventilation. Les aspects relatifs à la construction des conduits ainsi qu'à leur montage nous apparaissent comme un complément nécessaire à cette information destinée aux concepteurs de projets, aux installateurs et aux spécialistes chargés du contrôle et de l'entretien de ces installations.

Vous y trouverez avant tout une présentation du **SYSTÈME CLIMAVÉR A2** que nous avons développé avec l'objectif de répondre totalement aux exigences de qualité de l'air véhiculé à l'intérieur des réseaux mais également celui de proposer un système offrant de réelles facilité d'entretien. Des performances atteintes notamment grâce à deux exclusivités : un revêtement intérieur aluminium lisse et rebordé sur les feuillures et des profilés aluminium longitudinaux optionnels assurant un parfait recouvrement des découpes.

Les parties traitant de la fabrication et du montage des conduits autoporteurs de laine de verre incluent un chapitre sur la nouvelle méthode de pose que nous avons été amené à développer pour le système CLIMAVÉR A2. Il s'agit de la méthode dite des « tronçons droits » qui simplifie la fabrication des pièces, offrant ainsi un gain de productivité. Vous trouverez également des schémas explicatifs détaillés sur le tracé des pièces conformément à la méthode traditionnelle dite *Méthode par recouvrement*.

Nous tenons à remercier les personnes, institutions et entreprises qui, par leur professionnalisme et leur intérêt pour ce marché, nous ont apporté une aide précieuse et nous ont encouragé dans nos recherches pour aboutir à des solutions visant à offrir des matériaux innovants, répondants aux nouvelles attentes réglementaires et de confort tout en facilitant les aspects de façonnage et de pose sur chantier.

Alain LARDILLAT
Chef de marché

3 INTRODUCTION

Les installations de climatisation ont pour but d'apporter un bien-être aux occupants de locaux, tout en respectant les normes de sécurité et en utilisant l'énergie de façon optimale.

Les installations doivent respecter les limites suivantes :

SAISON	TEMPÉRATURE DE FONCTIONNEMENT (°C)	VITESSE MOYENNE DU DÉPLACEMENT DE L'AIR DANS LES LOCAUX (M/S)	HUMIDITÉ (%)
Été	23 à 26	0,18 à 0,22	30 à 70
Hiver	20 à 24	0,13 à 0,18	30 à 70

Source : prEN 13779

Sauf convention contraire, la température de fonctionnement doit être garantie au centre de la pièce.

Les installations permettent un renouvellement de l'air en fonction du nombre de personnes et de leurs activités respectives sans oublier de tenir compte des caractéristiques intérieures des pièces et des matériaux qui les composent.

3.1 CRITÈRES DE CHOIX DES INSTALLATIONS

Le concepteur de projets choisit le type d'appareil d'air conditionné en fonction des critères suivants :

- Caractéristiques de l'espace à conditionner et de l'activité qui va s'y développer. Il faudra, par exemple, étudier les dispositifs de variation du débit d'air extérieur pour des espaces à occupation variable.
- Coût et consommation énergétique du fonctionnement de l'installation. Le choix des équipements doit se faire en fonction des rendements énergétiques. D'un autre côté, la directive 93/76/CEE relative aux émissions de CO₂ autorise les états membres de l'Union Européenne à définir et à mettre en œuvre des programmes permettant aux personnes occupant les bâtiments de régler leur propre consommation d'énergie et d'adapter la facturation à leur consommation.
- État du contrôle des différents paramètres de l'air. En plus de la température et de l'humidité, il faut mesurer le taux de CO₂, qui se révèle être un excellent indicateur du taux de pollution de l'air par les personnes.
- Efficacité de la diffusion d'air. Étude de la vitesse de propagation de l'air et de sa stratification, tant pour le cycle de réfrigération que pour celui de chauffage.
- Entretien des installations. Aptitude des matériaux et des systèmes à offrir une grande facilité tant au niveau de l'accessibilité au réseau qu'au niveau du choix des méthodes de nettoyage.
- Niveaux de bruit, etc.

3.2 LES DIFFÉRENTS SYSTÈMES DE CONDITIONNEMENT D'AIR

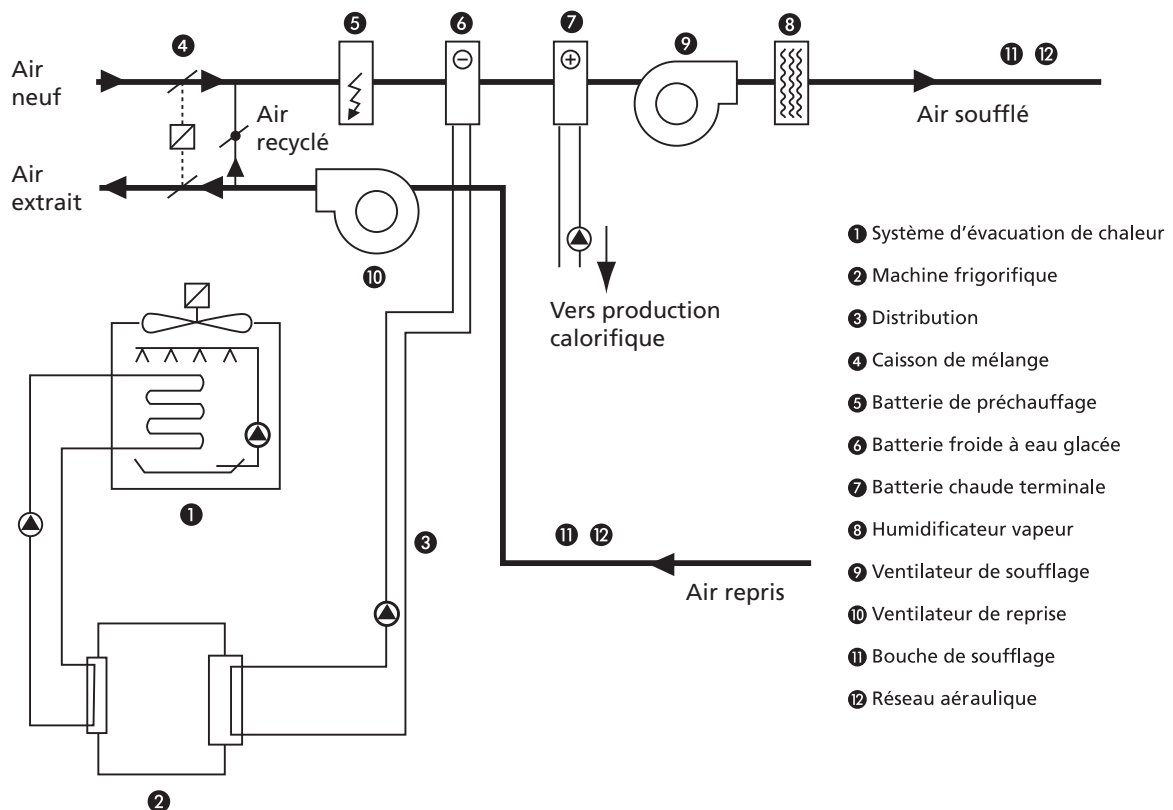
Il existe de nombreux systèmes de conditionnement d'air. La classification la plus courante est réalisée à partir des caractéristiques du fluide caloporteur. On distingue donc principalement :

- Les systèmes à détente directe
 - Climatiseur individuel
 - Armoire de climatisation
 - Centrale de traitement d'air de toiture "roof top"
 - Appareils multi-blocs à débits de réfrigérant variable "D.R.V."
- Les systèmes tout eau (n'utilisant que l'eau comme fluide calo ou frigoporteur)
 - Le ventilo-convecteur
 - L'unité terminale de traitement d'air
 - Paroi rayonnante (plancher ou plafond par exemple)
- Les systèmes tout air (n'utilisant que l'air comme fluide calo ou frigoporteur)
 - À débit d'air constant "D.A.C."
 - À débit d'air variable "D.A.V."
- Les systèmes mixtes (utilisant à la fois l'eau et un fluide frigorigène)
 - La pompe à chaleur (air-air et air-eau)

Dans les systèmes tout air, le conduit agit comme un élément statique de l'installation, qui permet à l'air de circuler à l'intérieur du bâtiment et qui relie tout le système : aspiration de l'air extérieur, unités de traitement de l'air, réseaux de diffusion et de reprise, évacuation de l'air vicié.

Les équipements "Tout Air" offrent notamment les avantages suivants :

- Filtration, humidification et déshumidification centralisées
- Fonctionnement silencieux : tous les appareils mobiles se trouvent dans un espace commun et réduit, ce qui permet un traitement acoustique plus simple. (Les bruits causés par le flux d'air dans les conduits et transmis d'un endroit à un autre doivent être étudiés au cas par cas).
- Tout l'air de retour passe par l'unité de traitement centrale et y subit une nouvelle filtration et une nouvelle correction de l'humidité, optimisant ainsi la qualité de l'air
- L'air renouvelé est aspiré par la seule prise extérieure, ce qui permet une meilleure place pour cette dernière de sorte que les effets de vent de face aient une incidence moindre et que la prise soit éloignée des zones d'évacuation d'air vicié ou des tours de réfrigération.
- Économie de fonctionnement. Lorsque les températures sont douces, l'air diffusé dans les locaux peut provenir de l'extérieur sans que cela implique un coût supplémentaire (c'est ce qu'on appelle le *freecooling*). Cela se fait sans retour et améliore de façon notable la qualité de l'air. Si, pendant les journées d'hiver, l'apport de chaleur dans les bâtiments est supérieur aux pertes à travers son enveloppe en plus des renouvellements minimaux d'air nécessaires, il faudra refroidir l'air, en utilisant au besoin l'air extérieur
- Entretien simplifié car centralisé : les filtres, les systèmes d'humidification et de déshumidification et les échangeurs de chaleur sont tous placés dans un même endroit.
- Possibilité d'utiliser des appareils de contrôle simples et économiques des conditions ambiantes de chaque local.



Le chapitre sur la Qualité de l'air intérieur porte sur l'importance de diffuser dans des espaces clos de l'air provenant de l'extérieur ainsi que sur la façon de diluer des substances polluantes.

3.3 LES AVANTAGES DE LA PRÉINSTALLATION D'AIR CONDITIONNÉ

L'aspect esthétique d'un environnement et le confort intérieur, exigences de la société actuelle, ne sont pas incompatibles. Penser à équiper son logement d'une future installation d'air conditionné éviterait l'apparition ultérieure d'unités condensatrices sur les terrasses ou sur les fenêtres.

Depuis quelques années, les concepteurs de projets prennent de plus en plus en compte la préinstallation d'air conditionné qui facilite alors l'installation future des appareils en fonction des logements ou autres locaux, et aide les professionnels de la climatisation dans la conception de leurs appareils. Cette prise en compte présente de nombreux avantages :

- Le coût de la préinstallation est moindre car elle est réalisée lors de la construction du bâtiment, ce qui évite tous les surcoûts liés au percement ultérieur des murs ou cloisons ainsi que la pose d'un faux plafond pour masquer le réseau. Sans compter les désordres que ces travaux occasionnent.
- Le coût des matériaux de pré-installation (conduits, grilles, etc.) ne représente qu'une petite partie du coût total de l'installation.
- La préinstallation n'impose pas l'achat d'une unité de traitement d'air au moment de l'acquisition de l'habitation.
- Cette méthode permet grâce à son intégration au stade de la conception, d'optimiser son implantation tant en terme de confort thermo-acoustique que d'esthétique.

Le type de pré-installation le plus répandu consiste en un réseau de conduits de diffusion d'air et en un espace pour l'installation ultérieure d'un équipement de climatisation. Dans certains cas, un système de régulation du débit de l'air au moyen de vannes et de thermostats y est intégré. Généralement, au moment de l'achat, le futur propriétaire peut choisir d'inclure l'équipement le plus adapté à ses besoins, en fonction de son logement ou local.

Parmi les différents types d'installations centralisées, les appareils de diffusion d'air par conduits sont les seuls qui offrent des taux de renouvellement d'air adaptés pour fournir une qualité d'air intérieure nécessaire sans ajouter un appareil de ventilation. Ils permettent également un refroidissement gratuit, ou *freecooling* (déjà cité précédemment) durant la majeure partie de l'année pour des zones climatiques comme les nôtres. De cette façon, le bâtiment bénéficie exclusivement d'un apport d'air extérieur sans besoin de réchauffement ou refroidissement.

3.4 LA CONSOMMATION DES INSTALLATIONS

Nous ne pouvons pas oublier que, pour chaque unité énergétique, la réfrigération suppose, en général, une consommation d'énergie supérieure à celle du chauffage et il est nécessaire que l'installation fonctionne de façon optimale. Outre une isolation thermique générale correcte des bâtiments, les conduits de diffusion d'air, dans lesquels ont lieu les plus importantes pertes d'énergie, doivent intégrer un matériau isolant.

Des matériaux isolants thermiques spécifiques comme la laine de verre apportent une qualité directement liée au confort : l'absorption du son. Les bruits causés par le fonctionnement des appareils et par la circulation de l'air sont pratiquement éliminés par les conduits autoportants de laine de verre CLIMAVÉR. Les progrès réalisés dans les systèmes de contrôle thermique par zones offrent une meilleure approche dans l'évaluation de la consommation et des équipements moins bruyants.

Il existe une variante concernant les installations de diffusion d'air mixtes qui possèdent à la fois un conditionnement d'air chaud et froid. Généralement un matériel de chauffage est fourni. Une unité de refroidissement de l'air peut ensuite y être ajoutée en option. Il existe sur le marché des équipements électriques et/ou à gaz. Le choix du matériel dépend entre autres de la zone climatique, du coût de l'équipement et du rendement de l'appareil.

4 TYPES DE CONDUITS

Les conduits d'air sont des éléments statiques de l'installation qui distribuent l'air à l'intérieur des bâtiments, en reliant tout le système : aspirations, unités de traitement de l'air, locaux d'utilisation, retour et évacuation de l'air vicié.

Pour les connexions flexibles entre les réseaux de conduits de diffusion d'air et les unités terminales, la longueur maximale doit être de 1,50 m à cause de l'importante perte de charge occasionnée par ces derniers.

4.1 CONDUITS DE TÔLE MÉTALLIQUE

Pour la fabrication de conduits de diffusion d'air, on utilise des métaux comme l'acier inoxydable, le cuivre et ses alliages aluminium ou le plus fréquemment l'acier galvanisé. Le calorifuge de ces conduits est réalisé par des matériaux en laine de verre. Ils sont utilisés de deux façons. Soit en enveloppant l'extérieur du conduit d'un isolant thermique comme un manteau imperméable à la vapeur d'eau. Ou bien en appliquant des panneaux rigides sur les parois internes du conduit réalisant ainsi une barrière thermo-acoustique.

L'étanchéité à l'air des conduits métalliques est soumise aux normes européennes EN 1507, publiée en mars 2006, et EN 12237 publiée en avril 2003. Le § 3.10 de l'EN 1507 définit les différentes classes d'activité à l'air :

Classes d'étanchéité à l'air	Limite de fuite d'air (f_{max}) $m^3 \cdot s^{-1} m^{-2}$	Négative pour toutes les classes de pression	limite de pression effective (p_s) Pa		
			Positive à la classe de pression		
			1	2	3
A	$0,027 \times p_{test}^{0,65} \times 10^{-3}$	200	400		
B	$0,009 \times p_{test}^{0,65} \times 10^{-3}$	500	400	1 000	2 000
C	$0,003 \times p_{test}^{0,65} \times 10^{-3}$	750	400	1 000	2 000
D a)	$0,001 \times p_{test}^{0,65} \times 10^{-3}$	750	400	1 000	2 000

a) Réseau de conduit pour application spéciale.

4.2 CONDUITS DE LAINE DE VERRE

Les caractéristiques mécaniques associées à la légèreté et la très bonne cohésion de la laine de verre ISOVER (absence d'infibrés), la positionne comme le matériau idéal pour ces panneaux de forte densité.

Description : Panneaux rigides de laine de verre de forte densité avec feuillures alternées revêtus sur la face extérieure d'un complexe de deux feuilles d'aluminium pur renforcé d'une grille de verre (CLIMAVÉR A2) ou d'un aluminium pur (CLIMAVÉR 284). Sur la face intérieure est appliqué soit un aluminium pur renforcé d'une grille de verre (CLIMAVÉR A2), soit un voile de verre noir (CLIMAVÉR 284).

Applications : Ces panneaux sont spécialement étudiés pour la réalisation de conduits aérauliques autoporteurs de sections rectangulaires. Ils permettent de véhiculer l'air dans des installations courantes.

Dimensions des panneaux (en mm) :	Longueur	Largeur	Épaisseur
284	2 900	1,22	25
A2	3 000	1,19	25

4.3 LE NOUVEAU SYSTÈME CLIMAVÉR A2

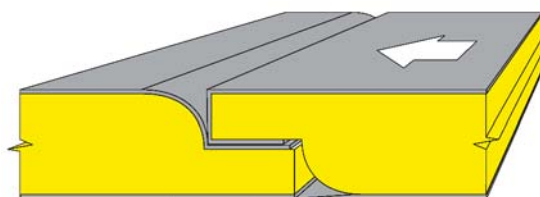
L'évolution des attentes du secteur concernant les réseaux de climatisation / ventilation, traduite dans les textes réglementaires, tant au niveau de la qualité de l'air intérieur que de celui de l'aptitude au nettoyage, nous a conduit à développer un système répondant aux exigences performantielles les plus drastiques : Le SYSTÈME CLIMAVÉR A2.

4.3.1 Composants du système :

- Panneaux CLIMAVÉR A2 : Panneau rigide de laine de verre de forte densité avec feuillures mâles / femelles surdensifiées et revêtues :
 - sur sa face extérieure d'un complexe aluminium / grille de verre / aluminium
 - sur sa face intérieure d'un complexe aluminium renforcé grille de verre carrée rebordé sur la feuillure

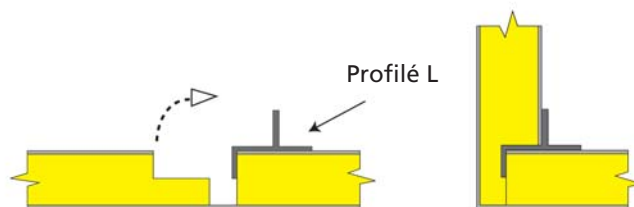
ACCESSOIRES

- PROFILÉS CLIMAVÉR A2 ; Profilés aluminium de deux types

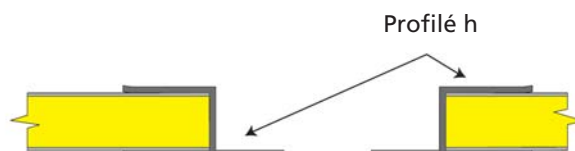


Type de profilé	Longueur (ml)	Nombre unité / Colis	Nombre ml / Colis
"L"	1,155	80	92,40
"H"	2,00	20	40,00

– **PROFILÉS L** : Profilé en forme de L dont le rôle est d'assurer le recouvrement longitudinal du surfaçage aluminium intérieur du CLIMAVÉR A2 assurant ainsi la continuité de ce dernier tout en renforçant les arêtes de la gaine.



– **PROFILÉS H** : Profilé en forme de "h" qui est placé sur les extrémités des tronçons de CLIMAVÉR pour les raccords divers aux unités de production ou autres appareillages ainsi que pour réaliser des trappes de visites d'une excellente étanchéité.



OUTILLAGE

Type d'outillage

Coffret de rabots CLIMAVÉR A2
Boîte de lames de rechange
Règle équerre CLIMAVÉR A2

Quantité / Colis

5 rabots / coffret
20 lames / boîte
1 règle / étui

- **COLLE** : Utilisée pour le montage du système CLIMAVÉR selon la méthode dite de la trame droite (Voir chapitre 10).
On utilisera de préférence la colle Isover, adaptée à la laine de verre.
Elle permet l'assemblage des différents éléments composant une pièce singulière (coude, dérivation...) tout en stabilisant la laine sur les parties non rebordées.

4.3.2 Avantages du système CLIMAVÉR A2

– **Qualité de l'air** : Grâce à l'adoption d'un surfaçage intérieur en aluminium lisse rebordé sur les feuillures aux extrémités, et à la mise en place de profilés aluminium assurant un parfait recouvrement longitudinal des découpes intérieures, nous réalisons un véritable conduit étanche à l'intérieur de notre gaine autoporteuse. Le système répond ainsi aux exigences les plus sévères du marché. Les tests réalisés selon les recommandations de l'UL 181 en laboratoire officiel (Rapport CETIAT N° 21 15 114) sur des conduits du système CLIMAVÉR A2 ont montré que:

- Aucune trace d'érosion (cassure, peluche, délamination) n'apparaissait à une vitesse extrême de 43 m/s ni lors de l'essai d'endurance
- L'air propre, admis et véhiculé dans les conduits, mesuré en sortie est, à titre comparatif, de même qualité que l'air d'une salle à empoussièremement contrôlé de classe 10.

– **Hygiène des réseaux** : Entretien du réseau aisé par des méthodes traditionnelles grâce au choix d'un revêtement intérieur aluminium résistant et continu dans les angles (profilés) et aux jonctions (rebordement de l'aluminium sur les feuillures)

– **Montage simple** : La méthode de pose dite "du tronçon droit" permet la conception des gaines avec un traçage simplifié, réduisant le nombre de coupes intérieures

– **Mécanique** : Une rigidité encore jamais connue en conduits autoporteurs grâce à l'effet "poutre" procuré par les profilés aluminium longitudinaux. Les essais réalisés selon la norme Américaine UL 181 montrent que le système CLIMAVER A2 résiste à des pressions de 800 Pa mais également à de très importantes dépressions qui auraient été fatales à un autre système et qui sont sans conséquence dans le cas présent.

– **Pérennité** : Les conduits de CLIMAVER A2 ont subis avec succès les tests de vieillissement accélérés basés sur une exposition des produits à de multiples cycles de variations de températures et d'humidité. Le FLORIDA TEST qui est le plus connu d'entre eux à été retenu pour nos essais (21 cycles de 8 heures avec des variations d'humidité relative de 18 à 98 % et de température de 25 à 55 °C).

– **Acoustique** : Un traitement efficace tout au long du réseau sans augmentation des pertes de charges.

4.3.3 Normes Européennes

Les conduits aérauliques autoporteurs en laine minérale sont soumis à la Norme européenne EN 13403.

5 THERMIQUE

Les conditions thermiques de l'air circulant à l'intérieur des installations sont différentes de celles de l'air extérieur, ce qui suppose un transfert de chaleur entre les deux masses d'air.

Si ce transfert d'air est important, cela peut causer des courants d'air inadaptés pouvant avoir des répercussions sur les locaux et détériorer l'installation avec le coût d'énergie que cela suppose.

Une des conséquences de ce phénomène est aussi le risque de condensation sur les parois du conduit, dû au refroidissement localisé de l'air et à l'augmentation du taux d'humidité relative.

5.1 GÉNÉRALITÉS : TRANSFERT DE LA CHALEUR

5.1.1 Transmission de la chaleur

Entre deux zones de températures différentes, un flux de chaleur passera de la zone plus chaude à la zone froide.

La présence d'un élément physique séparateur des deux milieux influe sur les conditions de flux de chaleur, lesquelles dépendent des caractéristiques géométriques de l'élément physique et du degré de facilité qu'offre le passage de la chaleur.

La formule générale de la loi de FOURIER qui définit le flux de chaleur par unité de surface est la suivante :

$$q = -\lambda \cdot \text{grad } T \quad W/m^2$$

dans laquelle :

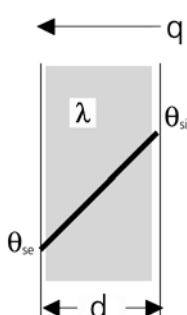
q = flux de chaleur par unité de surface perpendiculaire aux côtés de l'élément séparateur

λ = conductivité thermique du matériau $W/(m \cdot K)$

$\text{grad } T$ = variation de la température en fonction de l'épaisseur du matériau K/m

5.1.1.1 Parois planes

Figure 1



Dans ce cas, la loi de FOURIER est la suivante : $q = -\lambda \frac{d\theta}{dx} \quad W/m^2$

qui conduit à (Fig.1)

$$q = \frac{\lambda}{d} (\theta_{si} - \theta_{se}) \quad W/m^2$$

dans laquelle :

d = épaisseur du matériau

θ_{si} = température superficielle du côté chaud K

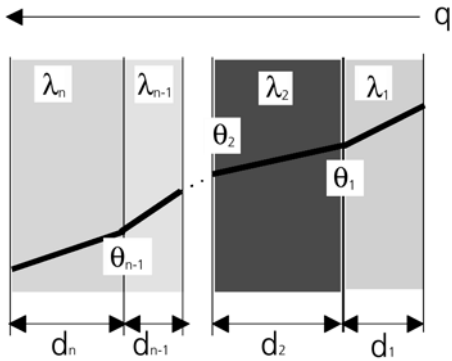
θ_{se} = température superficielle du côté froid K

l'équation peut s'écrire ainsi :

$$q = \frac{\theta_{si} - \theta_{se}}{R}$$

dans laquelle : $R = \frac{d}{\lambda}$ (m² K)/W

Figure 2



R désignant la résistance thermique du matériau.

Si l'élément séparateur est composé de plusieurs types de matériaux (Fig.2), l'expression du calcul du flux de chaleur reste la même. Mais, dans ce cas, la résistance thermique de toute l'épaisseur de l'élément séparateur à prendre en compte est :

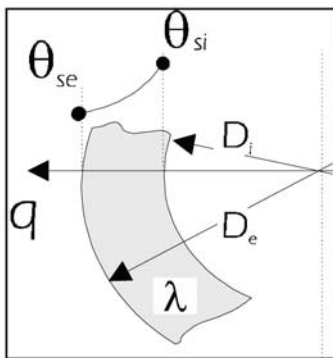
$$R = \sum \frac{d_j}{\lambda_j} \quad (m^2 K)/W$$

dans laquelle : d_j = épaisseur de chaque tôle m

λ_j = conductivité thermique de chaque tôle W/(m•K)

5.1.1.2 Parois cylindriques (fig. 3)

Figure 3



La résolution de l'équation de FOURIER mène à l'équation

$$q = \frac{\theta_{si} - \theta_{se}}{R} \quad W/m$$

donnant : $R = \frac{L_n \frac{D_e}{D_i}}{2 \pi \lambda}$ (m•K)/W

dans laquelle :

D_i = diamètre intérieur (en mètres)

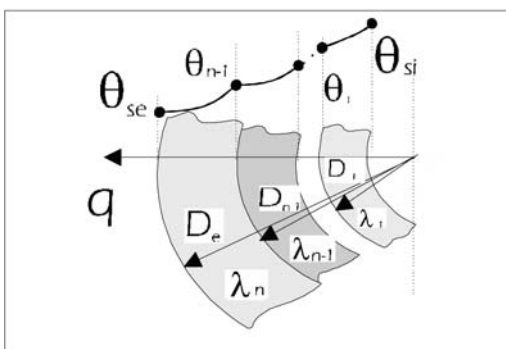
D_e = diamètre extérieur (en mètres)

R = résistance thermique linéaire

Si le cylindre se compose de plusieurs couches de matériaux différents (Fig. 4) :

$$R = \frac{1}{2\pi} \sum \frac{1}{\lambda_j} L_n \frac{D_{ej}}{D_{ij}} \quad (m \cdot K)/W$$

Figure 4



5.1.1.3 Conduits rectangulaires

Le flux linéaire de chaleur à travers la paroi d'un conduit de section rectangulaire se calcule ainsi :

$$q = \frac{\theta_{si} - \theta_{se}}{R} \quad W/m$$

La résistance thermique linéaire de la paroi de ce conduit peut être approximativement calculée ainsi :

dans laquelle :

$$R = \frac{2 \cdot d}{\lambda \cdot (P_e + P_i)} \quad (\text{m} \cdot \text{K})/\text{W}$$

P_i = périmètre intérieur du conduit (en mètres)

P_e = périmètre extérieur du conduit (en mètres)

d = épaisseur de la tôle isolante (en mètres)

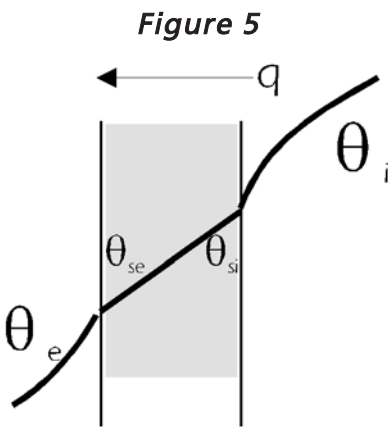
$$P_e = P_i + (8 \cdot d)$$

5.2 TRANSFERT SUPERFICIEL DE CHALEUR

Le flux de chaleur qui traverse l'élément séparateur doit être égal à celui du milieu le plus chaud et égal à celui du milieu le plus froid.

Cela suppose (Fig. 5) que :

$$\theta_i > \theta_{si} > \theta_{se} > \theta_e$$



Il doit exister un coefficient de transmission superficielle de la chaleur permettant :

$$q = h_i (\theta_i - \theta_{si}) = h_e (\theta_{se} - \theta_e)$$

dans laquelle :

h_i = coefficient d'échange superficiel de la chaleur du milieu "i"
 $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

h_e = coefficient d'échange superficiel de la chaleur du milieu "e"
 $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

En général, tout "h" est calculé par la formule suivante :

$$h = h_{cv} + h_r \quad \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

dans laquelle :

h_{cv} = partie du coefficient superficiel due à la convection

h_r = partie du coefficient superficiel due à la radiation

5.2.1 Coefficient superficiel dû à la convection h_{cv}

Ce coefficient dépend de plusieurs facteurs tels que la vitesse de l'air, l'orientation de la superficie, le type de matériau, la différence de température, etc.

Les équations utilisées peuvent varier en fonction des pays et il n'existe pas de science mathématique exacte pour choisir l'équation juste, étant donné que les résultats peuvent différer.

Pour la partie convective, il faut faire la différence entre les coefficients superficiels pour l'intérieur des bâtiments et ceux pour l'extérieur.

Pour les conduits spiralés, il convient de faire une distinction entre le coefficient interne, h_i et le coefficient externe, h_e .

A) INTÉRIEUR DES BÂTIMENTS

À l'intérieur des bâtiments, pour les surfaces planes verticales et les conduits verticaux, h_{cv} peut être calculé de la manière suivante s'il s'agit de :

- convection laminaire libre ($H^3 \cdot \Delta\theta \leq 10 \text{ m}^3\text{K}$) :

$$h_{cv} = 1,32 \cdot 4 \sqrt[4]{\frac{\Delta\theta}{H}} \quad \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

dans laquelle : $\Delta\theta = |\theta_{se} - \theta_a|$ en K

θ_{se} = température de la superficie de la paroi (en K)

θ_a = température de l'air ambiant à l'intérieur du bâtiment (en K)

H = hauteur de la paroi ou diamètre du tuyau (en m)

- convection libre turbulente ($H^3 \cdot \Delta\theta \geq 10 \text{ m}^3 \text{K}$)

$$h_{cv} = 1,74 \cdot \sqrt[3]{\Delta\theta} \quad \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \quad (\text{b})$$

• Pour les conduits spiralés horizontaux à l'intérieur des bâtiments, h_{cv} est calculé ainsi par :

- flux laminaire ($D^3 \cdot \Delta\theta \leq 10 \text{ m}^3\text{K}$)

$$h_{cv} = 1,25 \cdot 4 \sqrt[4]{\frac{\Delta\theta}{D_e}} \quad \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \quad (\text{c})$$

- flux turbulent ($D^3 \cdot \Delta\theta \geq 10 \text{ m}^3\text{K}$)

$$h_{cv} = 1,21 \cdot \sqrt[3]{\Delta\theta} \quad \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \quad (\text{d})$$

• Dans le cas de superficies planes horizontales, à l'intérieur des bâtiments, ce coefficient n'a pas d'importance pour la majeure partie des cas pratiques.

Toutes les équations de la partie convective du coefficient thermique d'échange superficiel externe à l'intérieur des bâtiments sont applicables dans des situations où il y a une différence de température de moins de 100°C entre l'air et la surface.

Pour les conduits cylindriques d'un diamètre inférieur à 0,25 m, on peut utiliser l'équation (c) pour calculer la partie convective avec une bonne approximation.

Pour des diamètres plus importants, par exemple $D_e > 0,25 \text{ m}$, on peut appliquer l'équation pour les parois planes (a). L'incertitude est de 5% pour les diamètres supérieurs à 0,4 m et de 10% pour les diamètres compris entre 0,25 m et 0,4 m. On peut également utiliser l'équation (a) pour les conduits de section rectangulaire, avec une largeur et une hauteur égales.

B) EXTÉRIEUR DES BÂTIMENTS

Pour les parois planes verticales, à l'extérieur des bâtiments et par approximation pour les grandes sphères, la partie convective h_{cv} du coefficient superficiel se calcule avec l'équation suivante :

- flux laminaire ($V \cdot H \leq 8 \text{ m}^2/\text{s}$)

$$h_{cv} = 3,96 \sqrt{\frac{V}{H}} \quad \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \quad (\text{e})$$

- flux turbulent ($V \cdot H \geq 8 \text{ m}^2/\text{s}$)

$$h_{cv} = 5,76 \sqrt[5]{\frac{V^4}{H}} \quad \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \quad (\text{f})$$

Pour les tuyaux horizontaux et verticaux à l'extérieur des bâtiments, on utilise les équations suivantes :

- flux laminaire ($v \cdot D_e \leq 8,55 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$)

$$h_{cv} = \frac{8,1 \times 10^{-3}}{D_e} + 3,14 \sqrt{\frac{V}{D_e}} \quad \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \quad (\text{g})$$

- flux turbulent (équation)

$$h_{cv} = 8,9 \cdot \frac{V^{0,9}}{D_e^{0,1}} \quad \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \quad (\text{h})$$

dans laquelle :

D_e = diamètre extérieur de l'isolement (en mètres)

v = vitesse du vent (en m/s)

Pour calculer la température superficielle des tuyaux et de la paroi, quand aucune présence d'air n'est établie, il faut remplacer les équations (a) et (b) par les équations (e) et (h).

Pour les parois horizontales sur des surfaces externes, on appliquera l'équation (e) en cas de flux laminaire et l'équation (f) en cas de flux turbulent.

5.2.2 Coefficient superficiel dû au facteur d'échange radiatif h_r

Le coefficient superficiel dû à la radiation h_r dépend de la température, de la finition superficielle du matériau et de son émissivité. L'émissivité se définit comme la relation entre le coefficient de radiation C_r de la superficie et le coefficient de radiation constant du corps noir.

h_r se calcule ainsi : $h_r = a_r C_r \quad \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

a_r est le facteur de température et se calcule ainsi :

$$a_r = \frac{T_1^4 - T_2^4}{T_1 - T_2} \quad \text{K}^3$$

et peut se calculer approximativement avec une différence de température de 200K selon :

$$a_r \approx 4 (T_{av})^3 \quad K^3$$

étant entendu que :

$$T_{av} = \frac{\text{Température superficielle} + \text{Température ambiante}}{2}$$

C_r = coefficient de radiation en $W/(m^2K^4)$

$C_r = \varepsilon \cdot \sigma$; $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} W/(m^2K^4)$

Types de surface	ε = rugosité en mm	$C_r \times 10^{-8}$ $W/(m^2 K^4)$
Aluminium brillant*	0,06	0,34
Aluminium oxydé	0,13	0,74
Gaine tôle en métal galvanisé		
non dégraissée	0,26	1,47
nettoyée	0,44	2,49
Acier brut	0,15	0,85
Paroi aluminium zingué	0,18	1,02
Surfaces non métalliques	0,94	5,33

* Matériau utilisé pour le surfaçage du CLIMAVER A2

5.2.3 Transmission thermique

La transmission thermique de chaleur U entre deux environnements est définie comme la quantité d'énergie qui passe d'un endroit à un autre, divisée par la différence de température :

$$U = \frac{q}{\theta_e - \theta_e} \text{ en } \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

dans laquelle $U = \frac{1}{R}$, R étant la résistance thermique totale du système, incluant les résistances superficielles h .

Par conséquent :

$$R = \frac{1}{h_i} + \sum R_j + \frac{1}{h_c} \quad \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

étant entendu que $\sum R_j$ = résistance thermique de l'élément séparateur

Sur des parois planes, la transmission thermique est indiquée sous forme de pertes par unité de superficie :

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \sum R_j + \frac{1}{h_e}} \quad \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

tandis que pour les conduits spiralés, elle sera exprimée sous forme de perte par unité de longueur :

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i \pi D_i} + \sum R_j + \frac{1}{h_e \cdot \pi \cdot D_e}} \quad \frac{W}{m \cdot K}$$

5.3 ISOLATION THERMIQUE DES CONDUITS

Les transferts de chaleur à travers le réseau de conduits de diffusion représentent une perte d'énergie apportée par le traitement de l'air, ce qui suppose un coût économique de fonctionnement.

De plus, les caractéristiques physiques de l'air circulant se modifient à cause de la perte d'énergie, ce qui équivaut, dans les limites, à ce que l'air diffusé dans les différents locaux ne soit pas le même partout.

Il est nécessaire de connaître la relation entre les transferts de chaleur et la variation des températures de l'air, selon les caractéristiques géométriques du réseau de conduits et les débits circulants.

5.3.1 Transmission thermique des conduits

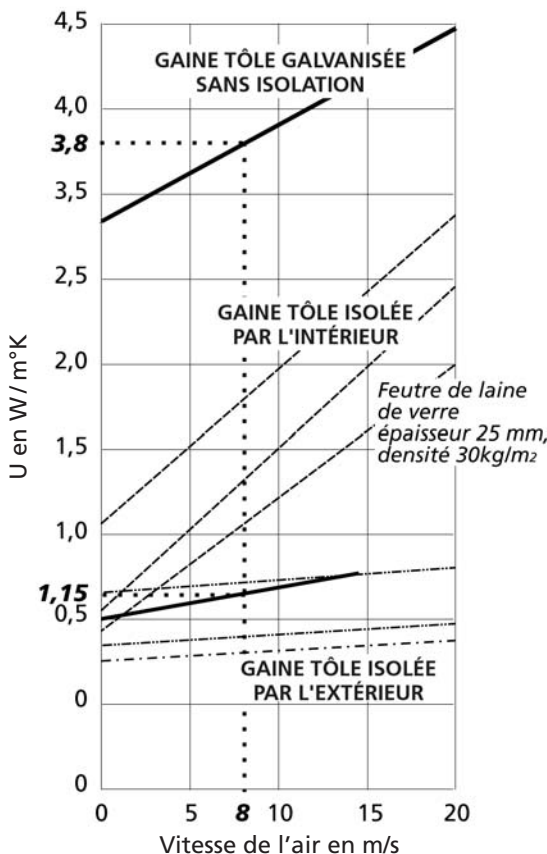
Comme indiqué au paragraphe précédent :

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \sum \frac{e_j}{\lambda_j} + \frac{1}{h_e}} \quad \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Les valeurs de h_e peuvent être considérées comme constantes, étant donné le milieu extérieur calme qui entoure le réseau de conduits (intérieur des bâtiments).

$\sum \frac{e_j}{\lambda_j}$ dépend des matériaux de la paroi du conduit est étroitement lié à l'isolation thermique : en son absence, les λ_j sont généralement élevés et le terme $(\sum \frac{e_j}{\lambda_j})$ a une valeur très faible.

Figure 6



Au contraire, la présence d'isolation thermique suppose un λ_j de cette tôle très faible et, par conséquent, le terme $(\sum \frac{e_j}{\lambda_j})$ a une valeur relativement élevée.

– h_i est le coefficient qui présente les plus importantes variations car sa valeur augmente fortement avec la vitesse de l'air dans le conduit.

L'influence de ces termes dans la valeur U se résume ainsi :

– Conduit sans aucun matériau isolant thermique : valeur élevée de U qui augmente rapidement avec la vitesse de l'air dans le conduit

– Conduit avec un matériau isolant thermique extérieur : valeurs basses de U avec une augmentation très modérée en fonction de la vitesse de l'air dans le conduit. Cela s'explique par le fait que les valeurs du terme $\sum \frac{e_j}{\lambda_j}$ dans ce cas sont souvent supérieures à $\frac{1}{h_i}$ pour la vitesse normale de l'air ($V < 18\text{m/s}$).

ASHRAE indique les valeurs de U (Fig. 6) en fonction de la vitesse de l'air et de divers matériaux utilisés pour les conduits.

On constate sur le graphique que, lorsqu'on utilise un revêtement intérieur en laine de verre, les valeurs de U dépendent assez de la vitesse de l'air.

Cela s'explique par le fait que l'air circulant pousse l'air contenu dans la laine de verre à une certaine mobilité, ce qui suppose une augmentation de la valeur de λ du matériau.

Cette mobilité qui peut engendrer une augmentation de λ avec la vitesse de l'air, peut diminuer avec l'augmentation de la densité du matériau si elle est médiocre. Les conduits autoportants de panneaux rigides de laine de verre (gamme panneau gaine *CLIMAVÉR*) ne sont donc que peu soumis à ce facteur, comme cela est le cas pour les isolants de laine de verre placés à l'extérieur des conduits métalliques.

La variation des valeurs de U dans les conduits avec un seul revêtement extérieur, indiquée par différents grades de compression du matériau, obéit simplement à la variation de $\sum \frac{e_j}{\lambda_j}$ dans l'isolant. Compresser suppose une diminution de l'épaisseur mais en même temps une réduction de la valeur λ par l'augmentation de la densité du matériau. Il y a donc toujours une augmentation de U.

Par exemple, on considère un isolant de 50 mm d'une densité de 12 Kg/m³. Si l'on comprime ce produit de 50%, il aura alors une densité de 24 Kg/m³ et la valeur U augmentera globalement de 20%.

5.3.2 Transfert de chaleur dans un système de conduits

Le calcul de la valeur U permet de connaître les transferts globaux pour chaque unité de superficie de conduit et pour chaque degré de différence de température entre l'air intérieur et le milieu ambiant.

Cependant, comme indiqué précédemment, les transferts de chaleur tout le long du circuit de conduits supposent une variation de température de l'air intérieur, laquelle peut être importante selon la valeur de U, le débit de l'air, la géométrie du conduit et les différences initiales de température entre l'air intérieur et le milieu ambiant.

Pour résoudre ce problème, il suffit d'appliquer la formule de la Norme 90 A de ANSI/ASHRAE/IES qui s'applique à chaque tronçon de section identique.

$$Q_e = \frac{UPL}{1.000} \left(\frac{t_e + t_i}{2} - t_a \right)$$

$$t_e = \frac{t_i (y + 1) - 2t_a}{(y - 1)}; t_i = \frac{t_e (y - 1) + 2t_a}{(y + 1)}$$

dans laquelle :

y = 2,0 AV p/UPL pour les conduits rectangulaires ; 0,5 AV p/UL pour les conduits ronds

A = surface de la coupe transversale du conduit (en mm²)

V = vitesse moyenne (en m/s)

D = diamètre du conduit (en mm)

L = longueur du conduit (en m)

Q_e = perte/apport de chaleur à travers les parois du conduit, W (négative pour un apport de chaleur)

U = coefficient de transfert de chaleur total de la paroi du conduit, W/(m² °C)

P = périmètre du conduit (en m)

p = densité de l'air (en Kg/m³)

t_e = température de l'air à l'entrée du conduit

t_i = température de l'air à la sortie du conduit

t_a = température de l'air autour du conduit

5.3.3 Réduction de la consommation d'énergie (exemple)

Nous avons vu précédemment que les pertes d'énergie, dans des conditions stables pour l'air d'entrée et l'air ambiant, ainsi que la géométrie des conduits, dépend en grande partie de la valeur de U pour ces derniers.

On peut utiliser, de façon assez approximative, la valeur de U pour chaque type de matériau de conduit, comme un élément proportionnel de perte.

Cette théorie est très bien illustrée par l'exemple suivant :

On considère un conduit de climatisation situé dans un plenum, entre plancher haut et faux plafond avec les caractéristiques suivantes :

- conduit de section de 400*400 mm et de 20 m de long
- vitesse de l'air circulant = 8 m/s
- température de l'air à l'entrée du conduit : 14°C
- température de l'air ambiant : 26°C

Vérifier l'échange thermique du conduit pour les caractéristiques d'une gaine tôle galvanisée comparée à notre CLIMAVER A2 ou 284.

Les coefficients de transferts utilisés conformément à la Fig.6 sont les suivants :

- tôle galvanisée $U = 3,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
- CLIMAVER $U = 1,10 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

En appliquant ces formules au point 2.2, on obtient une perte totale de chaleur de :

- Q (TÔLE GALVANISÉE) = 1.403,2 W
- Q (CLIMAVER) = 415 W

Les pertes du système de conduits sont inférieures de 70,4% si l'on préfère un panneau gaine CLIMAVER à la tôle galvanisée.

NB : Dans ce cas, la relation de coefficients de transfert de chaleur indiquera une réduction des pertes de 70,04% pour CLIMAVER par rapport à une gaine tôle galvanisée.

5.4 ISOLATION THERMIQUE DES ÉQUIPEMENTS

L'application, pour chacun des cas, des formules indiquées dans le paragraphe 5.3.2 permet d'analyser les différentes pertes calorifiques pour chaque isolement.

En général, on admet quelques ajustements sans que cela entraîne d'importantes erreurs.

Les installations, contenant du liquide, présentent une valeur de $\frac{1}{h_i}$ très basse, qui peut être insignifiante comparée à d'autres termes de U.

On peut appliquer aux installations à l'intérieur d'un bâtiment les formules suivantes :

CONDUITS HORIZONTAUX $h_e = C_A + 0,05 \Delta\theta \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

CONDUITS VERTICAUX ET PAROIS PLANES $h_e = C_B + 0,09 \Delta\theta \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

En utilisant les coefficients du tableau suivant :

Types de surface	C_A	C_B
Aluminium brillant*	2,5	2,7
Aluminium oxydé	3,1	3,3
Gaine tôle en métal galvanisé		
non dégraissée	4,0	4,2
nettoyée	5,3	5,5
Acier brut	3,2	3,4
Paroi aluminium zingué	3,4	3,6
Surfaces non métalliques	8,5	8,7

* Matériau utilisé pour le surfaçage du CLIMAVÉR

Les équations précédentes sont valables pour les conduits horizontaux dont le diamètre extérieur est compris entre 0,25 m et 1 m et pour tous les conduits verticaux.

Les valeurs de C_A et C_B qui sont des coefficients approximatifs ne sont applicables que lorsque $\Delta\theta < 100^\circ\text{C}$. La radiation sera peu notable, du fait de peu de différence de température entre la surface externe de l'équipement et les autres surfaces qui l'entourent.

5.5 RISQUE DE CONDENSATION

Il peut y avoir condensation si une masse d'air d'une température et d'une humidité relative (HR) données tend à se refroidir et qu'une "température de rosée" pour laquelle la vapeur d'eau se transformera en eau est atteinte (HR = 100 %).

Ce fait a son importance quand la température intérieure des équipements ou des installations est inférieure à la température ambiante. La température de l'air extérieur proche des superficies baisse, augmentant ainsi le taux d'humidité relative et causant des risques de condensation.

Généralement, si l'élément séparateur est en métal ou en tout autre matériau bon conducteur de chaleur, le risque de condensation est élevé, même avec de faibles écarts de température entre l'intérieur et l'extérieur dans des endroits à HR élevée.

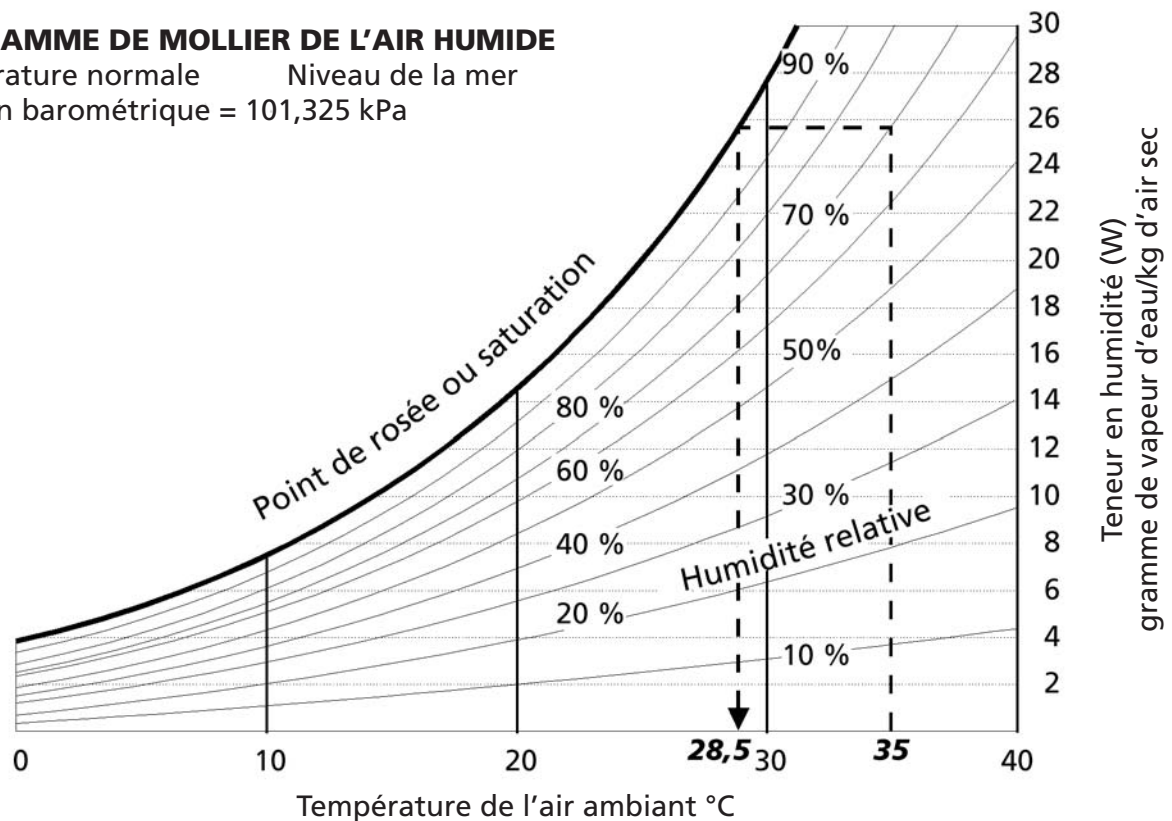
L'utilisation d'éléments séparateurs (type sandwich) comprenant un isolant thermique, comme c'est le cas pour la gamme panneau gaine CLIMAVÉR A2, élimine les risques de condensation, même lors de grandes différences de température.

Cependant, il est indispensable, dans tous les cas, d'étudier le niveau d'isolation thermique nécessaire aux équipements et installations, en tenant compte des conditions les plus défavorables qu'il puisse y avoir.

Les températures superficielles qui peuvent provoquer des condensations peuvent être calculées par les valeurs de U et h_e , en déterminant θ_{se} et en vérifiant l'effet de l'augmentation de la HR du milieu ambiant à cette température.

DIAGRAMME DE MOLLIER DE L'AIR HUMIDE

Température normale Niveau de la mer
Pression barométrique = 101,325 kPa



Le calcul est difficile et imprécis. Il est plus simple d'appliquer la méthode graphique simplifiée de la norme VDI 2055, qui permet de calculer l'épaisseur d'isolant nécessaire pour chaque cas de figure afin d'éviter tout risque de condensation.

L'utilisation d'isolants tels la laine de verre exige l'utilisation d'une barrière de vapeur qui évite la condensation interstitielle dans la masse de l'isolant.

EXEMPLE D'APPLICATION :

On considère un conduit de tôle galvanisée d'une dimension de 400*400 mm.

L'air ambiant est de 35°C avec une humidité relative de 70%

La température de l'air à l'intérieur du conduit est de 10°C

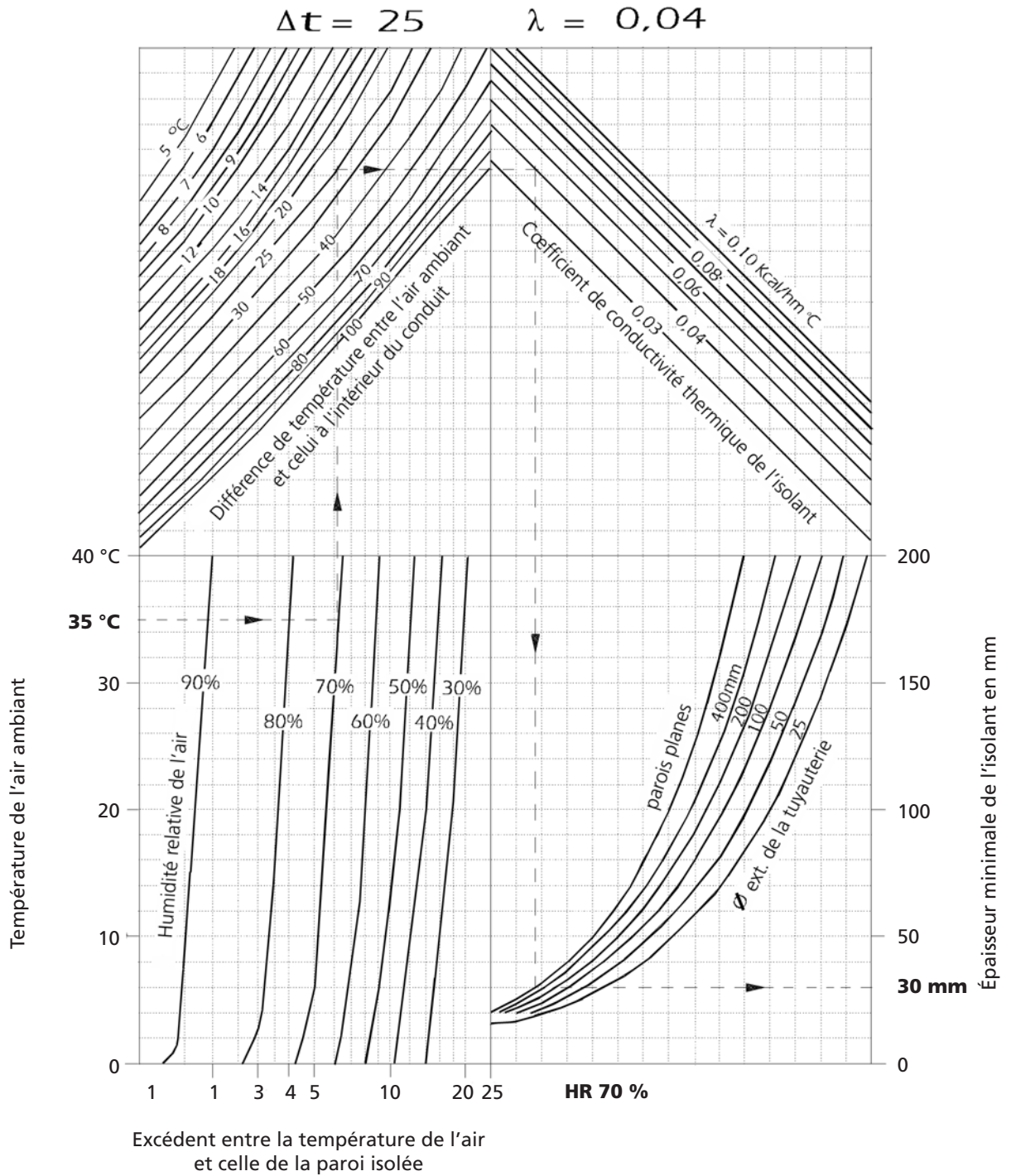
On veut connaître le risque de condensation (pour le réduire) et l'isolation thermique nécessaire, en utilisant un produit de $\lambda = 0,046 \text{ W/m K}$ (0,040 Kcal/h.m•K)

Le diagramme de Mollier nous indique que la température de rosée sera de l'ordre de 28,5°C, ce qui suppose une condensation.

En utilisant le graphique de la norme VDI 2055, on détermine qu'il nous faut un matériau d'au moins 30 mm pour éviter tout risque de condensation.

Note : si le conduit avait été de type CLIMAVER A2, avec un $\lambda = 0,034 \text{ W/(m•K)}$ (0,29 Kcal/hm °C) l'épaisseur minimum de produit serait de 20 mm. Il n'y a donc aucun risque de condensation avec ce produit dont l'épaisseur est de 25 mm.

Détermination des épaisseurs d'isolant nécessaires afin d'éviter les risques de condensation sur les conduits et appareillages de froid.



6 ISOLEMENT ACOUSTIQUE DE LA CLIMATISATION

Selon la Conférence Mondiale sur l'Environnement qui s'est déroulée à Stockholm en 1972, le bruit, considéré comme son indésirable, constitue un polluant.

Les nuisances sonores que subit l'homme vont de gênes affectant le confort (manque d'intimité, difficultés de communication) à des problèmes physiques ou psychiques graves (altération du rythme cardiaque, fatigue, presbytie avancée, etc.)

Les installations de climatisation engendrent différents degrés de bruit qui dépendent de la conception des équipements et de leur puissance et qui constituent également une voie de transmission du bruit à travers les conduits.

Afin de réduire au maximum les nuisances sonores, tous les pays se sont accordés sur des normes de mesure permettant de définir des limites maximales de bruits dans les bâtiments et les locaux, en fonction de leur utilisation.

A) NIVEAU D'ÉMISSION DU BRUIT AÉRIEN DES INSTALLATIONS

Le tableau suivant fixe les valeurs maximales autorisées de bruit aérien causé par le fonctionnement des installations dans des espaces clos.

VALEURS MAXIMALES DES NIVEAUX SONORES EN AMBIANCE EXTÉRIEURE

Type de local	Valeurs maximales en dB(A)	
	Jour (8-22 h)	Nuit (22-8 h)
Bureaux et administrations	45	–
Locaux commerciaux	55	–
Culture et religion	40	–
Centres d'enseignement	45	–
Hôpitaux (jour : 8-21 h)	40	30
Loisirs	50	–
Résidentiel	40	30
Pièces à vivre		
Pièces habitables hors cuisine	35	30
Coulouirs, toilettes et cuisine	40	35
Parties communes	50	40
Espaces collectifs : vestibules, couloirs	50	–
Espaces de service : toilettes, cuisines, salles de bains	55	–

Source : RITE, ITE 02

B) NIVEAU TOTAL D'ÉMISSION DU BRUIT DANS LES LOCAUX

Il est primordial que le concepteur de projets d'installations de climatisations ait connaissance des Normes spécifiques susceptibles d'affecter un projet en raison de son emplacement géographique.

À côté des exigences réglementaires, le but de toute installation de climatisation est d'améliorer le confort des occupants d'un bâtiment. Il semblerait donc contradictoire de ne pas prendre les mesures nécessaires afin que les installations n'engendrent pas de nuisances sonores.

6.1 ORIGINE ET VOIES DE TRANSMISSION DU BRUIT DANS LES INSTALLATIONS

Pour résoudre les problèmes de bruit, il faut :

- les évaluer
- connaître leur origine et les voies de transmissions
- appliquer les solutions adéquates

Le projet doit inclure une étude sur les évaluations acoustiques attendues dans les locaux des bâtiments, ainsi que des mesures pour réduire le bruit, en tenant compte des normes et en offrant du confort aux occupants des locaux.

6.1.1 Types de bruit

A) BRUIT AÉRIEN

Il s'agit du bruit produit et transmis dans l'air, comme la voix de l'homme, la télévision, la radio, le téléphone...

La source du bruit est facilement identifiable et sa transmission au récepteur se fait par l'air ou à travers les vibrations que produit l'air sur les éléments de séparation entre le local émetteur et récepteur.

Dans la climatisation, il est habituel de percevoir à travers des conduits des bruits causés par :

- des émissions depuis les équipements motoventilateurs
- des émissions fluides dynamiques de l'air, causées par des variations de pression de l'air circulant mais également par des frottements de l'air dans les conduits lors de changements de direction ou de vitesses élevées.
- des transmissions croisées, où les bruits passent d'un local à un autre par le réseau de conduits.

B) BRUIT DE TRANSMISSION PAR LE BIAIS DE SOLIDES (BRUITS SOLIDIENS)

Il s'agit des bruits produits par impact ou choc contre la structure des bâtiments et qui se transmettent ainsi jusqu'aux locaux, faisant ainsi vibrer les éléments porteurs et diviseurs.

Ce sont généralement des bruits qui se manifestent dans des endroits parfois très éloignés du point d'origine, du fait que le bruit se transmet très aisément au travers d'éléments solides, rendant ainsi plus difficile sa détection.

Un exemple type de ce genre de bruit est l'émission de vibrations que des appareils mécaniques en marche (machines à laver, lave-vaisselle, climatiseurs, tours de refroidissement, etc.) produisent par contact avec des structures.

6.2 SOLUTIONS ANTI-BRUIT DANS LES INSTALLATIONS

Il est impossible de trouver une solution unique et simple pour réduire les nuisances sonores de tous les appareils.

D'abord, il existe des appareils qui, comme les moteurs, transmettent à la fois des bruits aériens et solidiens.

Il faudrait donc considérer que le niveau de bruit émis par une source sonore est lié aux propres caractéristiques de l'appareil, comme la puissance consommée lors de son fonctionnement.

A ce sujet, l'énergie acoustique émise par des appareils électromagnétiques est de l'ordre de 10^{-3} à 10^{-7} de l'énergie consommée lors de l'utilisation de l'appareil. Cependant, la sensibilité de l'oreille humaine, capable de détecter des sons depuis des intensités acoustiques d'une puissance de 10^{-12} W/m², est telle que des sons de l'ordre de 10^{-4} W/m² (80 dB) sont considérés comme déjà nuisibles.

Un autre aspect important à prendre en considération est l'économie : pour un meilleur confort des utilisateurs, il est établi un maximum sonore dans les espaces clos. Dans tous les cas, l'application de méthodes correctrices ou autres dépendra du niveau sonore émis par la source, de la distance et des voies de transmission.

Nous allons maintenant étudier les méthodes à appliquer en fonction de l'origine du bruit, et plus particulièrement lorsqu'ils sont transmis par les conduits.

6.2.1 Matériel de traitement (tours de refroidissement...)

Équipés d'éléments mobiles, ces appareils produisent souvent des bruit transmis par voie solide, comme le rayonnement des vibrations des différents éléments dans le milieu ambiant (type aérien).

Il peut également se produire, en plus du flux d'air, d'autres bruits de type aérien tant dans la reprise que dans le soufflage d'air.

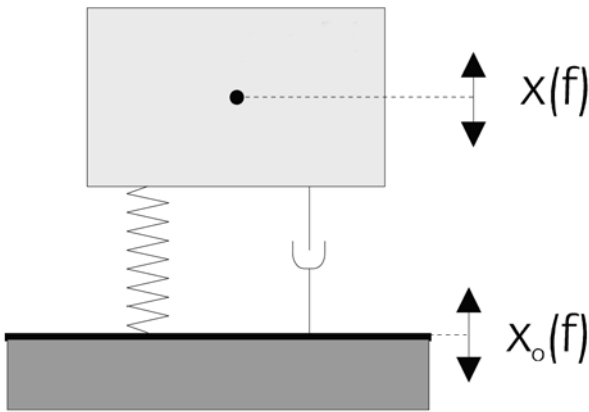
D'autre part, les mesures antibruit dépendront de la place de l'appareil dans le bâtiment et ne seront pas les mêmes selon que l'appareil se trouve sur une terrasse ou à l'intérieur du bâtiment.

6.2.1.1 Transmission de bruit par voie solide

Si les appuis ou les soutiens des appareils en marche sont rigides, les structures de l'édifice rentreront en contact avec une grande part d'énergie perturbatrice, ce qui provoquera des bruits transmis par voie solide.

La solution reste la mise en place d'éléments flexibles anti-vibratiles à la place des liens rigides, afin de diminuer la transmission de forces vibratrices produites par l'appareil.

Dans le dessin suivant, on observe le cas le plus simple : un appareil de masse M produit lors de son fonctionnement une force normale F, avec une fréquence perturbatrice donnée f_p .



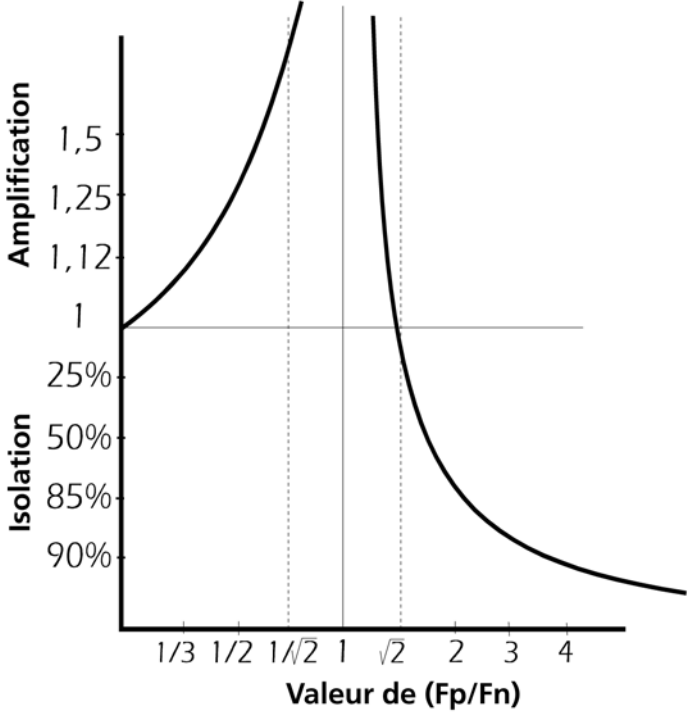
Si on installe, au niveau des appuis, des éléments amortisseurs d'une rigidité K, la fréquence de vibration du système sera la suivante :

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{M}}$$

dans laquelle f_n détermine la fréquence de résonance du système. Cette dernière vibrera indéfiniment si l'on n'installe pas d'éléments amortisseurs (frottement).

L'intérêt pour un tel système est de connaître la part T de la force de l'effort F, réellement transmise. Elle se calcule ainsi :

$$T = \frac{F}{\left(\frac{f_p}{f_n}\right)^2 - 1}$$



Le graphique ci-contre indique :

- $\frac{f_p}{f_n} < 1$ augmentation de T au-dessus de F, augmentant à chaque fois que f_p se rapproche de f_n .

- $\left(\frac{f_p}{f_n}\right)^2 > 2$ diminution de T par rapport à F, dans le sens de la relation de fréquences.

La solution à ce problème est simple pour le concepteur de projets :

- Il faut connaître l'appareil au niveau géométrique ainsi que la charge de chacun des appuis, grâce aux données du constructeur.
- La fréquence perturbatrice du système est normalement celle du rotor de l'appareil.

- Le choix des deux éléments amortisseurs se fait en considérant l'amortissement efficace par relation de $\frac{f_p}{f_n} = 3$ ou 4 et en prenant en compte la charge supportée par chaque amortissement.

Ce dernier point est très important dans le choix effectué. Les amortisseurs que l'on trouve dans le commerce (ressorts, plots antivibratils en caoutchouc, etc.) sont conçus pour soutenir des charges déterminées, pour lesquelles ils ont une rigidité précise, définie par une déflexion sous charge ou déflexion statistique (d_{st}) :

$$d_{st} = \frac{M}{K}$$

Pour laquelle la fréquence naturelle du système sera :

$$f_n = \frac{15,76}{\sqrt{d_{st}}} \text{ Hz}$$

avec d_{st} exprimé en mm.

EXEMPLE

Il s'agit de déterminer le type d'amortisseurs pour un compresseur dont le moteur tourne à 1 450 tours par minute avec un poids total de 2 000 kg, monté sur un support d'acier à 6 appuis réagissant de la même manière.

La solution est la suivante :

$$\text{Réaction par appui : } \frac{2.000}{6} = 333,33 \text{ Kg}$$

$$\text{Fréquence perturbatrice : } f_p = \frac{1.450}{60} = 24,16 \text{ Hz}$$

$$\text{Fréquence de résonance du système : } f_n \leq f_p/3 = 8,05 \text{ Hz (maximum)}$$

$$\text{Déflexion statistique : } d_{st} = \left(\frac{15,76}{8,05} \right)^2 = 3,83 \cong 4 \text{ mm}$$

6.2.1.2 Bruits de transmission aérienne

Il y a, dans ce cas, deux situations : appareils situés dans un espace ouvert (terrasses de bâtiments) ou appareils dans des locaux fermés.

6.2.1.2.1 Appareils situés dans des espaces ouverts

Le bruit aérien généralement produit par les enveloppes de protection des appareils lors du fonctionnement ou lors de prises d'air se propage dans l'entourage, affectant ainsi le bâtiment qui les abrite mais également ceux des alentours.

Le niveau sonore perçu dans chaque cas dépend de l'énergie sonore totale émise, de la direction du son et de la distance. L'intensité sonore diminue avec la distance, selon la formule suivante :

$$L_p = L_w + 10 \log \left(\frac{\phi}{4p \cdot r^2} \right) \text{ en (dB)}$$

dans laquelle :

L_p = niveau de pression sonore à "r" de la source (dB)

L_w = niveau de puissance acoustique de la source (dB)

r = distance (m)

ϕ = directivité ($\phi = 1$ pour émission en champ libre)
($\phi = 4$ pour émission semi-sphérique)

NB : Les valeurs L_p et L_w correspondent à chaque bande ou tiers d'octave

Une fois la puissance acoustique émettrice L_w définie (ou calculée selon la formule indiquée précédemment), on détermine le niveau L_p du récepteur le plus proche.

Ainsi, il faut veiller à ce que les appareils placés dans des espaces ouverts soient équipés d'enveloppes de protection extérieure, offrant un isolement acoustique dans les zones ainsi protégées. Au contraire, les zones ouvertes de prises d'air représentent les endroits les plus sujets à des émissions de puissance sonore. Elles doivent donc être les premières à bénéficier de mesures correctives et à être équipées d'atténuateurs acoustiques.

Pour contrôler ces zones ouvertes, on utilise généralement des silencieux dissipateurs ou absorbeurs. Ces appareils sont constitués de carcasses métalliques, à l'intérieur desquelles se trouvent des baffles de laine de verre ou laine de roche qui amortissent les sons lors de contacts avec l'air.

Ces silencieux absorbeurs atténuent de façon significative les sons sans causer, dans la majeure partie des cas, de pertes de charge importantes. Le matériau absorbant, monté sur châssis, se place aussi bien sur les côtés qu'au centre du courant du fluide. C'est le nombre d'absorbeurs, la hauteur qui les sépare et la taille du silencieux qui définissent la portion nécessaire.

Quant à la protection éventuelle du matériau absorbant et de son type, elle dépend de la vitesse du courant du fluide. Elle n'est pas indispensable pour des vitesses inférieures à 10 m/s et un simple voile de verre peut être suffisant. Pour des vitesses supérieures à 25m/s, il est recommandé d'ajouter, en plus du voile de verre, une tôle perforée ou des panneaux surfacés d'un épais tissu de verre type CLEANTEC.

Certains fabricants, après avoir réalisé des essais dans des chambres sourdes, parviennent à évaluer le niveau sonore de leurs appareils. Si ce n'est pas le cas, il faut le calculer. Il faut donc considérer les ventilateurs comme une source prédominante et se servir des formules suivantes en fonction des informations disponibles :

$$L_w = 25 + 10 \log Q + 20 \log P \text{ (dB)} \quad \text{(Madison-Graham)}$$

$$L_w = 77 + 10 \log W + 10 \log P \text{ (dB)} \quad \text{(Allen)}$$

dans lesquelles :

Q : débit d'air (m^3/h)

P : pression statique ($mm \text{ CE}$)

W : puissance du ventilateur (kW)

Pour connaître la puissance sonore de chaque bande d'octave, on adapte le niveau global L_{wv} obtenu par l'introduction de coefficients correcteurs pour chaque fréquence. Ces coefficients varient selon le type de ventilateurs.

Les ventilateurs émettent des bruits de toutes fréquences, avec un pic pour la "fréquence des basses", qu'on peut déterminer selon la formule suivante :

$$f_{aspas} = \frac{W_g \times N}{60} \text{ Hz}$$

dans laquelle :

W_g = vitesse de rotation des pales

N = nombre de pales

Le niveau de bruit augmente proportionnellement à la vitesse de rotation. À titre indicatif, pour un certain type de ventilateurs, doubler la vitesse de rotation signifierait augmenter le niveau sonore de 17 dB environ.

EXEMPLE

Il s'agit de trouver le silencieux d'absorption adéquat pour atténuer le bruit d'une tour de refroidissement équipée d'un ventilateur hélicoïdal d'un débit d'air de 20.000 m³/h, avec une perte de charge de 15 mm de colonne d'eau, si le récepteur le plus proche se trouve à 20 m.

En utilisant la formule de Madison-Graham

$$L_w = 91,53 \text{ dB}$$

Avec les coefficients correcteurs (non indiqués), on obtiendra le niveau de bruit suivant :

<i>F (Hz)</i>	<i>63</i>	<i>125</i>	<i>250</i>	<i>500</i>	<i>1 000</i>	<i>2 000</i>	<i>4 000</i>	<i>8 000</i>
<i>Lw(dB)</i>	<i>86,53</i>	<i>83,53</i>	<i>84,53</i>	<i>82,53</i>	<i>80,53</i>	<i>80,53</i>	<i>78,53</i>	<i>66,53</i>

On détermine le niveau dans le récepteur (pour chaque bande de fréquence)

$$L_p = L_w + 10 \log \frac{1}{4 \pi 20^2} = L_w - 37,01 \text{ dB}$$

<i>F (Hz)</i>	<i>63</i>	<i>125</i>	<i>250</i>	<i>500</i>	<i>1 000</i>	<i>2 000</i>	<i>4 000</i>	<i>8 000</i>
<i>Lp</i>	<i>49,52</i>	<i>46,52</i>	<i>47,52</i>	<i>45,52</i>	<i>43,52</i>	<i>43,52</i>	<i>41,52</i>	<i>29,52</i>
<i>Lp (A)</i>	<i>23,52</i>	<i>30,52</i>	<i>38,52</i>	<i>42,52</i>	<i>43,52</i>	<i>44,52</i>	<i>42,52</i>	<i>28,52</i>

NB : Lp(A) s'obtient en appliquant la pondération A aux valeurs Lp

Le niveau général s'obtient par la formule suivante : $L_{pg} = 10 \log \Sigma \text{antilog} \frac{L_p(A)}{10} \text{ dB(A)}$

$$L_{pg} = 49,81 \text{ dB(A)}$$

Si on considère que la réglementation n'autorise pas un niveau de pression sonore supérieur à 40 dB(A), il sera nécessaire d'utiliser un silencieux qui réduit le bruit d'au moins 9,81dB(A).

En faisant un choix parmi les offres disponibles, conformément aux caractéristiques exigées et à la géométrie désirée (les fabricants fournissent divers tableaux selon l'amortissement nécessaire et les conditions de travail), on trouve des silencieux avec le degré d'atténuation suivant :

<i>F (Hz)</i>	<i>63</i>	<i>125</i>	<i>250</i>	<i>500</i>	<i>1 000</i>	<i>2 000</i>	<i>4 000</i>	<i>8 000</i>
Atténuation du silencieux en dB	4	6	11	22	25	25	19	15

(Le choix se fait parmi des silencieux qui réduisent la fréquence de 250 Hz d'au moins 10 dB.
Il existe des solutions qui présentent des atténuations similaires)

Le niveau sonore du récepteur serait :

<i>L_p (dB)</i>	<i>45,52</i>	<i>40,52</i>	<i>36,52</i>	<i>23,52</i>	<i>18,52</i>	<i>18,52</i>	<i>22,52</i>	<i>14,52</i>
<i>L_p dB(A)</i>	<i>19,52</i>	<i>24,52</i>	<i>27,52</i>	<i>20,25</i>	<i>18,52</i>	<i>19,52</i>	<i>23,52</i>	<i>13,52</i>

Le niveau général est : $L_{p_g} = 31,64 \text{ dB(A)}$

La norme de l'exemple a été respectée.

6.2.1.2.2 Appareils situés dans des espaces clos

Le bruit aérien généré affecte le local où se trouve l'appareil et se propage dans le reste du bâtiment, principalement dans les zones les plus proches. S'il s'agit de vibrations, elles peuvent se répercuter dans des dépendances non limitrophes de l'espace concerné.

Les appareils situés dans des espaces clos présentent les problèmes de vibrations abordés au paragraphe 5.2.1.1 et doivent donc être traités avec les amortisseurs adéquats. Concernant les prises d'air, dont le niveau sonore doit être calculé, on installera, si nécessaire, un silencieux dissipateur.

Le niveau de pression sonore perçue dépend, comme dans le cas précédent, de la direction du son et de la distance, influençant en plus l'air absorbant de l'enceinte, selon la formule suivante :

$$L_p = L_w + 10 \log \left(\frac{\phi}{4\pi \cdot r^2} + \frac{4}{A} \right) \text{dB}$$

dans laquelle :

L_p	=	niveau de pression sonore à "r" de la source (dB)
L_w	=	niveau de puissance acoustique de la source (dB)
r	=	distance (m)
ϕ	=	directivité ($\phi = 1$ pour émission sphérique) ($\phi = 4$ pour émission semi-sphérique)
A	=	surface absorbant ($A = \sum \alpha_i S_i$) (m^2)
α_i	=	coefficient d'absorption Sabine des matériaux de l'enceinte
S_i	=	superficie des cloisons de l'enceinte (m^2)

NB : Les valeurs L_p et L_w correspondent à chaque bande ou tiers d'octave

En plus du bruit aérien causé par les appareils, il faut prendre en compte les vibrations transmises aux conduits et appliquer les mesures qui s'imposent pour résoudre ces problèmes. Il peut s'agir d'une suspension adéquate des éléments mentionnés, de la disposition d'accouplements élastiques au niveau des intersections des cloisons ou encore de l'utilisation de manchettes et de connexions flexibles entre l'appareil et le conduit.

6.2.2 Conduits de distribution d'air

Le bruit des conduits est dû aux turbulences produites par le flux d'air qui circule dans ces derniers (flux produit par des coudes, ramifications latérales, changements de section, etc.)

Les turbulences provoquent parfois des vibrations sur les parois des conduits qui n'ont pas de revêtement intérieur, augmentant de façon significative le bruit transmis à l'enceinte. Les sons qui se propagent au travers de conduits dépourvus d'un revêtement intérieur en matériau absorbant s'atténuent peu. (Généralement, l'amortissement possible est insignifiant).

Pour optimiser l'amortissement de ces sons, il faut tapisser les parois internes des conduits avec un matériau absorbant.

Pour un conduit assez large, l'amortissement linéique se calcule à partir de la formule suivante :

$$\Delta L = 1,05 \cdot \alpha^{1,4} \frac{P}{S}$$

dans laquelle :

- ΔL = amortissement (dB/m)
- α = coefficient d'absorption Sabine du matériau
- P = périmètre intérieur du conduit (m)
- S = section libre du conduit (m²)

D'après cette formule, plus étroits sont les conduits (ce qui augmente la relation P/S), plus importante sera l'atténuation. Ce raisonnement n'est peut être pas simple à appliquer et exige donc pour des sections plus petites d'avoir des vitesses plus importantes afin de maintenir le débit circulant.

Le coefficient d'absorption et donc l'atténuation dépendent de la nature et de la géométrie du matériau en contact avec le flux d'air. Concernant la géométrie, il convient d'utiliser des surfaces planes et c'est l'épaisseur du produit qui influe sur le coefficient (α) de Sabine. Pour les fréquences basses et moyennes, plus l'épaisseur est importante, plus les amortissements sont conséquents.

6.2.2.1 Conduits de laine de verre

D'un point de vue acoustique, les conduits autoportants en laine de verre (gamme Panneau gaine CLIMAVÉR) représentent une excellente solution pour atténuer notamment les bruits transmis par la source que représente l'unité de traitement.

Sur chaque fiche technique des produits de la gamme CLIMAVÉR A2, sont indiquées les valeurs des coefficients d'absorption acoustique (α), conformément aux résultats réglementaires obtenus lors des essais en laboratoire.

Le tableau ci après nous donne ces valeurs de α pour la famille panneau gaine

Produit	F(Hz)	125	250	500	1 000	2 000	4 000
CLIMAVÉR 284	α	0,3	0,4	0,7	0,75	0,9	0,9
CLIMAVÉR A2	α	0,3	0,2	0,3	0,7	0,5	0,3

CLIMAVÉR 284 : PV CEBTP N° 642 6 908/8

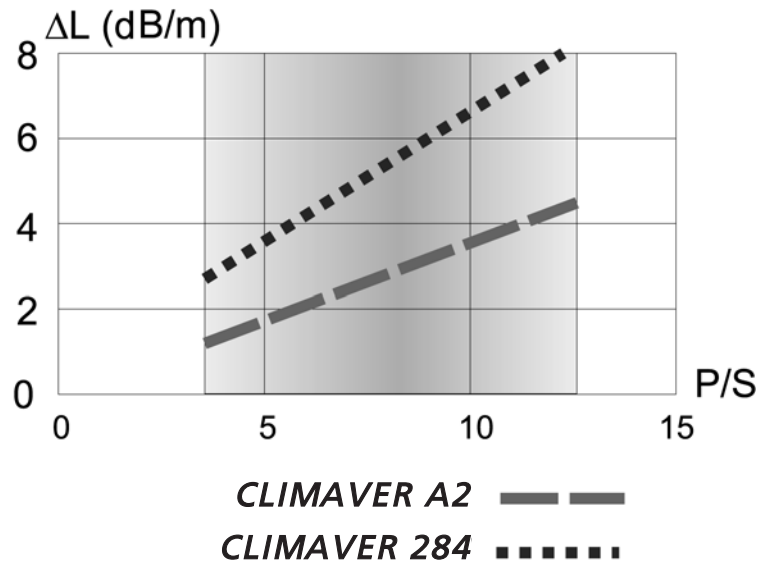
CLIMAVÉR A2 : Valeurs estimées d'après PV CEBTP N° B 212.0.122 du Climaver Métal (même épaisseur et densité).

A) INFLUENCE DU NIVEAU DE BRUIT RÉEL

Dans la plupart des cas, les bruits des unités de traitement ont des composants dominants dans les fréquences basses et moyennes. Par conséquent, ce sont les valeurs d' α pour ces fréquences qui influent le plus l'atténuation acoustique réelle.

B) INFLUENCE DE LA GÉOMÉTRIE DES CONDUITS

Les premiers tronçons de conduits depuis la sortie de la machine de production sont ceux qui déterminent l'atténuation acoustique jusqu'aux premières grilles ou diffuseurs du local. C'est au niveau de ces terminaux qu'a lieu l'atténuation la plus faible de tout le système. Si on obtient un degré d'atténuation raisonnable pour ces premières grilles, le reste du système n'aura aucun problème puisque les performances seront toujours plus élevées au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la source de production.



La pratique permet de réduire le champ d'atténuation acoustique des conduits avec des dimensions plus importantes du système, qui, la plupart du temps ont des valeurs minimales de 350*350 mm, sans dépasser généralement 1000*1000 mm. Cela équivaut à des valeurs de P/S comprises entre 11,4 et 4 respectivement.

Pour le niveau sonore de l'exemple précédent, les possibilités d'atténuation acoustique en fonction des géométries réelles possibles seront celles du schéma ci-dessus.

6.2.2.2 Comparaison avec d'autres solutions pour conduits

L'utilisation de conduits d'autres matériaux, tôle métallique en particulier, n'est pas efficace pour atténuer les sons, du fait que ces matériaux ont un faible coefficient d'absorption pour l'ensemble des fréquences.

Pour résoudre ce problème, on a deux options :

- Installer des atténuateurs ou silencieux d'absorption à la sortie de la machine, aux caractéristiques similaires à celles énoncées dans le paragraphe 6.2.1.2. Leur calcul est conditionné par la géométrie des conduits et les pertes de charge admises.
- Utiliser des éléments absorbants qui viennent tapisser les parois intérieures du conduit, augmentant ainsi la valeur d' α sur toute la gamme des fréquences. On doit donc utiliser des produits absorbants ou baffles acoustiques en laine de verre. Dans ce cas de figure, le système CLEANTEC est la réponse la plus adaptée qui conjugue efficacité acoustique, qualité de l'air et très bonne aptitude au nettoyage grâce à l'utilisation d'un revêtement intérieur en tissu de verre. Cette deuxième option est à privilégier quand la place disponible dans les locaux techniques est insuffisante et/ou quand des bruits de transmission croisée existent entre deux bouches de soufflage au sein d'un conduit.

Les qualités d'absorption sont étroitement liées à l'épaisseur de la laine, spécialement pour les fréquences basses et moyennes, si on n'utilise pas d'épaisseur inférieure à 10 mm.

Dans le TABLEAU II sont indiqués à titre d'exemple les résultats comparatifs de l'atténuation acoustique (dB/m) d'un conduit de 400*500 mm pour les différents systèmes courants.

TABLEAU II

Type	Atténuation acoustique (dB/m)					
	F(Hz)	125	250	500	1 000	2 000
Gaine tôle		0,07	0,07	0,19	0,19	0,1
Gaine tôle + Climaver 502 épaisseur 15 mm		0,14	0,18	0,23	1,28	2,8
Gaine tôle + Climaver 202 épaisseur 25 mm		0,14	0,14	0,38	0,38	0,2
Climaver 284		0,23	1,13	5	8,28	9,45
Climaver Métal		0,14	0,92	3,58	3,78	3,19

Note : les valeurs d' α correspondent au produit CLIMAVÉR, dépassant la valeur 1 sur plusieurs fréquences, dans les résultats d'essais en laboratoire officiel. Dans la pratique, la valeur 1 est prise en compte comme valeur maximale pour les calculs.

On peut remarquer la faible performance de l'atténuation du conduit de tôle métallique et l'amélioration de cette caractéristique quand on tapisse l'intérieur du conduit avec un produit type CLIMAVÉR 502 épaisseur 15 mm, (matériau de laine de verre surfacée avec un voile de verre noir). Cette amélioration n'est pas significative pour les fréquences basses et moyennes, étant donnée l'épaisseur réduite du matériau, même si cela suffit dans de nombreux cas. Il s'agit de performances données à titre indicatif : ce type d'isolant ne répondant pas à la réglementation thermique française (RT 2005) dans laquelle $R > 0,6 \text{ w/m}^2\text{K}$.

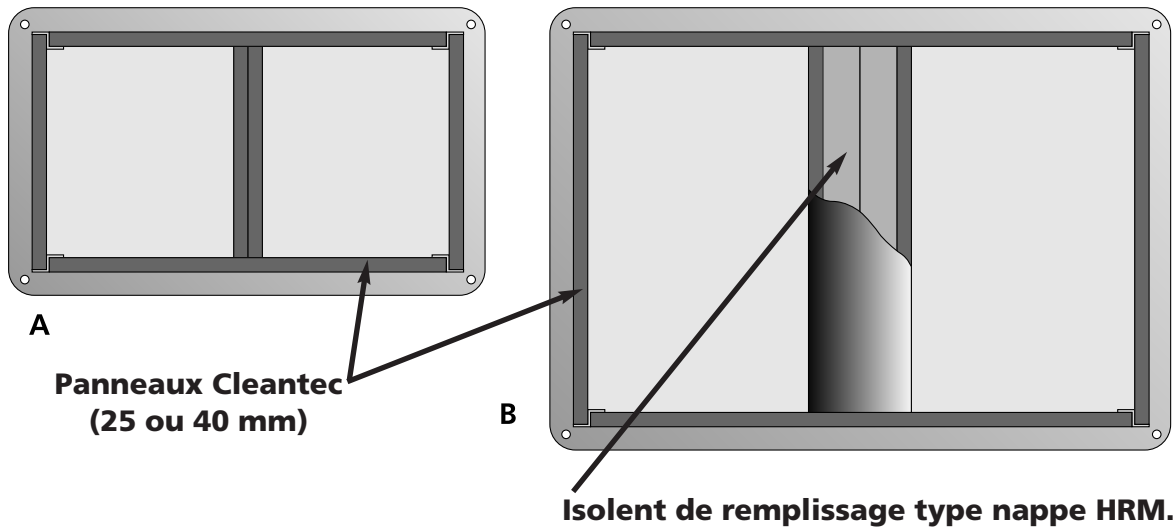
Dans le cas d'une isolation thermique par l'extérieur du conduit en gaine tôle galvanisée réalisé par un feutre de type CLIMAVÉR 202 épaisseur 25 mm, l'atténuation n'est que légèrement améliorée par rapport au conduit nu.

Comme le montre les résultats des essais, les meilleures performances s'obtiennent par l'utilisation de conduits autoportants de laine de verre de la gamme CLIMAVÉR A2.

6.2.3 Transmission croisée

Les transmissions croisées, à savoir la propagation du bruit entre deux enceintes par un système de conduits d'aération est l'un des problèmes que présentent certaines installations d'air conditionné. Le son pénètre par les grilles, se propage par les conduits et arrive à nouveau dans d'autres enceintes par les grilles correspondantes.

Atténuateur acoustique pour conduits de distribution d'air de type Coulisse CLEANTEC



La propagation du bruit par transmissions croisées est traitée par la mise en place de matériaux isolants en laine de verre à l'intérieur des conduits.

Dans le cas de conduits métalliques sans revêtement, on utilise des silencieux de distribution disposés près de l'émission mais ne permettant pas de traiter le bruit par transmissions croisées. Ces silencieux sont soit fabriqués à partir de matelas de laine de verre placés dans une enveloppe métallique, soit réalisés par des coulisses de type Cleantec (voir schéma A et B ci-dessus).

7 PROTECTION CONTRE LES INCENDIES

Les incendies constituent l'un des risques les plus importants pour les occupants des bâtiments. Les réseaux de conduits peuvent contribuer non seulement à la propagation d'incendies d'un local à l'autre, mais aussi au transfert de fumées. Il est donc nécessaire de définir des mesures de protection passive (matériaux) et active (mécanismes) qui réduisent raisonnablement les risques.

7.1 GÉNÉRALITÉS SUR L'ORIGINE ET LA PROPAGATION D'UN INCENDIE

Tout matériau qui atteint une température de combustion peut provoquer un incendie.

Lors de la combustion qui est un processus exothermique, il y a une augmentation de la température dans les zones proches du foyer de l'incendie. Cela peut suffire à provoquer la combustion des autres parties du matériel ou d'un matériel se trouvant à proximité.

Ce processus augmente de façon exponentielle lors de la relation température-temps, tant que les matériaux inflammables existent en quantité suffisante.

Lors d'un incendie réel, la température du local ne cesse d'augmenter jusqu'à provoquer la combustion subite et générale de tous les matériaux inflammables présents. C'est ce qu'on appelle le '*FLASH OVER*' ou embrasement généralisé.

A partir de cet instant, l'incendie n'est plus maîtrisable. La température augmente jusqu'à ce que le niveau de chaleur créée par la combustion soit égal à celui évacué par l'air ambiant. Ce processus perdure jusqu'à la diminution progressive de la température par manque de matériaux inflammables.

Certains facteurs sont déterminants pour la courbe température-temps :

- la charge de l'incendie du local
- la capacité et la vitesse de propagation de l'incendie

La charge de l'incendie est représentée par le pouvoir calorifique des matériaux existants ; mesurée par unité de superficie du local. Cette caractéristique immuable dépend des matériaux.

La capacité et la vitesse de propagation de la flamme sont également des caractéristiques d'un matériau. Elles peuvent être modifiées de façon artificielle par l'utilisation d'ignifugeants, qui retardent l'apparition des flammes.

7.2 RÉACTION FACE AUX MATÉRIAUX EN FEU : NORMES

Les réactions face à des matériaux en feu sont classées de différentes façons. En France, la classification légale obligatoire établit différents niveaux conformément à l'arrêté du 30 juin 1983 modifié le 28 août 1991, avec les dénominations M0, M1, M2, M3 et M4 qui caractérisent l'inflammabilité des produits. Plus l'indice de classement M est élevé, plus le produit est inflammable pouvant favoriser un incendie ou sa propagation.

La classe M0 englobe les matériaux qui ne sont pas combustibles face à l'action thermique normalisée de l'essai correspondant. Les matériaux de type M1 peuvent être combustibles mais ininflammables, ce qui signifie que leur combustion s'arrête lorsqu'il n'y a plus d'apport de chaleur d'un foyer extérieur. Les classes M2, M3 et M4 indiquent des degrés d'inflammabilité croissants.

En accord avec les directives en vigueur, la France accepte tous les produits fabriqués par les autres pays de l'Union, à la seule condition qu'ils aient été testés selon les spécifications de ces pays et que ces spécifications offrent un niveau de sécurité équivalant aux exigences normatives française. Une harmonisation en termes de réaction au feu est en cours au niveau européen et des normes spécifiques devraient voir le jour dans les années qui viennent.

7.3 RÉGLEMENTATION POUR LES MATÉRIAUX D'ISOLATION DES INSTALLATIONS DE CLIMATISATION

Réglementation des Établissements Recevant du Public (ERP)

La réglementation de ce secteur est particulière. Il s'agit du décret 73.1007 codifié R 123.1 à R 123.55 du Code de la Construction et de l'Habitation.

L'article CH 32 précise que les conduits de distribution et de reprise d'air doivent être en matériaux classés MO. Les calorifuges doivent être classés MO ou M1 ; dans le deuxième cas, ils sont placés obligatoirement à l'extérieur du conduit.

7.4 LE PROBLÈME DES FUMÉES DANS LA SÉCURITÉ CONTRE LES INCENDIES

Lors d'incendies, plus de 80% des victimes ont souffert des fumées.

Lors d'un incendie, les fumées posent deux problèmes distincts : l'opacité visuelle et le degré de toxicité des composants des fumées.

7.4.1 Opacité des fumées

Les fumées provoquent une obstruction visuelle des voies d'évacuation qui permettent aux occupants d'un bâtiment où se déclare un incendie de s'échapper.

Plus l'obscurcissement est important, plus il sera long et difficile de s'échapper et plus le risque d'être victime du feu est important.

Il y a plusieurs façons de mesurer l'opacité des fumées générées par un matériau. La plus courante est la norme NFX 10-702 qui est l'équivalent de la norme ASTM 662-83.

Elle permet de mesurer le coefficient appelé '*Densité optique spécifique(Ds)*' dont la valeur augmente avec l'opacité des fumées.

Elle s'applique selon la formule suivante du C.I.E:

$$D_s = K.\log 100/T.$$

dans laquelle :

- K : coefficient de l'appareil de mesure
- T : transmission lumineuse à travers la fumée testée

La valeur de T varie en fonction du temps que dure l'essai augmentant jusqu'à une valeur maximale.

Il convient de considérer les valeurs d'obscurcissement des fumées (VOF4) qui équivalent aux densités optiques spécifiques durant les 4 premières minutes de l'essai, mais aussi la D_m qui correspond à la valeur maximale lors des essais.

7.4.2 Toxicité des fumées

La composition chimique des gaz de combustion est différente selon le type de matériau. Quand le matériau est composé de matière organique, il y aura un pourcentage élevé de CO_2 et des quantités de CO et de No_x moindres.

De plus, de la même façon qu'il existe d'autres composants, il peut se produire des écoulements de gaz tels que le HCl, PHENOL, HCN, SO_2 , etc.

Tous ces gaz ont une action de toxicité sur l'être humain qui est différente pour chacun et dépend de la relation temps-concentration. On définit en général la "concentration critique" comme celle qui provoque une mortalité de 50 % chez l'homme et, ce en moins, de 45 minutes.

Cette concentration critique est très faible pour les gaz à haute toxicité (p.e. 55 mg/m³ pour le HCN) et élevée pour les gaz peu toxiques (p.e. 90.000 mg/m³ pour le CO_2).

Conformément à la norme NFX 70-100 (Juin 1986), on calcule "l'indice de toxicité conventionnel de fumées", défini selon les normes NF F 16-101 (Octobre 1988) et NF F 16-102 (Avril 1992), par la formule suivante :

$$ITC = \frac{100}{m} \sum \frac{M_i}{CC_i}$$

dans laquelle :

- m : masse de l'échantillon à tester (g)
- M_i : masse des gaz provenant de chaque gaz toxique (mg)
- CC_i : concentration critique de chaque gaz qui s'échappe(mg/m³)

7.4.3 Indice de fumée :

La norme précitée NFF-16-101, définie comme "indice de fumée"

$$IF = \frac{Dm}{100} + \frac{VOF_4}{30} + \frac{ITC}{2}$$

Cette valeur mesure le risque global des fumées pour classer les matériaux, selon un critère unique de danger vis à vis de l'être humain.

La classification en ordre croissant est :

Classes matériaux	F.0	⇒		IF	< 5.
	F.1	⇒	5 <	IF	< 20.
	F.2	⇒	20 <	IF	< 40.
	F.3	⇒	40 <	IF	< 80.
	F.4	⇒	80 <	IF	< 120.
	F.5	⇒		IF	> 120.

Ce qui ressort des valeurs précitées est que les matériaux les plus performants face aux problèmes de fumée , comme ceux classés F0, ceux qui en cas d'incendie, ont le niveau de toxicité et d'opacité des fumées dégagées pratiquement nul.

Plus la classification d'un matériau est élevée (F1 ; F2...) , plus grand est le risque pour les personnes.

7.4.4 Le CLIMAVER et les classements fumée :

Le PV en réaction au feu de juin 2002 passé au laboratoire LNE et référencée CMAT "CO31232", attribue le classement FO au CLIMAVER METAL dont les caractéristiques techniques ont été reprises pour le nouveau CLIMAVER A2.

8 PERTES DE CHARGE DANS LES CONDUITS CLIMAVÉR

L'air qui doit circuler dans le réseau de conduits reçoit une énergie d'impulsion d'un ventilateur. Cette énergie doit suffire pour distribuer l'air dans tous les locaux selon les conditions prévues de débit, de température et de vitesse établies par les conditions de conception.

Le problème réside dans l'évaluation de la taille des conduits afin de respecter le débit prévu et que l'énergie totale de l'air puisse compenser de façon équilibrée les pertes inévitables produites lors du processus de flux dynamique dans les conduits.

Ces pertes sont généralement de deux sortes :

- pertes par frottement, dues à la viscosité du fluide et qui dépendent de la géométrie, de la rugosité interne des conduits et du régime de mouvement.
- pertes dynamiques, dues aux perturbations de vitesse, par changement directionnel ou par variations brusques de leur valeur.

Nous allons tout au long de ce chapitre tenter d'établir une méthode de calcul et de valorisation de ces pertes.

8.1 PRESSIONS STATIQUE, DYNAMIQUE ET TOTALE

8.1.1 Concepts

L'énergie fournie à un système d'impulsion est établie sous forme de pressions à travers deux composants :

- a) la pression statique (P_s) qui est la conséquence de la compression du fluide à l'intérieur du conduit. Elle se mesure par excès (ou défaut) sur la pression atmosphérique ambiante.

Cette pression est positive lors de soufflages et négative lors d'aspirations.

La pression statique atteint son maximum lors du point d'impulsion et diminue tout au long du conduit suite aux pertes par frottement jusqu'au point zéro à la sortie. Il se passe le même phénomène dans le circuit d'aspiration, avec des valeurs négatives cependant.

- b) La pression dynamique est la composante de l'énergie due à la vitesse du fluide et sa valeur se calcule de la façon suivante :

$$P_d = \frac{\rho V^2}{2}$$

dans laquelle :

ρ = masse volumétrique de l'air circulant (Kg/m³)

v = vitesse de l'air circulant (m/s)

La pression dynamique est toujours positive (dans le sens de l'avancée d'air).

De la même façon que la masse d'air transportée dans l'unité de temps est stable tout au long du conduit, la vitesse varie à chaque changement de section du conduit, jusqu'à la sortie ou jusqu'à la distribution de l'air aux bifurcations.

- c) La pression totale (P_t) est le résultat de la somme algébrique de $P_s + P_d$

Dans un conduit d'aspiration, la P_t est négative (dépression) et devient toujours positive dans les conduits de soufflage.

8.1.2 Unités et équipements de mesure

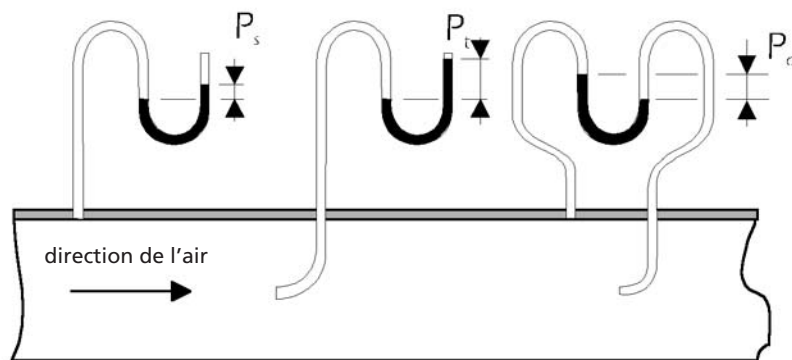
L'unité utilisée pour mesurer les pressions est (SYSTÈME INTERNATIONAL) le Pascal (1Pa = 1 N/m²)

On utilise aussi généralement pour l'air conditionné le mm de colonne d'eau (mmCE) qui est défini ainsi :

$$1 \text{ mmCE} = 9,81 \text{ Pa}$$

On utilise comme équipement de mesure les tubes de Pitot comme le montre la figure ci-dessous.

TUBES PITOT ET MESURES DES PRESSIONS TOTALE, STATIQUE ET DYNAMIQUE



8.2 PERTES DE CHARGE

La diffusion de l'air dans les conduits provoque deux sortes de pertes de charge : pertes par frottement et pertes dynamiques.

8.2.1 Pertes de charge par frottement

Ces pertes sont dues à la viscosité du fluide et aux variations de direction et aux chocs des particules de l'air dans le régime de turbulences, dans des conditions normales de climatisation.

Les pertes se produisent tout au long du conduit et s'expriment par des pertes de pression totale par unité de longueur du conduit concerné : [Pa/m] ou [mmCE/m].

Calculer les pertes de charges avec des formules est complexe, étant donné que cela dépend d'un nombre de facteurs considérables exprimés sous forme d'équations exponentielles établies par Darcy-Weisbach et Colebrook. Il n'est possible d'utiliser ces formules qu'avec des moyens informatiques et par le biais du logiciel adéquat.

Une méthode plus pratique, au cas où l'on ne dispose pas de logiciel est l'utilisation de Graphiques de Frottement, établis pour une géométrie du conduit, pour un type de matériel (rugosité absolue unique), et pour certaines conditions de l'air en température et densité et en pression atmosphérique (altitude).

Les variations des conditions qui apparaissent dans les graphiques doivent être corrigées. Les résultats obtenus sont alors appliqués aux Graphiques de Frottement et donnent la valeur de perte de charge réelle recherchée.

8.2.1.1 Pertes de charges dans les conduits CLIMAVÉR A2 et CLIMAVÉR 284

Le calcul de pertes de charge pour ce type de conduits s'effectue à partir du Graphique de Frottement, spécialement élaboré pour ces matériaux (cf. graphique page suivante). Ce dernier a été établi à partir du Graphique de Frottement de ASHRAE pour les conduits cylindriques de tôle galvanisée, avec une corrélation de diamètre équivalente pour les conduits rectangulaires et l'augmentation de la valeur de frottement par la rugosité différente absolue du CLIMAVÉR 284 ($e = 0,9$ mm), par rapport à la tôle galvanisée ($e = 0,1$ mm).

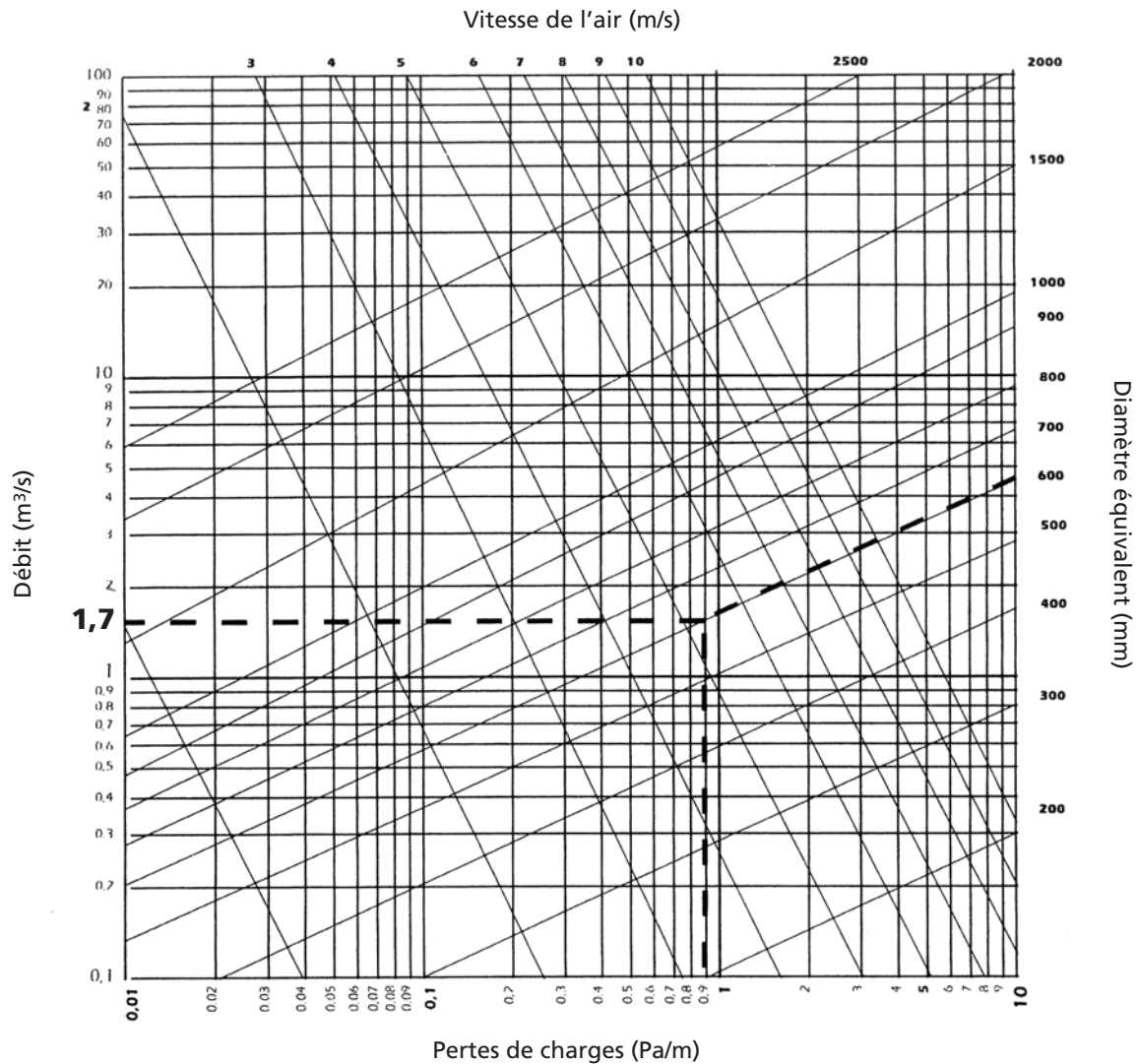
Pour le calcul de la perte de charge, il faut procéder ainsi :

- a) Définir le diamètre équivalent par la formule suivante :

$$d = \frac{2(axb)}{a+b} \text{ (mm)}$$

avec a et b comme côtes intérieures des parois du conduit rectangulaire, exprimées en mm.

Abaque des pertes de charges en fonction du débit d'air et du diamètre aéraulique équivalent pour le CLIMAVER 284 :



Exemple :

Soit un conduit de CLIMAVER 284, de 600 * 600 mm et un débit d'air de 1,7 m³/s.

On souhaite connaître les pertes de charges à 20 °C et 760 mm CE (101,325 Kpa).

Diamètre équivalent $d = 2 (600 * 600) / 600 + 600 = 600$ mm

Dans le graphique, pour 1,7 m³/s et 600 mm de diamètre, la perte de charge est de 0,9 Pa/m (0,09 mmCE/m)

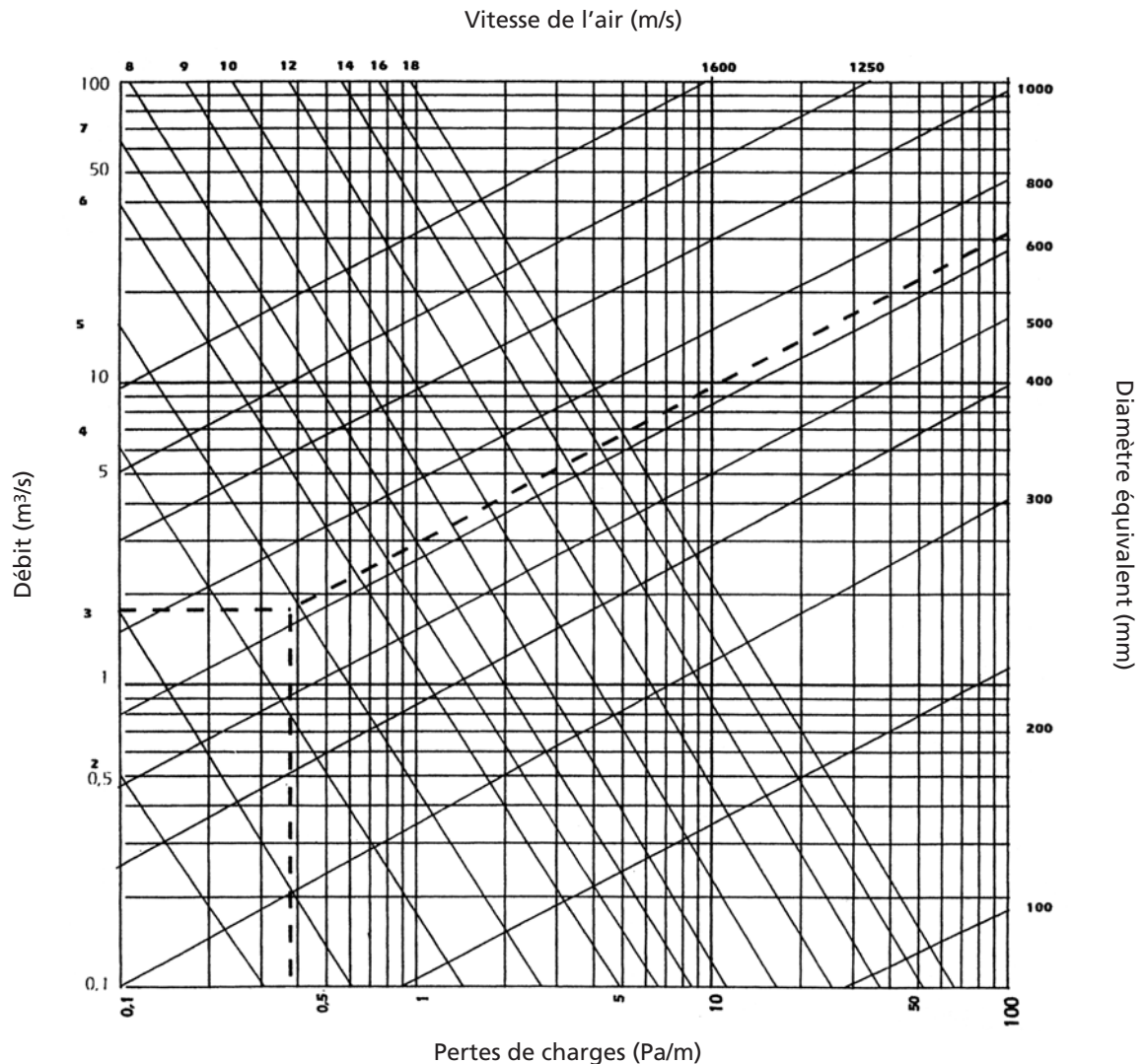
8.2.1.2 Pertes de charges dans les conduits CLIMAVER A2

Le rapport d'essai du CETIAT n° 21 15 114 met en évidence que le revêtement intérieur aluminium du CLIMAVER METAL présente une rugosité $e = 0,06$, légèrement inférieure à celle des conduits de tôle galvanisés.

Le résultat des analyses en laboratoire, réalisés sur des montages réels de diverses sections, ont permis d'établir que :

- Les pertes de charges réelles sont pratiquement égales aux résultats théoriques déterminés par le graphique de ASHRAE pour les conduits cylindriques de tôle galvanisé, pour des vitesses variant de 0 à 15 m/s.
- Les coudes, réalisés sur la base d'un tronçon droit (10.3.1.2) avec deux coupes à 22,5°, ont des pertes de charges équivalentes, voire légèrement inférieures aux coudes courbes réalisés sur la base de panneaux CLIMAVER A2.

**Diagramme Pertes de charges CLIMAVER A2
(air sec à 20 °C et 101,325 kPa)**



Dans ces conditions, il est possible d'utiliser directement le graphique indiqué, pour procéder de la manière suivante :

- a) Définir le diamètre du conduit rectangulaire, avec une section circulaire qui représente une perte de charge équivalente au débit

On utilise alors l'équivalence suivante :

$$De = 1,3 \frac{(ab)^{0,625}}{(a+b)^{0,25}} \text{ (mm)}$$

avec a et b comme dimensions du conduit rectangulaire exprimés en mm.

- b) Une fois le débit (m³/h) et la valeur "De" définis, on détermine la perte de charge correspondant à ces conduits grâce au graphique de frottement.

EXEMPLE :

*On veut connaître la perte de charge à 20°C et 760 mm.c.e (101,325 KPa) d'un conduit CLIMAVER de 600*600 mm de section et d'un débit de 1,70 m³/s*

$$De = 1,3 \frac{(600 \times 600)^{0,625}}{(600 + 600)^{0,25}} = 656,5 \text{ mm}$$

Pour un diamètre équivalent de 600 mm et un débit de 1,7 m³/s, le graphique de frottement indique une perte de charge de 0,37 Palm (0,037 mmCE/m).

8.2.2 Pertes de charge locales

Elles correspondent aux points et travées au niveau desquels le flux subit des perturbations de vitesse dues à des changements de direction ou à une variation des valeurs absolues.

Ces pertes dynamiques, même si elles ont lieu sur toute la longueur du conduit, sont généralement localisées dans des zones qui affectent la vitesse mentionnée, ce qui facilite le calcul de ces dernières.

Cela est valable tant qu'on considère que les pertes de charge par frottement affectent des tronçons droits suffisamment grands (longueur supérieure à 6 équivalents-diamètres). Si le tronçon droit entre deux jonctions susceptibles de subir des pertes de charge locales est inférieur à cette quantité, les configurations du conduit ne permettent pas ce type de calcul.

8.2.2.1 Coefficients de pertes locales

Il s'agit de valeurs adimensionnelles qui répondent à la relation de perte de charge, (se référant à la pression totale), par rapport à la pression dynamique dans la section considérée :

$$C = \frac{\Delta P_t}{P_v}$$

C : coefficient de pertes

ΔP_t : perte de la pression totale dans la section en question (Pa)

P_v : pression dynamique de la section en question (Pa)

Ces coefficients répondent aux configurations géométriques des jonctions, comme dans les caractéristiques dimensionnelles des conduits.

Quand le flux d'air change de direction dans un conduit, les considérations géométriques découlent également.

D'autres coefficients ont un rapport aux caractéristiques propres de l'air circulant, débit moyen corrigé du Nombre de Reynolds (Re) :

$$Re = \frac{\rho \cdot D \cdot V}{\mu}$$

Avec :

Re : Nombre de Reynolds

ρ : Densité de l'air (Kg/m³)

D : Diamètre équivalent du conduit (m)

V : Vitesse de l'air (m/s)

μ : Viscosité de l'air (m.Pa/s)

En condition normale, applicable à l'air conditionné :

$$Re = 6,63 \times 10^4 \cdot D \cdot V$$

Dans ce cas, le coefficient de perte est représenté par :

$$C = C' \times K_{Re}$$

Avec :

C' : Coefficient de pertes liées aux caractéristiques géométriques

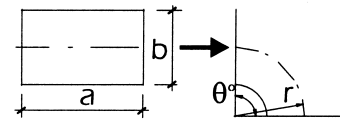
K_{Re} : Coefficient de pertes par les fluides

8.2.2.2 Valeurs des coefficients de perte de charge locale pour les conduits CLIMAVÉR

Nous allons indiquer par la suite les coefficients C pour toutes les configurations géométriques les plus usuelles pour des conduits type CLIMAVÉR panneau gaine.

Pour le CLIMAVÉR A2, les coefficients C sont équivalents aux valeurs de la gaine tôle d'acier galvanisé que l'on peut obtenir à partir des valeurs références du "manuel fondamental" d'ASHRAE.

8.2.2.2.1 Coude avec rayon constant de section rectangulaire



A. Coude à 90°

$$C = C' \cdot K_{Re}$$

avec :

r/b \ a/b	Valeurs de C'										
	0,25	0,5	0,75	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0
0,5	1,3	1,3	1,2	1,2	1,1	1,1	0,98	0,92	0,89	0,85	0,83
0,75	0,57	0,52	0,48	0,44	0,40	0,39	0,39	0,40	0,42	0,43	0,44
1,0	0,27	0,25	0,23	0,21	0,19	0,18	0,18	0,19	0,20	0,27	0,21
1,5	0,22	0,20	0,19	0,17	0,15	0,14	0,14	0,15	0,16	0,17	0,17
2,0	0,20	0,18	0,16	0,15	0,14	0,13	0,13	0,14	0,14	0,15	0,15

r/b \ Re.10 ⁻⁴	Valeurs de K _{Re}									
	1	2	3	4	6	8	10	14	20	
0,5	1,40	1,26	1,19	1,14	1,09	1,06	1,04	1,0	1,0	
≥ 0,75	2,0	1,77	1,64	1,546	1,46	1,38	1,30	1,15	1,0	

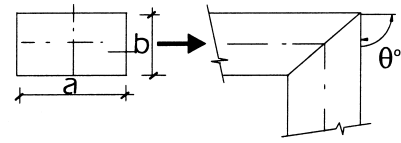
B. Coude à θ°

$$C = C' \cdot K_{Re} \cdot K_{\theta}$$

Note : C' et K_{Re} correspondent aux valeurs indiquées en A.

θ° \ K _θ	Valeurs de K _θ									
	20	30	45	60	75	90	110	130	150	180
K _θ	0,31	0,45	0,60	0,78	0,90	1,00	1,13	1,20	1,28	1,40

8.2.2.2.2 Coude en biseau de section rectangulaire



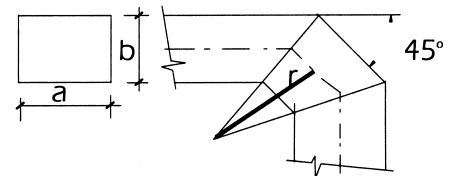
$$C = C' \cdot K_{Re}$$

avec :

θ° \ a/b	Valeurs de C'										
	0,25	0,5	0,75	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0
20	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05
30	0,18	0,17	0,17	0,16	0,15	0,15	0,13	0,13	0,12	0,12	0,11
45	0,38	0,37	0,36	0,34	0,33	0,31	0,28	0,27	0,26	0,25	0,24
60	0,60	0,59	0,57	0,55	0,52	0,49	0,46	0,43	0,41	0,39	0,38
75	0,89	0,87	0,84	0,81	0,77	0,73	0,67	0,63	0,61	0,58	0,57
90	1,3	1,3	1,2	1,2	1,1	1,1	0,98	0,92	0,89	0,85	0,83

$Re \cdot 10^{-4}$	Valeurs de K_{Re}								
	1	2	3	4	6	8	10	≥ 14	
K_{Re}	1,40	1,26	1,19	1,14	1,09	1,06	1,04	1,0	

8.2.2.2.3 Coude à 90° par 2 coupes à 45° et section rectangulaire



$$C = C' \cdot K_{Re}$$

avec :

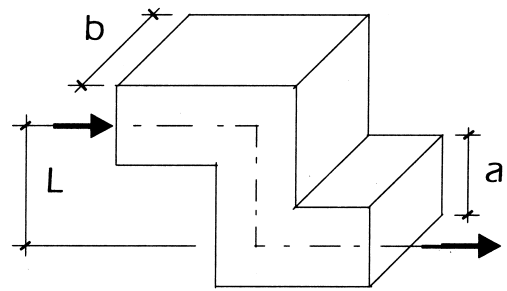
r/b \ a/b	Valeurs de C'						
	0,25	0,5	0,75	1	1,5	2	3
0,5	1,3	1,3	1,2	1,1	1,1	1,1	0,98
0,75	0,9	0,85	0,78	0,72	0,65	0,64	0,64
1,0	0,49	0,47	0,44	0,40	0,36	0,34	0,34
1,5	0,47	0,45	0,43	0,39	0,34	0,32	0,32
2,0	0,46	0,45	0,43	0,39	0,34	0,32	0,32

Note : Valeurs de K_{Re} égales à 8.2.2.2.1

8.2.2.2.4 Pièce rectangulaire en Z avec coude à 90°

A. Pour $A = B$

$$C = C' \cdot K_{Re}$$



avec :

Valeurs de C'

L/a	0,4	0,6	0,8	1	1,4	1,8	2	2,4	2,8	3,2	4
C'	0,62	0,9	1,6	2,6	4	4,2	4,2	3,7	3,3	3,2	3,1

Note : Valeurs de K_{Re} égales à 8.2.2.2.2

B. Pour $A \neq B$

$$C = C' \cdot K_{Re} \cdot K_{Ge}$$

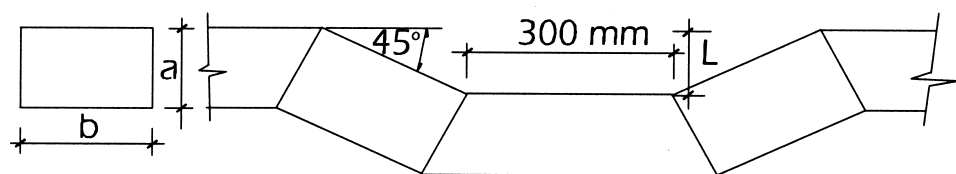
avec C' et K_{Re} valeurs égales à A.y

Valeurs de K_{Ge}

b/a	0,25	0,5	0,75	1	1,5	2	3	4
K_{Ge}	1,1	1,07	1,04	1	0,95	0,9	0,83	0,78

8.2.2.2.5 Contournement d'un obstacle avec section rectangulaire

Note : uniquement pour :



$$a/b = 0,25$$

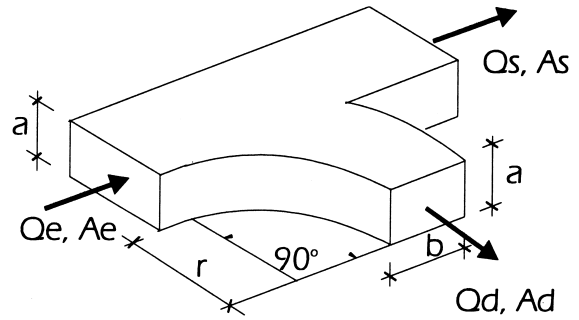
$$L = 1,5 a$$

Valeurs de C

V (m/s)	4	6	8	10	12
C	0,18	0,22	0,24	0,25	0,26

8.2.2.2.6 Dérivation en "r" avec rayon et section rectangulaire

Note : uniquement pour $\theta = 90^\circ$ et $r = b$



Qe, Ae : Débit en section d'entrée
 Qs, As : Débit en section de sortie (principale)
 Qd, Ad : Débit en section de dérivation

Valeurs de C_D (en dérivation)

Qd/Qe		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
Ad/As	Ad/Ae									
0,25	0,25	0,55	0,50	0,60	0,85	1,2	1,8	3,1	4,4	6,0
0,33	0,25	0,35	0,35	0,50	0,80	1,3	2,0	2,8	3,8	5,0
0,5	0,5	0,62	0,48	0,40	0,40	0,48	0,60	0,78	1,1	1,5
0,67	0,5	0,52	0,40	0,32	0,30	0,34	0,44	0,62	0,92	1,4
1,0	0,5	0,44	0,38	0,38	0,41	0,52	0,68	0,92	1,2	1,6
1,0	1,0	0,67	0,55	0,46	0,37	0,32	0,29	0,29	0,30	0,37
1,33	1,0	0,70	0,60	0,51	0,42	0,34	0,28	0,26	0,26	0,29
2,0	1,0	0,60	0,52	0,43	0,33	0,24	0,17	0,15	0,17	0,21

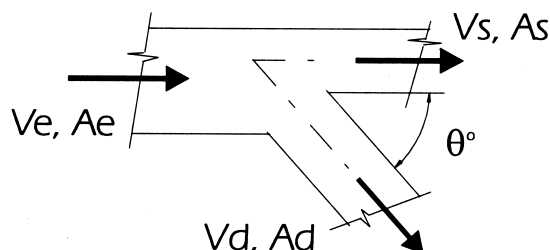
Valeurs de C_s (en conduit principal)

Qs/Qe		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
Ad/As	Ad/Ae									
0,25	0,25	-0,01	-0,03	-0,01	0,05	0,13	0,21	0,29	0,38	0,46
0,33	0,25	0,08	0	-0,02	-0,01	0,02	0,08	0,16	0,24	0,34
0,5	0,5	-0,03	-0,06	-0,05	0	0,06	0,12	0,19	0,27	0,35
0,67	0,5	0,04	-0,02	-0,04	-0,03	-0,01	0,04	0,12	0,23	0,37
1,0	0,5	0,72	0,48	0,28	0,13	0,05	0,04	0,09	0,18	0,30
1,0	1,0	-0,02	-0,04	-0,04	-0,01	0,06	0,13	0,22	0,30	0,38
1,33	1,0	0,10	0	0,01	-0,03	-0,01	0,03	0,10	0,20	0,30
2,0	1,0	0,62	0,38	0,23	0,13	0,08	0,05	0,06	0,10	0,20

8.2.2.2.7 Dérivation en biseau et de section rectangulaire

Note : uniquement pour : $15^\circ < \theta^\circ < 90^\circ$
 et $A_e = A_s + A_d$

V_e, A_e : vitesse et section d'entrée
 V_s, A_s : vitesse et section de sortie
 V_d, A_d : vitesse et section de dérivation



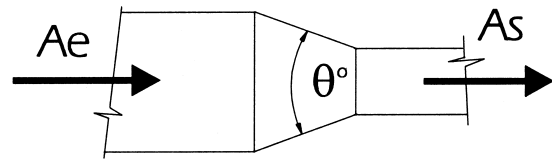
Valeurs de C_D (en dérivation)'

$\theta^\circ \backslash V_d/V_e$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
15	0,81	0,65	0,51	0,38	0,28	0,20	0,11	0,06	0,14	0,30	0,51	0,76	1,0
30	0,84	0,69	0,56	0,44	0,34	0,26	0,19	0,15	0,15	0,30	0,51	0,76	1,0
45	0,87	0,74	0,63	0,54	0,45	0,38	0,29	0,24	0,23	0,30	0,51	0,76	1,0
60	0,90	0,82	0,79	0,66	0,59	0,53	0,43	0,36	0,33	0,39	0,51	0,76	1,0
90	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Valeurs de C_S (en conduit principal)

θ		15-60		90			
$\frac{V_S}{V_e}$	$\frac{A_S}{A_e}$	0-1.0	0-0.4	0,5	0,6	0,7	$\geq 0,8$
		0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
0,1	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81
0,2	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64
0,3	0,50	0,50	0,52	0,52	0,50	0,50	
0,4	0,36	0,36	0,40	0,38	0,37	0,36	
0,5	0,25	0,25	0,30	0,28	0,27	0,25	
0,6	0,16	0,16	0,23	0,20	0,18	0,16	
0,8	0,04	0,04	0,17	0,10	0,07	0,04	
1,0	0	0	0,20	0,10	0,05	0	
1,2	0,07	0,07	0,36	0,21	0,14	0,07	
1,4	0,39	0,39	0,79	0,59	0,39	-	
1,6	0,90	0,90	1,4	1,2	-	-	
1,8	1,8	1,8	2,4	-	-	-	
2,0	3,2	3,2	4,0	-	-	-	

8.2.2.2.8 Réduction de section rectangulaire



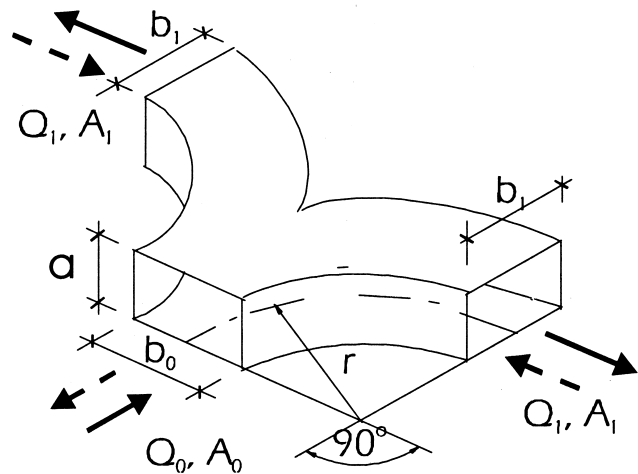
Valeurs de C

θ°	10	15-40	50-60	90	120	150	180
A_e/A_s							
2	0,05	0,05	0,06	0,12	0,18	0,24	0,26
4	0,05	0,04	0,07	0,17	0,27	0,35	0,41
6	0,05	0,04	0,07	0,18	0,28	0,36	0,42
10	0,05	0,05	0,08	0,19	0,29	0,37	0,43

8.2.2.2.9 Y symétrique de section rectangulaire

Note : uniquement pour

$r/b_0 = 1,5$
 $Q_1 = Q_0/2$



Valeurs de C

$\frac{A_1}{A_0}$	0,5	1
Fluides		
Convergençs	0,23	0,07
Divergençs	0,3	0,25

9 LES CONDUITS D'AIR ET LEUR INFLUENCE SUR LA QUALITÉ DE L'AIR EN ESPACE CLOS

Les conduits d'air sont des éléments statiques de l'installation à travers lesquels circule l'air à l'intérieur des bâtiments, reliant ainsi tout le système : aspiration, unités de traitement, locaux occupés, retour et évacuation de l'air vicié.

En ce qui concerne la qualité de l'air intérieur et le confort que doivent offrir les installations, les conduits peuvent présenter des problèmes de deux sortes :

- Non matériels :
 - variations des magnitudes physiques de l'air.
 - bruits.
- Matériels :
 - endogènes, d'origine extérieure.
 - endogènes, des matériaux des conduits.

9.1 VARIATION DES MAGNITUDES PHYSIQUES DE L'AIR

Tout le long des conduits se produisent des phénomènes de transferts de masse.

Les qualités de l'air à l'intérieur des conduits ont tendance à varier de façon indésirable, et ce, à cause de l'irréversibilité des processus énergétiques.

9.1.1 Température

Les conditions thermiques de l'air à l'intérieur des conduits sont différentes de celles de l'air extérieur. Cela suppose un transfert de chaleur entre les deux masses d'air.

Si ce transfert est important, il peut y avoir des courants d'air froid inadéquats qui affectent les conditions des locaux.

Le risque de condensation de la vapeur d'eau dans les parois des conduits, due au refroidissement localisé de l'air avec une Humidité Relative importante, est également une des conséquences de ce phénomène. Cela peut favoriser une corrosion des matériaux des conduits, si ces derniers sont sensibles à ce type de phénomène physico-chimique.

Par ailleurs, plus les transferts thermiques sont importants, plus le coût de fonctionnement risque d'augmenter.

La solution est de toujours disposer d'une isolation thermique efficace des conduits, qu'elle soit déjà incorporée au matériau (panneaux gaine) ou rapportées.

9.1.2 Déséquilibres de pression

Il y a forcément des pertes de charge lors du transport de fluides, dues à deux facteurs :

- Frottement du fluide aux parois du conduit en fonction du régime du fluide, de la géométrie et de la rugosité de la face interne du conduit.
- Pertes dynamiques par variation de la géométrie et/ou direction du flux.

Afin d'assurer une diffusion adéquate en tous points, les bouches des conduits doivent avoir une section définie, avec une vitesse d'air moyenne et une pression statique équilibrée.

Une conception inadéquate du réseau des conduits, ou des défauts dans l'exécution matérielle et dans l'équilibrage des pressions, créeront des mauvaises conditions de confort. Cela entraînera également dans les locaux une décompensation des charges thermiques mais aussi un apport insuffisant d'air renouvelé, avec toutes les conséquences que cela peut avoir sur les occupants des locaux.

9.2 LE BRUIT DANS LES CONDUITS

Le bruit, perçu comme un son non désiré, représente une nuisance importante à l'intérieur des bâtiments.

Selon les Normes en vigueur, les appareils, source de facteurs sonores dans tout type d'espace, doivent respecter les critères d'évaluation des bruits ambiants.

À l'exception du problème de vibrations et de la transmission des sons par voie solide (bruits d'impact), à travers, voire à cause des conduits, le bruit se propage également de deux façons :

- Bruits propres à l'installation, dus à des éléments mobiles (unités de traitement, ventilateurs, flux d'air dans les conduits et diffuseurs, etc.).
- Bruits de « transmission croisée », produits dans un local et transmis vers d'autres endroits adjacents par le système de conduits.

Le premier groupe est complexe : les sons de basses et moyennes fréquences parviennent dans les pièces, s'ils sont correctement amortis par les conduits, et ce, en fonction de différentes variables : longueur, changement de section et de direction, coefficient d'absorption acoustique du matériau qui tapisse l'intérieur des conduits, etc.

Quant aux turbulences de l'air dans les conduits, elles donnent, elles aussi, lieu à un autre type de bruit, aux fréquences plus élevées et dont l'intensité augmente avec la vitesse de l'air.

Si le niveau sonore qui arrive dans une pièce est supérieur à ce qui est autorisé, il est nécessaire de mettre en place des éléments atténuateurs.

Une des solutions les plus efficace est de choisir des conduits avec un coefficient d'absorption acoustique élevé (conduits de laine de verre) ou bien de tapisser l'intérieur des conduits de tôle avec un matériau à base de laine minérale (Système CLEANTEC par exemple). On obtient de cette façon des atténuations acoustiques très importantes.

Une autre solution est de placer des atténuateurs acoustiques dans le circuit de conduits. Installés à l'entrée du réseau de conduits, ils peuvent réduire les bruits générés en amont comme ceux des unités de traitement mais pas ceux générés en aval.

Il est également possible de disposer des atténuateurs à l'entrée d'une ou plusieurs pièce(s) où la réglementation au niveau sonore est très stricte. Cela présente l'avantage de pouvoir réduire tout son généré "antérieurement", même ceux de "transmission croisée".

Cette solution conviendra d'autant mieux qu'elle sera proche des diffuseurs de sorties d'air dans le local, en position compatible avec d'autres obligations techniques du circuit.

9.3 POLLUTION ENDOGÈNE DE L'AIR

A l'exception des pièces occupées elles-mêmes, les conduits sont les éléments des installations qui possèdent la plus grande surface en contact avec l'air.

Ils représentent donc une force potentielle de pollution de l'environnement, comme support d'éléments extérieurs ou par eux-mêmes.

9.3.1 pollution d'origine externe

Les professionnels chargés du contrôle et de l'entretien des installations d'air conditionné ont souvent trouvé des dépôts de saleté dans certains endroits des conduits.

La présence de tels dépôts a diverses causes :

- Durant les travaux d'installations, les matériaux sont parfois endommagés ou ont été préalablement stockés dans de mauvaises conditions.
- D'importantes quantités de poussière ou de saletés, provenant de l'air extérieur et des matériaux des travaux eux-mêmes, peuvent se déposer à l'intérieur des conduits.
- Le facteur humain est aussi présent : oubli d'emballages, déchets de chantier, etc.
- Présence de polluants provenant de l'air de renouvellement ou des diverses activités au sein même des bâtiments

L'air extérieur apporte une quantité variable de matières, organiques ou non, qui pénètre dans le système de conduits et dont une partie atteint les différentes pièces tandis que le reste se dépose tout au long du réseau.

C'est un peu le même phénomène qui se produit avec l'air recyclé qui véhicule diverses quantités de polluants solides ou gazeux, générées dans le bâtiment même.

Ce genre de dépôts favorise le développement d'organismes vivants, présents au stade de l'installation ou apparus en cours d'exploitation du bâtiment. Nous n'aborderons néanmoins pas ce sujet ici.

On a surtout remarqué la présence d'un nombre important de bactéries et de champignons de multiples espèces. S'il est vrai qu'une grande partie de ces espèces, du fait de leur caractère saprophyte, sont sans danger pour l'homme, d'autres présentent un caractère allergisant pour l'homme, dont la pathologie dépend de l'espèce mais aussi des caractéristiques humaines.

La solution à ces problèmes semble évidente, à savoir empêcher l'accumulation des saletés dans les conduits. Pour cela, leur propreté, avant usage des bâtiments, doit être garantie. Durant leur fonctionnement, il faut entretenir régulièrement ces conduits, les équiper des filtres efficaces, et renouveler l'air adéquat.

9.3.2 Pollution d'origine interne

La plupart des éléments utilisés dans des lieux clos sont à l'origine de polluants solides ou gazeux, déjà abordés précédemment, qu'il s'agisse d'un processus temporel ou permanent.

Parmi les matériaux de construction des conduits, on peut considérer "a priori" que les parois rigides de laine de verre avec un revêtement de voile de verre favorisent l'apparition possible de particules et peuvent de ce fait être remis en question.

L'attention portée pour l'utilisation de ce type de produit date d'il y a de nombreuses années, plus spécialement dans les pays où ce matériau est fréquemment utilisé comme aux États-Unis.

Depuis 1961, UNDERWRITERS LABORATORIES Inc. ont défini des "Normes de Sécurité" pour ce produit. Ces normes sont devenues les normes "UL-181. Standard for factory-made air ducts and connectors", qui définissent dans leur paragraphe 16 ("Erosion test") les conditions de test à l'effet.

France Air a demandé à un laboratoire officiel français indépendant de réaliser des essais pour évaluer quantitativement selon cette norme le taux de particules des panneaux CLIMAVER A2 et CLIMAVER 284. Ces essais ont été réalisés par le CETIAT (Centre Techniques des Industries Aérodynamiques et Thermiques).

- A / CLIMAVER 284 (RAPPORT N° 880139/7 du 28 juin 1988)

Le test a été effectué dans les conditions suivantes :

- Matériau : *CLIMAVER 284*.
- Prototype de test : Selon les termes de la norme UL-181 (2 conduits droits d'une longueur supérieure à 7 m raccordés par un coude à 90°. avec au début du conduit un ventilateur de vitesse variable et un filtre absolu, et à l'autre extrémité du conduit, un écran/enceinte qui récupère les particules)
- mesures gravimétriques / balance de précision +/- 0,1g
- mesures de particules : compteur laser sélectif pour des particules d'un diamètre aérodynamique de $\geq 0,5$ mm

Le test réalisé suivant les prescriptions de la norme américaine UL181 a montré que le matériau CLIMAVER 284 ne présentait pas de marque d'érosion caractéristique (cassure, peluche, délamination) à une vitesse extrême de 43 m/s.

Dans les mêmes conditions de vitesse, les mesures gravimétriques révèlent que la concentration moyenne en poussière émise par le conduit testé diminue très rapidement vers une valeur inférieure à $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. En tenant compte de l'incertitude de la mesure gravimétrique due au faible temps de prélèvement, on peut conclure que l'érosion du conduit testé est inférieure à $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ après 5 heures de fonctionnement.

Les essais réalisés à une vitesse moyenne de 20 m/s sur une période de fonctionnement de 100 heures ont permis de définir une valeur plus précise de l'érosion du conduit correspondant à une moyenne des émissions de particules.

Cette valeur se situe à $1 \mu\text{g}/\text{m}^3 = 0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ après 100 heures de fonctionnement et on n'observe pas de différence significative entre la mise en œuvre standard des conduits et la mise en œuvre avec traitement des surfaces d'assemblage. On constate également que l'arrêt puis la remise en route de l'installation ne provoque pas une remontée notable de l'émission de poussière.

Concernant la qualification du produit pour les applications aux enceintes à empoussièremement contrôlé, les comptages particulaires conduisent aux constatations suivantes :

- Pendant les 10 premières heures de fonctionnement, la concentration particulaire (nombre de particules par m^3) décroît d'une façon exponentielle pour se stabiliser vers une valeur moyenne correspondant au « bruit de fond » du circuit.
- Si on compare les résultats en fonction des types de mise en œuvre (standard ou avec enduit), on constate que les concentrations moyennes en nombre de particules sont supérieures à $0,5 \mu\text{m}$ et que le nombre de particules supérieures à $0,5 \mu\text{m}$ sont sensiblement les mêmes ; cependant la dispersion autour de cette valeur moyenne semble plus grande lorsque les surfaces d'assemblage sont recouvertes d'un enduit.

Pour la portion de circuit testé (longueur totale de 6m, 1 coude à 90°), on peut garantir la classe d'empoussièremement d'une salle alimentée par ce conduit. Avec une filtration du type « filtres en caisson », par exemple, on peut garantir une classe 400.000 suivant la norme NFX44-102 (annexe 2 du rapport). On peut toutefois définir une classe intermédiaire 40.000 (niveau $0,5 \mu\text{m}$: 40.000 particules/ m^3 , niveau $5 \mu\text{m}$: 250 particules/ m^3) qui correspondrait à la classification optimum de la salle dans le cas de figure étudié.

Pour alimenter des salles avec un niveau d'empoussièremement inférieur, la filtration devrait se faire sur des filtres terminaux et il importerait alors d'évaluer l'apport de l'érosion sur le colmatage des filtres terminaux.

Conduit CLIMAVÉR 284 : section 0,18X0,18 m²

	Temps de mesure	Concentration moyenne en $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Concentration moyenne en $\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{m}^2$
Purge	0 - 32'	299	70,2
	32' - 60'	21	5
	0 - 60'	71	16,7
	40' - 1H40'	8	1,9
	1H20 - 2H11'	4	0,9
Érosion	2H - 3H	1	0,2
	2H50' - 3H50'	2	0,5
	3H20 - 4H20'	2	0,5
	4H15' - 5H16	3	0,7

- B / CLIMAVER A2 (RAPPORT N° 21 15 114)

Réalisation des essais:

1 / Essai d'érosion de courte durée :

Essai d'érosion pendant 5 heures conformément à la recommandation Américaine UL 181 à une vitesse égale à 2,5 fois la vitesse limite fixée par le fabricant. Les résultats sont obtenus à partir de mesures gravimétriques (concentration en poussières totales exprimée en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) et de comptage particulaire (concentration exprimée en nombre de particules/ m^3 en fonction de la taille des particules : 0,3 μm jusqu'à plus de 5,0 μm).

Caractéristiques du banc d'essai :

- Conduit en forme de L
- Section intérieure du conduit d'essais : 180 x 180 mm
- Dimension des longueurs droites : 2,40 m.
- Coude à 90° joignant les 2 longueurs droites.

Une "purge" d'une heure à la vitesse limite (20 m/s) a précédé l'essai aux conditions extrêmes afin d'éliminer les éventuels dépôts de matière dans les conduits avant mise en route de la ventilation aux conditions de vitesse extrêmes.

Les mesures gravimétriques et comptages particulaires sont réalisés à la sortie du conduit.

Résultats :

L'essai a été réalisé pour une valeur de la vitesse moyenne de l'air égale à 43 m/s, soit un peu moins que 2,5 fois la valeur de la vitesse limite (20 m/s).

Cette valeur de 43 m/s est imposée par les limites de fonctionnement du banc d'essais.

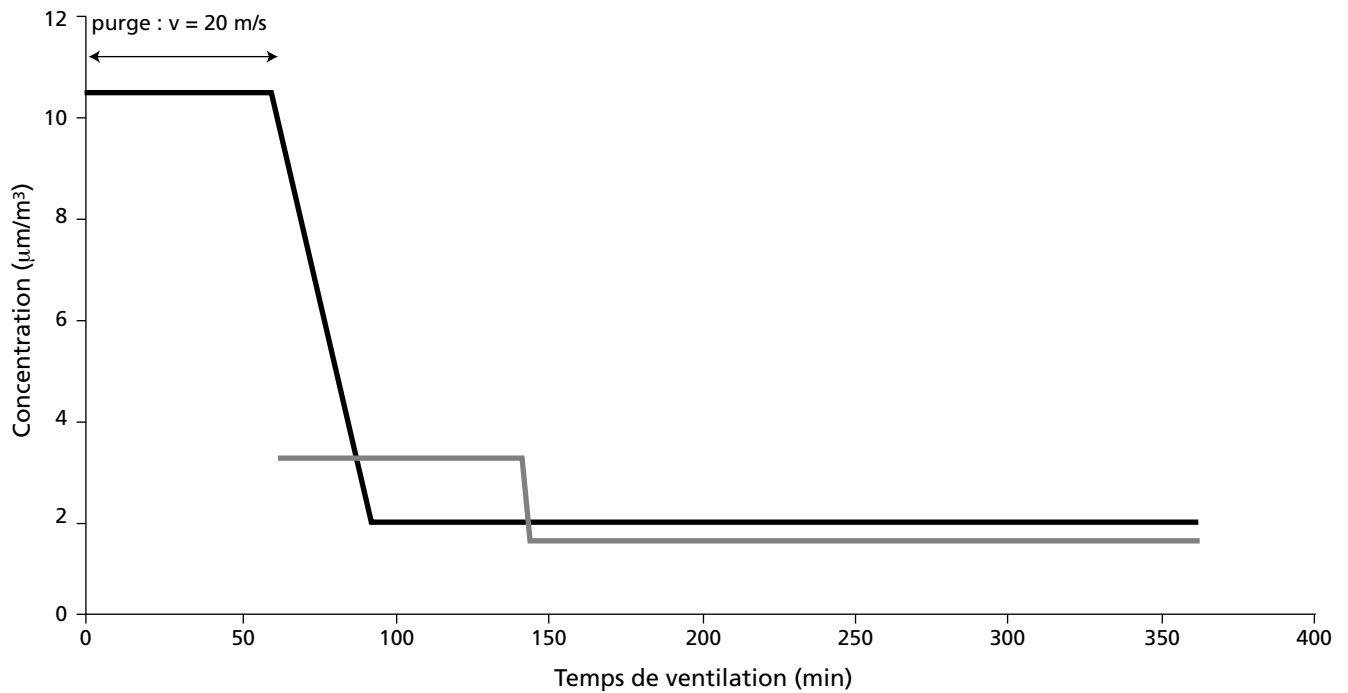
La purge du conduit d'essai à été effectuée à la vitesse limite durant 1 heure.

Les résultats pour la concentration gravimétrique en fonction du temps se trouvent dans le schéma suivant :

Essai d'érosion de courte durée			
	Temps (min)	Concentration gravimétrique ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Érosion moyenne ($\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{m}^2$)
Purge V = 20 m/s	0-61	10,5	2,5
V = 43 m/s	62-142	3,1	0,7
	92-362	1,8	0,4
	144-362	1,4	0,3

Résultats de l'essai d'érosion de courte durée (concentration gravimétrique en fonction du temps)

Évolution de la concentration totale en particules en fonction du temps Gaine 180x 180 mm, vitesse = 43 m/s



2 / Essai d'érosion d'endurance :

Essai d'érosion à l'aide de mesures gravimétriques et comptage particulaire durant 50 heures à la vitesse limite (20 m/s)

Caractéristiques du banc d'essai :

- Conduit en forme de L
- Section intérieure du conduit d'essais : 300 x 300 mm
- Dimension des longueurs droites : 2,40 m.
- Coude à 90° joignant les 2 longueurs droites.

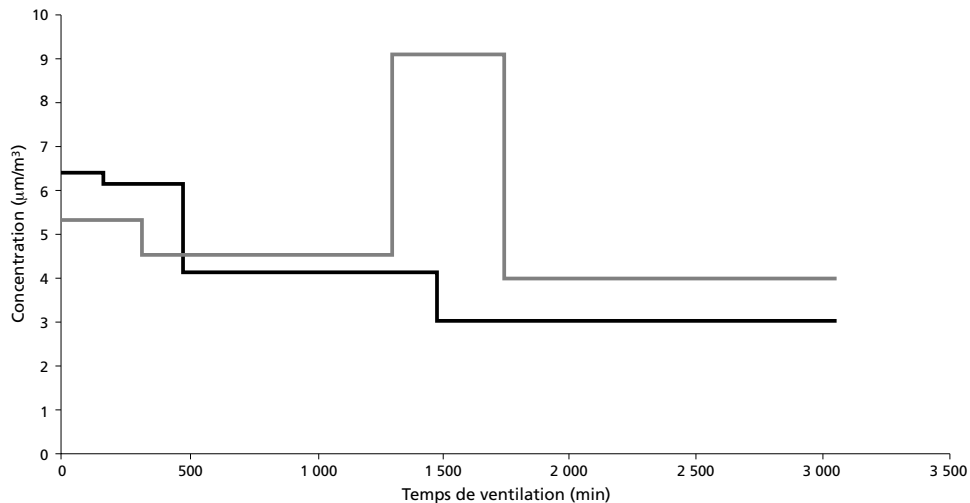
Les mesures gravimétriques et comptages particulaires sont réalisés à la sortie du conduit.

Résultats :

Temps (min)	Concentration gravimétrique ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Érosion moyenne ($\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{m}^2$)
0-160	6,4	0,9
15-315	5,3	0,7
163-479	6,1	0,9
320-1303	4,5	0,6
483-1480	4,2	0,6
1305-1760	9,0	1,3
1482-3054	3,0	0,4
1763-3054	3,9	0,6

Résultats de l'essai d'érosion d'endurance (concentration gravimétrique en fonction du temps)

Évolution de la concentration totale en particules en fonction du temps Gaine 300x 300 mm, vitesse = 20 m/s



Conclusions :

L'essai d'érosion réalisé conformément à la recommandation UL 181 a montré que le conduit réalisé avec le système CLIMAVER A2 ne présentait pas de marques d'érosion caractéristiques (cassures, peluche, délamination) à une vitesse extrême de 43 m/s.

Les essais d'érosion à vitesse extrême (43 m/s) mettent en évidence une décroissance rapide de la concentration en particules (gravimétriques et en nombre) pendant la période de purge (20 m/s). La concentration en nombre augmente à nouveau lors du changement de régime (passage à 43 m/s) pour décroître très rapidement. Les valeurs mesurées sont toutefois toujours très faibles.

Les essais de longue durée ne mettent pas en évidence un comportement particulier de l'érosion du conduit dans le temps. Au niveau de la concentration en nombre, on observe toutefois une décroissance rapide après quelques minutes.

Les valeurs en concentrations particulières sont donc très faibles pour les deux essais d'érosion (les valeurs en concentration en nombre sont proches, après quelques minutes de ventilation, du bruit de fond = concentration résiduelle du banc d'essai).

Les valeurs mesurées auraient peut être été plus faibles si l'intérieur des conduits avait été essuyé avant d'effectuer les mesures.

En conclusion, l'air propre, admis et véhiculé dans les conduits, mesuré en sortie est, à titre comparatif, de même qualité que l'air d'une salle à empoussièrement contrôlé de classe 10 (norme américaine US 209 D 1998) ou de classe 4000 pour la norme française AFNOR de 1981.

9.4 NETTOYAGE DES CONDUITS

Ce paragraphe est inspiré du "Manuel de recommandations pratiques pour les inspections, trappes de visites, nettoyage, arrêt et mise en service des conduits en laine de verre pour la distribution de l'air" édité par l'Association Nord Américaine des Fabricants d'Isolant NAIMA

La méthodologie pour l'entretien des conduits comprend plusieurs étapes :

- Accès à l'intérieur du réseau par les trappes de visite (à réaliser si besoin) cf 10.7.7
- Inspection du réseau et mesure de l'empoussièremement par prélèvement
- Nettoyage par des méthodes adaptées
- Mesures post nettoyage
- Fermeture des trappes de visites en s'assurant de leurs bonne étanchéité

9.4.1 Inspection de l'installation

Le nettoyage du réseau de conduits pour résoudre un problème de qualité de l'air intérieur peut s'avérer coûteux et inutile si l'origine de la pollution se trouve dans un autre endroit. Aussi, avant de décider de nettoyer les conduits, il faut étudier toutes les causes possibles du problème par un "check-up" complet de l'environnement intérieur et de l'installation d'air conditionné si l'analyse porte sur cette dernière.

La liste des questions suivantes peut servir pour des vérifications :

- Quels sont les symptômes ? On doit déterminer si les réactions des occupants des lieux sont liées à la température, à la poussière, à l'air vicié, aux odeurs, etc. Chaque type de réaction doit être analysé.
- Où et quand est apparu le problème ? Il faut savoir si ce dernier est localisé ou général afin de déceler son point d'origine
- De quelle façon est entretenu le bâtiment ?
- Comment se passe la distribution d'air ? Est-elle efficace ? Le renouvellement d'air est-il suffisant ?
- Les unités de traitement d'air fonctionnent-elles correctement ? Il faudra procéder à une inspection des équipements afin de savoir si les batteries de chaleur et de froid, les filtres et les systèmes d'humidification fonctionnent correctement et sont régulièrement entretenus. La présence d'une humidité relative est très révélatrice.
- Qu'arrive-t-il à l'air extérieur ? Les prises d'air extérieures sont-elles bien situées ? Qu'en est-il de la filtration ?
- Qu'en est-il de l'air intérieur ? Existe-t-il des sources de contamination interne anormales ?
- Que se passe-t-il dans le bâtiment ? Il faudra vérifier si l'utilisation qui est faite du bâtiment est en adéquation avec les schémas d'origine. Il est important de vérifier que les matériaux décoratifs, le mobilier et les équipements de travail (photocopieuses, imprimantes, etc.) ne représentent pas une source de pollution excessive, ou si c'est le cas, que cette pollution est correctement traitée.

Même si la qualité de l'air est souvent due à l'une des causes mentionnées précédemment, les conduits pollués peuvent aussi être source de problème. Il convient donc d'effectuer une inspection minutieuse de l'intérieur des conduits. Il faut cependant tenir compte de trois facteurs :

1. La moisissure ne se développe pas dans les conduits aux conditions normales d'utilisation.
2. Les composants des isolants en laine de verre ne constituent pas un milieu nutritif pour les bactéries.
3. On trouve généralement une fine couche de poussière sur les surfaces intérieures (en contact avec l'air) de tous les types de conduits même métalliques. Cela n'est pas un problème. Néanmoins, si on trouve d'importantes couches de poussière lors des inspections, il est temps de nettoyer les conduits.

9.4.1.1 Protection personnelle

Le système de climatisation doit être équipé pour une inspection des conduits.

Lors des inspections, toutes les mesures nécessaires doivent être prises afin d'épargner tout risque de pollution aux occupants des locaux.

Les travailleurs doivent également être protégés de toute pollution venant des conduits. Le port des gants, de protections oculaires de sécurité, de masques et de blouses à manches larges est obligatoire.

9.4.1.2 Détail des opérations d'inspections

- Vérifier que l'air est distribué de façon similaire dans toutes les pièces du bâtiment
- Inspecter les équipements de filtration de l'air
- Inspecter les serpentins de réfrigération
- Vérifier les équipements centraux de chaleur et de refroidissement (y compris les humidificateurs)

Lors des inspections, l'accès à l'intérieur des conduits doit se faire en utilisant les ouvertures déjà existantes comme les portes d'accès ou les ouvertures des regards ou grilles.

Il convient aussi d'effectuer une reconnaissance visuelle de l'intérieur des canaux d'impulsion et de retour par les ouvertures d'inspection situées à intervalles réguliers tout au long du conduit. Des échantillons pour analyse seront prélevés lors de présence de poussières ou de tout autre corps étranger.

Les ouvertures d'inspection devront être fermées avant d'entamer le nettoyage des conduits.

Le résultat de l'inspection devra être soigneusement comparé au plan des circuits de climatisation pour savoir quelles parties des conduits ont été nettoyées et de quelle façon.

9.4.2 Ouverture des conduits

Le projet de Norme Française EN 13779, précise : "il convient pour assurer des points d'accès réguliers pour le nettoyage que les ouvertures pour le nettoyage et l'entretien soient installées sur des plénums, près des coudes du réseau de conduits et sur des conduits horizontaux en général à une distance inférieure ou égale à 10 mètres les uns des autres au maximum."

"Les dimensions minimales des ouvertures sont données dans la clause 4 de prEN 12097".

Indépendamment du genre de construction et de l'isolation du conduit, il est important que les trappes de visites soient conçues de sorte qu'une fois le nettoyage achevé, et les trappes fermées, celles-ci demeurent parfaitement étanches.

9.4.3 Méthodes de nettoyage des conduits

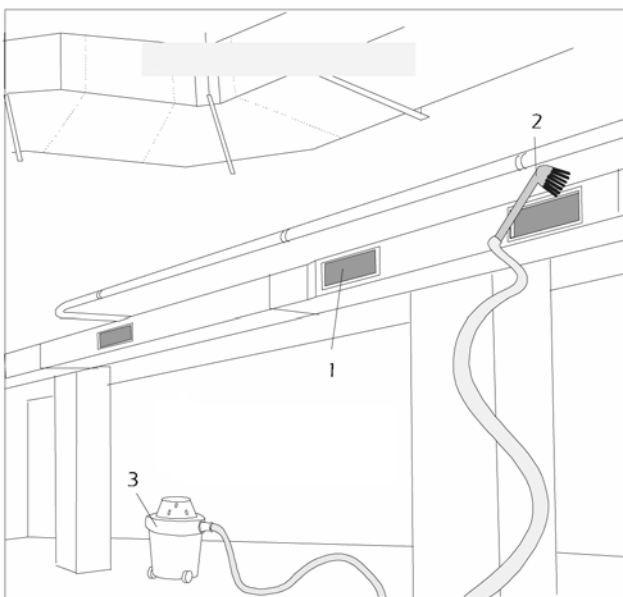
Il existe différentes méthodes pour nettoyer les conduits isolés par l'intérieur. Les trois méthodes les plus employées mais aussi considérées comme les plus efficaces sont les suivantes :

- aspiration par contact
- nettoyage par pression d'air
- nettoyage par pression d'air avec brossage

Dans certains cas, il est nécessaire de combiner les trois méthodes afin d'obtenir des résultats parfaits.

D'autres méthodes comme le nettoyage vapeur sont utilisées pour des conduits de tôle sans isolant. Ce type de nettoyage et d'autres méthodes qui impliquent de l'humidité ne doivent cependant pas être utilisés pour les conduits isolés car cela peut abîmer l'isolation.

9.4.3.1 Méthode d'aspiration par contact



1. Trappe de visite
2. Tête du flexible
3. Aspirateur mécanique équipé d'un filtre HEPA

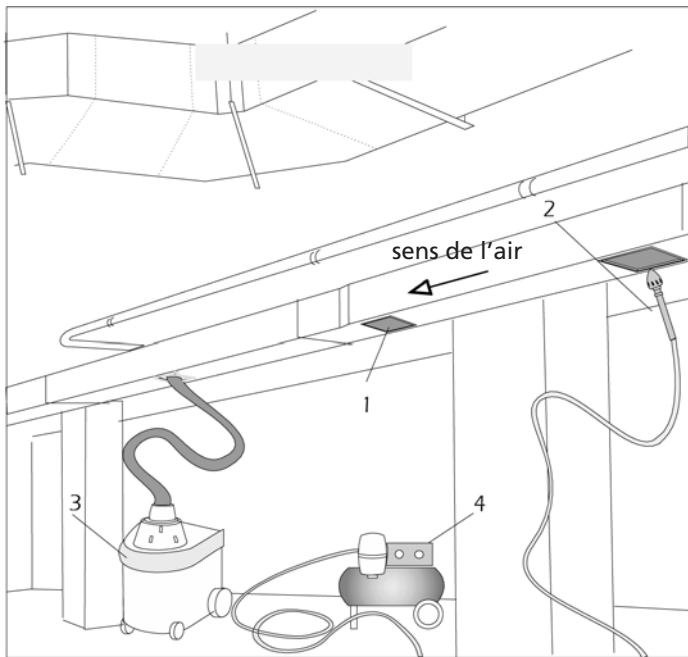
Le nettoyage conventionnel par aspiration de la surface intérieure des conduits, à travers les ouvertures pratiquées dans ces derniers, est satisfaisant dans la mesure où cela est fait avec soin. Le risque d'abîmer les surfaces est minime. Il faut seulement utiliser le matériel d'aspiration HEPA (récupérateur de particules très efficace dit de filtration absolue) si la décharge d'air se fait à l'intérieur des espaces occupés. Les appareils conventionnels d'aspiration peuvent libérer dans l'air des particules de poussière très fines au lieu de les ramasser.

Comparée aux autres méthodes, l'aspiration directe nécessite en général des ouvertures plus grandes pour permettre aux appareils de nettoyage d'atteindre les moindres recoins du conduit. La séparation entre les ouvertures dépendra du type d'appareil d'aspiration utilisé et de la distance pour atteindre chaque ouverture.

On introduit la tête de l'aspirateur dans le conduit par l'ouverture la plus proche du réseau de conduits. On met l'appareil en marche. L'aspiration se fait en suivant le courant d'air, assez lentement pour que l'aspirateur recueille toutes les saletés.

9.4.3.2 Méthode de nettoyage par pression d'air

On relie un dispositif collecteur de poussière par aspiration à l'une des ouvertures du conduit située à un endroit extrême. Il est conseillé de nettoyer la zone isolée du circuit de conduits avec une pression statique (minimale) de 25 mmCE pour assurer un transport correct des impuretés recueillies. On introduit à l'intérieur du conduit de l'air comprimé au moyen d'un tuyau d'arrosage placé au bout d'une "brosse sauteuse".



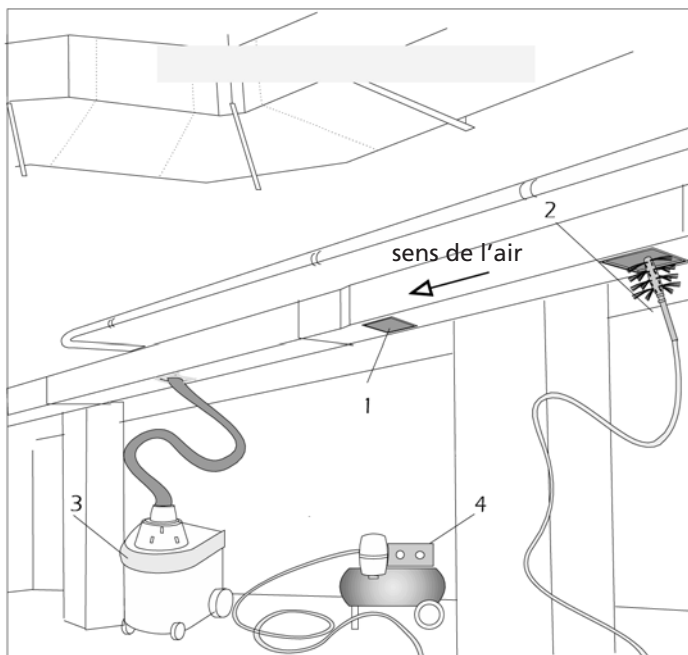
1. Trappe de visite
2. Buse à air comprimé
3. Aspirateur
4. Compresseur

Cette buse est conçue de façon à ce que l'air comprimé la dirige dans le conduit. Les résidus sont ainsi décollés et sont emportés par le courant d'air vers le bas du conduit et sont aspirés par l'appareil d'aspiration de poussières. La force de l'air comprimé permet une capacité de nettoyage de 11 Kg/cm² à 13,5 Kg/cm². L'appareil possède une cuve de 70 litres afin d'optimiser le nettoyage par air.

9.4.3.2 Méthode de nettoyage par pression d'air avec brosseage

Comme dans le système de nettoyage par air, On relie un dispositif collecteur de poussière par aspiration à l'une des ouvertures du conduit située à un endroit extrême. Pour décoller la saleté et les particules de poussière qui resteront en suspens dans l'air, on utilise des brosses rotatives mobiles électriques ou pneumatiques. Les particules de poussière décollées suivent le courant d'air à l'intérieur du conduit et sont enlevées par l'aspirateur. Ce système de brosseage mécanique fonctionne parfaitement avec tous les types de conduits et surfaces de laine de verre, de haute densité ou revêtus d'un voile de verre, tant que les crins de brosse ne sont pas trop rigides.

Alors que le brosseage mécanique nécessite de plus larges ouvertures d'accès que la méthode précédente, le nombre de ces dernières importe peu. En effet, les brosses mécaniques peuvent parcourir les conduits jusqu'à 7 mètres dans les deux directions.



1. Trappe de visite
2. Buse à air équipée d'une brosse ou robot
3. Aspirateur
4. Compresseur

9.5 LE NOUVEAU SYSTÈME CLIMAVÉR A2

Les conduits du SYSTÈME CLIMAVÉR A2, composés de panneaux *CLIMAVÉR A2* et d'un profilé de jonctions et construits selon la *MÉTHODE DES TRONÇONS DROITS* ont été spécialement conçus pour les méthodes de nettoyage décrites précédemment. Les conduits du SYSTÈME CLIMAVÉR A2 ont été testés avec les méthodes de nettoyage par pression d'air "skeeper" et par pression d'air avec brosse, cette dernière méthode offrant de très bons résultats.

La *MÉTHODE DES TRONÇONS DROITS* réduit le nombre de coupes internes et on obtient avec le *PROFILES CLIMAVÉR* des joints résistants avec une augmentation de la rigidité des pièces.

Test de non-prolifération des moisissures. Selon les tests réalisés en laboratoire indépendant et conformément aux normes UL, les conduits ne favorisent pas le développement des microbes et des moisissures.

9.6 CONCLUSIONS

- Des plans adéquats et une installation correcte évitent l'apparition de problèmes d'altération des magnitudes physiques de l'air intérieur et d'autres aspects liés au confort.
- La saleté dans les conduits est principalement responsable des pollutions endogènes. Un nettoyage de départ, un filtre adéquat pour tout l'air circulant ainsi qu'un entretien approprié sont donc indispensables.
- Les matériaux des conduits utilisés en France ne sont pas porteurs de polluants importants dans l'air.
- L'apparition de problèmes à l'origine d'une mauvaise qualité de l'air nécessite une inspection de tous les éléments du système. Dans le cas d'éventuels dépôts de poussière dans un conduit, il faut donc imposer :
 - 1- Un système d'inspection visuelle de l'intérieur, par une endoscopie lumineuse ou un autre système. Il faut, tout au long du réseau de distribution de l'air, placer des éléments démontables ou des vannes qui permettent d'accéder à l'intérieur des conduits
 - 2- Un système de nettoyage qui combine pression et aspiration d'air, méthodes déjà utilisées ou en voie de développement dans divers pays.
 - 3- Une analyse des dépôts pouvant amener à installer de façon complémentaire des systèmes de nébulisation d'agents microbiens (fongicides, bactéricides, etc.)

10 INSTALLATION DES CONDUITS CLIMAVÉR

10.1 FABRICATION DE CONDUITS - BASES

Les conditions retenues pour la construction et l'assemblage de système de conduits rectangulaires de laine de verre pour une circulation forcée de l'air sont de 500 Pa pour des pressions négatives ou positives. Actuellement, les panneaux du SYSTÈME CLIMAVÉR A2 supportent des pressions allant jusqu'à 800 Pa et des vitesses maximales de 20 m/s.

Ce guide explique en détail les principaux aspects concernant la fabrication et l'installation des conduits de la gamme panneau gaine CLIMAVÉR.

Définitions : seront appelées **figures** tous les conduits de forme spéciale comme les tronçons non droits (ex : coudes, réductions, "pantalons", "r", etc.). Sera appelé **pièce** tout élément qui joint à d'autres éléments crée une figure ou tronçon droit. Quant au **recouvrement**, il s'agit d'une pièce plane qui, comme les autres pièces, entre dans la composition d'une figure ou d'un tronçon droit (ex. couvercle sur élément type U).

La fabrication des différentes figures ou tronçons droits d'un réseau de conduits commence avec le tracé sur le panneau de laine de verre des diverses pièces qu'on assemblera ensuite, au moyen d'un petit nombre d'outils légers et facilement utilisables. Le but de ce chapitre est d'expliquer les différentes opérations afin d'installer correctement le réseau de distribution de l'air.

Ce guide traite de deux méthodes de fabrication de figures :

- MÉTHODE DES TRONÇONS DROITS
- MÉTHODE PAR RECOUVREMENT ou dite traditionnelle

Pour ces deux méthodes, si la construction des tronçons droits est la même, les différences surviennent pour la fabrication des figures.

Pour la fabrication des conduits, les éléments suivants sont nécessaires :

- des panneaux de laine de verre de la gamme panneau gaine **CLIMAVÉR**
- des outils de coupe : Nouveaux **RABOTS CLIMAVÉR**
- **une Règle-équerre CLIMAVÉR**
- un marqueur, un mètre, un couteau double-tranchant avec une des pointes émoussée, une agrafeuse et de la **bande aluminium** auto-adhésive

Pour la fabrication des conduits du **SYSTÈME CLIMAVÉR**, il faut également utiliser :

- de la colle CLIMAVÉR pour les jonctions
- une scie circulaire tangentielle avec aspiration (utilisation spécifique de profilés)
- des **PROFILÉS CLIMAVÉR L et h** (si nécessaire)

10.1.1 Tracé

Une fois les coupes et le type d'élément ou figure du conduit (tronçon droit, coude, déviation, etc.) déterminés, il faut dessiner les différentes pièces sur le panneau, les découper et les assembler. Les coupes s'effectuent grâce aux **RABOTS CLIMAVÉR**. Ces outils permettent d'obtenir une coupe à mi-bois, qui est depuis longtemps déjà recommandée. Il faut aussi souligner le gain de temps que l'on peut avoir en utilisant la Règle-équerre **CLIMAVÉR**. L'utilisation de cet outil est expliquée en 2.

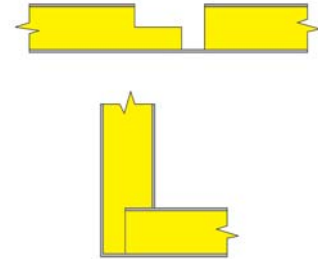
Les schémas suivants montrent les dimensions et coupes différentes selon le type d'élément à fabriquer.

10.1.2 Coupe

Les nouveaux *RABOTS CLIMAVÉR A2* se composent d'un support ou corps auquel sont vissées des lames interchangeables. La nouvelle gamme d'outils possède un dispositif incorporé qui, dans un même temps, découpe le panneau et facilite l'élimination des chutes.

Les *RABOTS CLIMAVÉR A2* permettent d'élaborer des dessins plus ergonomiques grâce à l'utilisation de couteaux en acier de grande qualité et facilement maniables.

Ils ont été tout spécialement conçus pour découper l'intérieur des panneaux *CLIMAVÉR A2* et servent pour toute la gamme.

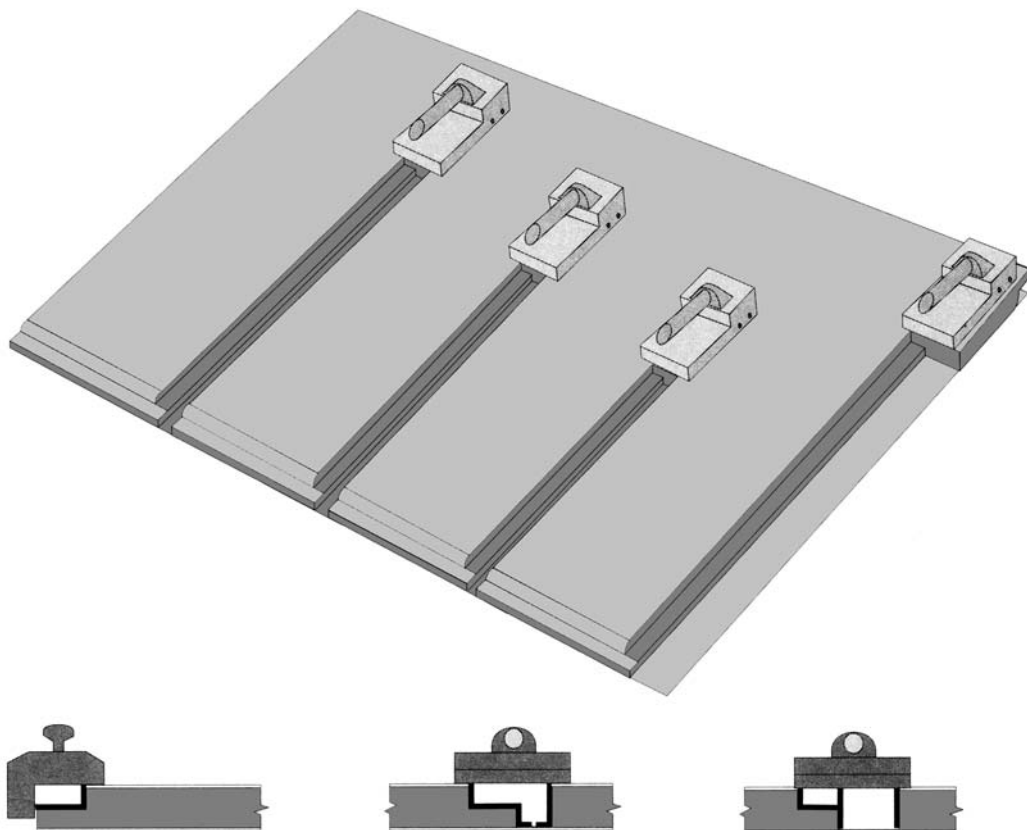


Il est donc indispensable d'utiliser ces outils plutôt que ceux, plus anciens, avec un support en acier ou en aluminium ne garantissant pas une découpe optimale.

Ils permettent de réaliser des cannelures à mi-bois pour plier le panneau à un angle de 90°. Ce type de coupe apporte une plus grande rigidité à la section. L'orientation spécifique des lames (Plan de coupe différent de celui du plan de travail) permet de pré-extraire les chutes au fur et à mesure que l'outil découpe le panneau.

Les chutes sont alors retirées en soulevant légèrement le panneau pour faciliter l'extraction.

Associés à la Règle-équerre *CLIMAVÉR* ces nouveaux outils plus légers permettent un façonnage précis et rapide.



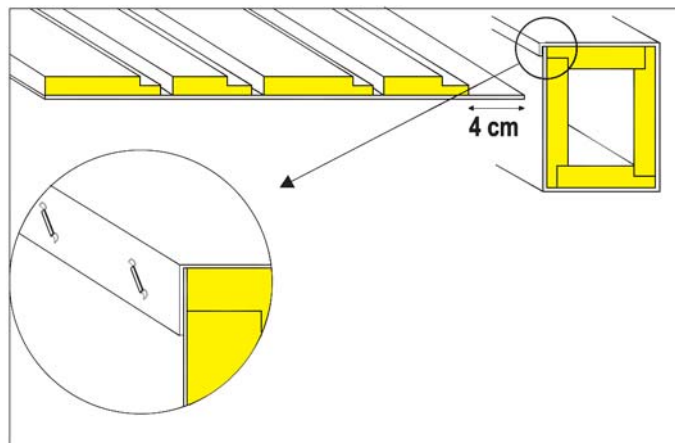
Rabots CLIMAVÉR

Grâce à la *Règle-équerre CLIMAVÉR* il n'est plus nécessaire de marquer des repères sur le panneau. Le travail s'effectue en lecture directe grâce aux graduations présentes sur la base de cette dernière qui viennent se positionner sur la dernière arête de la découpe précédente.

10.1.3 Jonction longitudinale

Afin que la jonction reste tendue et solide, l'angle de la jonction de deux recouvrements pour former un élément de conduit doit être légèrement inférieur à celui voulu. Généralement, un des deux recouvrements aura des angles droits et l'autre les angles "taillés". La jonction proprement dite sera réalisée grâce au débord du revêtement extérieur ménagé par le RABOT BLEU (au niveau de l'extrémité droit du panneau) sur lequel la laine aura été retirée grâce à un simple couteau. Il suffit alors de former le tronçon par recouvrement, sur l'aluminium extérieur opposé, de la languette ainsi obtenue. La fixation de l'ensemble sera alors réalisée par :

- L'agrafage de la languette
- Puis la pose d'une bande aluminium auto adhésive



La bande aluminium auto adhésive, de 50 mm de large au minimum, est pour moitié collée à la languette déjà agrafée et pour l'autre collée sur la surface courante du panneau.

Les bandes adhésives conseillées ont les caractéristiques suivantes :

- feuille d'aluminium pure de 50 μm d'épaisseur avec un adhésif sensible à la pression, de préférence à base de résine acrylique,
- homologation sous la norme américaine UL 181 A-P ou garantie similaire du fabricant. [Résistance à la traction 2,8 N/mm ; Étirement $\leq 5\%$, Coupe (180°), $\geq 0,5$ N/mm ; Coupe (20°), ≥ 9 N (24h.)/mm]. Ces conditions sont indispensables au CLIMAVÉR A2 si le conduit est soumis à des pressions proches de 800 Pa.

Pour appliquer les bandes d'aluminium, la température doit être supérieure à 0 °C. Il faut faire pression sur la bande au moyen d'une spatule plastique, en frottant jusqu'à ce qu'apparaisse sur la bande le relief (grille de verre) du complexe.

Agrafage :

Après mise en forme du tronçon ou de la pièce, rabattre la (ou les) languette(s) longitudinale(s) et agraffer tous les 4 cm environ en commençant par le milieu de l'élément, en orientant les agrafes à 45°.

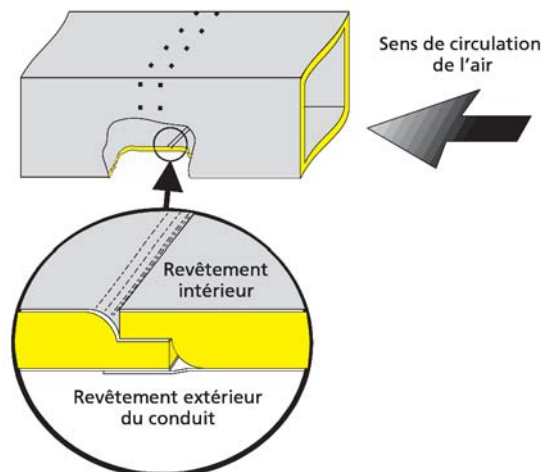
Les jonctions des conduits de la gamme CLIMAVÉR A2 sont particulièrement étanches. Le risque de fuites d'air à l'extérieur du conduit est minime, à condition de respecter les consignes d'assemblage.

10.1.4 Jonction transversale des éléments

L'union transversale des différents tronçons se fait par emboîtement de leurs extrémités "mâles" et "femelles" plus généralement appelées feuillures. À cet endroit, la densité de la laine de verre est très supérieure, ce qui augmente la rigidité de la connexion et améliore l'assemblage. Puis, l'union se fait par agrafage de la languette extérieure et pose de la bande aluminium.

Pour l'assemblage de deux tronçons entre eux, l'orientation des agrafes sera de 90° soit à cheval sur les deux extrémités.

Consommation : Environ 25 agrafes par mètre linéaire.

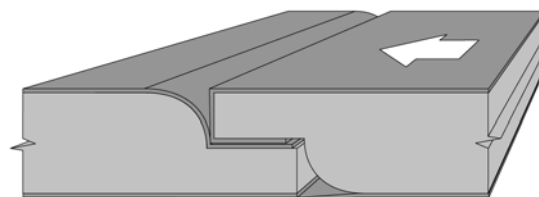


SYSTÈME CLIMAVÉR A2

L'originalité du système **CLIMAVÉR A2** réside dans l'association du **rebordement** exclusif de l'aluminium intérieur sur le bord "femelle" et l'adoption de profilés aluminium assurant le recouvrement des découpes longitudinales du panneau. La surface intérieure du conduit est ainsi entièrement revêtue d'aluminium, garantissant une qualité de l'air et une rigidité inégalée en panneau gaine.

Il est très important lors de la mise en place des tronçons de bien respecter le sens de circulation de l'air comme indiqué sur le schéma.

revêtement intérieur
ALU rebordé du Climaver A2



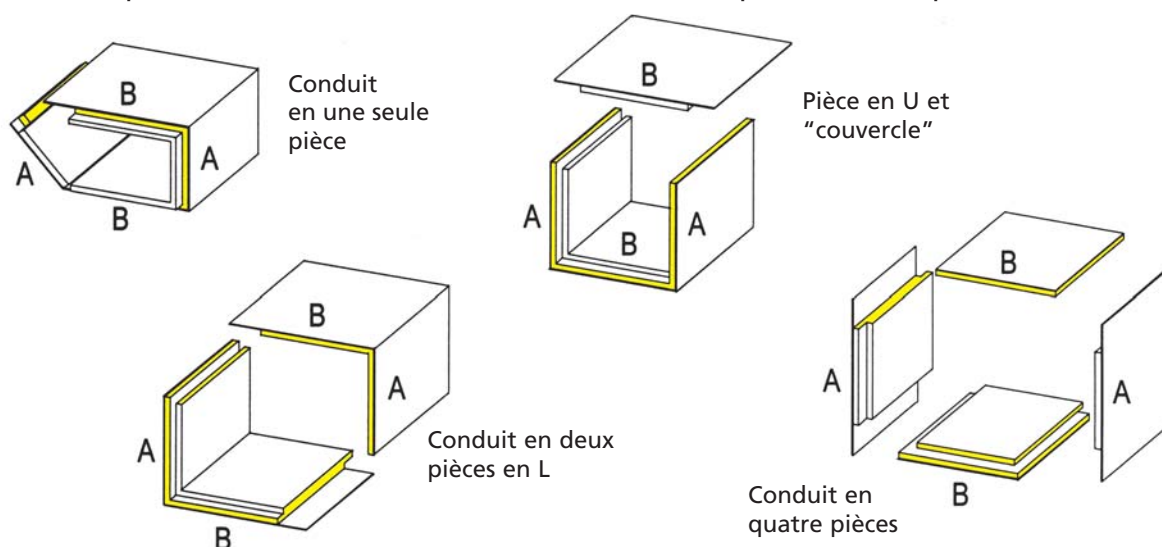
Nous allons ensuite décrire comment réaliser les différentes parties qui composent le réseau de conduits : tronçons droits, coudés, réductions et ramifications. Deux méthodes sont expliquées : celle dite du "**TRONÇON DROIT**" ou celle "**PAR RECOUVREMENT**".

10.2 CONCEPTION D'UN TRONÇON DROIT

Avec les Rabots **CLIMAVÉR** et la Règle-équerre **CLIMAVÉR**, la fabrication est simplifiée car il n'est plus nécessaire de mesurer et marquer les côtés des panneaux. L'obtention des cotes à réaliser se fait par lecture directe sur la partie graduée située au bas de la *Règle-équerre*.

Les tronçons droits sont des éléments de base pour fabriquer les différentes pièces du réseau de conduits en utilisant la **MÉTHODE DES TRONÇONS DROITS**, méthode la plus rapide et la plus simple. Les schémas suivants montrent les différentes façons de fabriquer un conduit droit en fonction de la taille des panneaux disponibles et de la section du tronçon à élaborer.

L'optimisation de la consommation de produits par l'emploi des chutes ou le besoin de fabriquer des conduits de grande taille nous orientera vers la forme la plus logique pour la construction du conduit. Le tracé et la coupe doivent être faits sur la face intérieur du panneau et à partir du bord femelle.



10.2.1 Fabrication d'un conduit droit d'une pièce

A) SANS RÈGLE-ÉQUERRE

Pour confectionner un conduit droit d'une pièce sans utiliser de règle-équerre, on inscrit les dimensions du conduit aux deux extrémités du panneau. En tenant compte de ce que "consomment" les lames et en commençant par la gauche, on calcule les repères de la façon suivante : $A-4 / B+4 / A+4 / B+4$ cm. Par exemple, pour un conduit de 30 cm x 20 cm, on inscrira depuis le côté gauche du panneau les mesures suivantes : 26 cm / 50 cm / 84 cm / 108 cm.

Une fois ces mesures prises, on pose une règle qui nous servira de guide sur les points indiqués et on passe le RABOT ROUGE sur les trois premières mesures (p.e. 26 cm, 50 cm et 84 cm). Pour la dernière mesure (108 cm), on passe le RABOT BLEU qui laisse une languette de 4 cm de revêtement, indépendamment de la section choisie, pour permettre l'assemblage du tronçon par recouvrement de l'aluminium extérieur. À l'aide d'un couteau, on vient séparer le tronçon plan ainsi réalisé en découpant tout au long du panneau au niveau de la partie le plus à droite de la dernière coupe.

On retire les chutes puis on ôte la laine encore présente sur le débord droit afin de réaliser la languette d'assemblage.

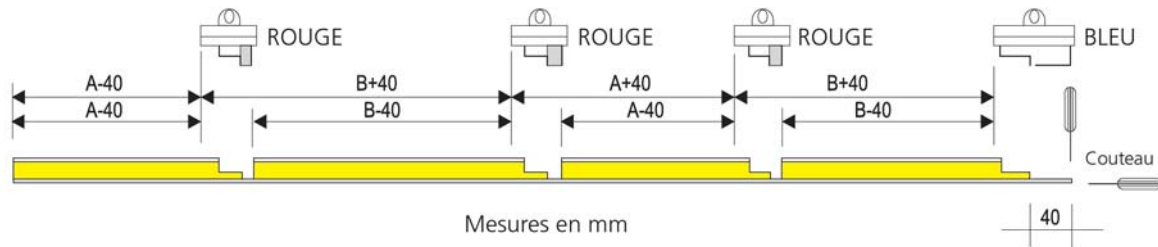
Si toute la largeur du panneau (1,19 m) a été utilisée, le tronçon obtenu présentera à ses extrémités un bord mâle et un bord femelle. Si ce n'est pas le cas, il faudra recréer ces parties mâle/femelle, utilisant pour ce faire, le RABOT NOIR.

Il ne reste plus alors qu'à mettre en forme notre tronçon en le maintenant avec une première bande aluminium auto-adhésive puis d'assurer la fixation définitive par agrafage de la languette et pose de la bande aluminium longitudinale à cheval sur la languette et la partie courante du panneau.

B) AVEC LA RÈGLE-ÉQUERRE (recommandée)

La seule différence avec la méthode précédente réside dans les mesures pour le façonnage du conduit. Dans ce cas, il n'est pas nécessaire d'établir des repères de chaque côté du panneau ni de tenir compte des baisses ou augmentations liées à la largeur des rabots (la règle-équerre y pourvoit). Il suffit simplement d'utiliser comme repère de mesure, l'arête droite de la dernière coupe, et de positionner la règle par lecture directe de la dimension de la section intérieure souhaitée. La première mesure sera prise depuis le bord gauche du panneau. On utilise donc le RABOT ROUGE pour les trois premières mesures et le RABOT BLEU pour la dernière mesure.

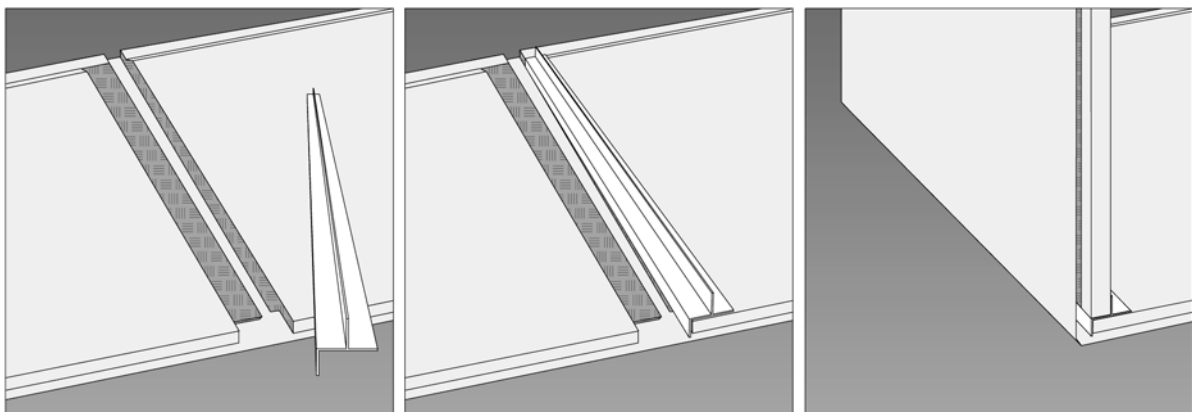
Le schéma suivant montre les différentes mesures en mm., les rabots à employer et les endroits où les utiliser. Les mesures du dessus sont celle qui devraient être prises en compte en cas de non-utilisation de la règle-équerre.



SYSTÈME CLIMAVER A2

La fabrication d'un tronçon droit de conduit du SYSTÈME CLIMAVER A2 se base sur les explications données précédemment.

- Les tronçons droits sont réalisés à partir de panneaux **CLIMAVER A2** comme expliqué ci-avant.
- Dans chaque rainure à mi-bois faite par les outils de coupe, on placera un **PROFILÉ CLIMAVER L** de 1,155 m de long pour relier chaque joint longitudinal interne du conduit droit.



10.2.2 Fabrication d'un conduit droit de deux pièces

A) SANS LA RÈGLE-ÉQUERRE

Les dimensions du conduit à réaliser sont inscrites sur le panneau. Cependant, à la différence du paragraphe précédent, on ne marque qu'une fois la base et la hauteur, compte tenu des augmentations ou réductions dues aux lames (A-4 / B+4 cm).

Sur ces marques, on positionnera une règle ou un guide pour les rabots, en passant d'abord la lame ROUGE et ensuite la BLEUE, laquelle laissera une marge pour l'agrafage.

On répète le processus pour obtenir l'autre moitié du conduit.

Une fois les deux pièces du conduit obtenues, on retire les chutes, conformément aux explications du paragraphe précédent.

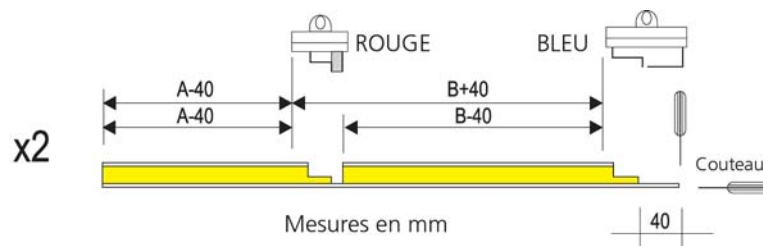
B) AVEC LA RÈGLE-ÉQUERRE

La seule différence avec la méthode précédente réside dans les mesures pour le schéma du conduit. Dans ce cas, il n'est pas nécessaire d'établir des repères de chaque côté du panneau ni de tenir compte des baisses ou augmentations des lames (la règle-équerre y pourvoit). Il suffit simplement d'inscrire sur le panneau et en partant du bord gauche, les mesures de la base du conduit ainsi que sa hauteur.

On utilise donc la lame ROUGE pour la première mesure et la lame BLEUE pour la deuxième mesure.

Le reste du travail se fait comme dans le cas précédent.

Le schéma suivant montre les différentes mesures en mm, les lames à employer et les endroits où les utiliser. Les mesures supérieures sont à réaliser en cas de non-utilisation de la règle-équerre.



10.2.3 Fabrication d'un conduit droit d'une pièce en U et recouvrement

A) SANS LA RÈGLE-ÉQUERRE

On commence le schéma en inscrivant les mesures de la hauteur A-4 cm, puis la mesure de la base B+4 cm et enfin de nouveau la hauteur A+4 cm.

On utilise donc Le rabot ROUGE pour les deux premières marques et le rabot BLEU pour la dernière mesure.

On élimine ensuite les chutes provenant du façonnage et on obtient ainsi le tronçon en U.

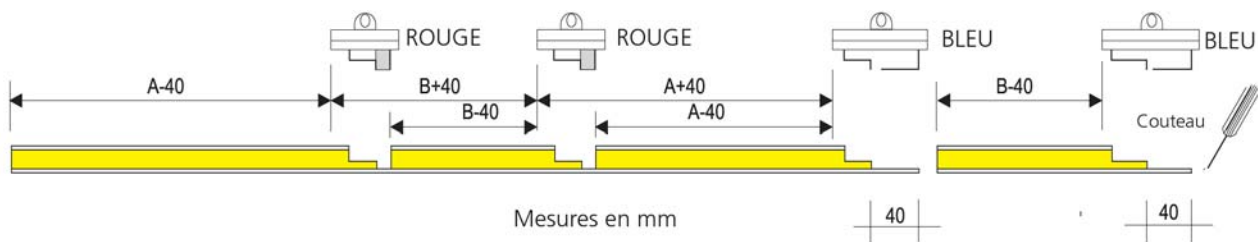
Pour réaliser le "couvre-ciel", on coupe un côté du panneau avec une lame. On coupe ensuite à partir de ce morceau avec le rabot BLEU une section de panneau de largeur égale à celle du morceau B-4 et de longueur égale à la longueur du conduit.

On élimine ensuite la dernière chute et on réalise le tronçon par l'assemblage entre le U et le "couvre-ciel".

B) AVEC LA RÈGLE-ÉQUERRE

La seule différence avec le procédé précédent est dans la façon d'obtenir le tronçon en U. On place la règle-équerre au niveau de la hauteur A pour ensuite y passer le rabot ROUGE. À partir de la dernière fente, on mesure avec la règle-équerre la largeur B et on passe à nouveau le rabot ROUGE. Ensuite, à partir de la fente, on mesure la hauteur A et on passe le rabot BLEU.

Le "couvercle" s'obtient en positionnant directement sur la règle la distance de la base B et en passant le rabot BLEU. Aux deux extrémités où sont passés les rabots BLEU, on utilise une lame pour couper et ôter la laine de la languette de recouvrement. Il ne reste plus alors qu'à assembler les deux pièces, à agraffer et à coller la bande aluminium longitudinale.



10.2.4 Fabrication d'un conduit droit de quatre pièces

Cette pièce est fondamentale pour toutes les figures qui suivent selon la Méthode par recouvrement. Cependant, concernant les conduits droits, elle ne sert que pour ceux de grande taille. Cela concerne des recouvrements qui, même s'ils sont de forme semblable, n'ont pas la même taille. Les deux recouvrements ont un côté coupé à bord droit, et un autre bord coupé avec la lame bleue, de façon à laisser une marge pour permettre d'y joindre le conduit.

A) RECOUVREMENT 1

La mesure du premier recouvrement s'obtient en appliquant $A + 75$ mm au bord gauche du panneau, où A est la base réelle de la section du conduit. Une fois cette mesure notée, on la fait coïncider avec le guide. On coupe le panneau avec le rabot BLEU en suivant la ligne obtenue et on nettoie la marge.

On répète l'opération pour obtenir l'autre recouvrement.

B) RECOUVREMENT 2

Son tracé est identique à celui du recouvrement 1. Cependant, la mesure s'obtient en enlevant 40 mm à la mesure réelle de la hauteur de la section B.

Comme dans le cas précédent, on passe le rabot BLEU, on nettoie la marge et on coupe l'extrémité extérieure du panneau avec un couteau.

Enfin, pour obtenir un tronçon droit, on agrafe la marge de chaque recouvrement au bord droit du suivant en fermant le conduit avec le quatrième recouvrement.

10.3 CONCEPTION DES FIGURES

On différencie deux méthodes de fabrication de figures :

- MÉTHODE DES TRONÇONS DROITS
- MÉTHODE PAR RECOUVREMENT ou dite traditionnelle

Pour la fabrication de figures avec la méthode par recouvrement, on utilise les mêmes outils que ceux utilisés précédemment.

La Méthode du tronçon droit se base, comme son nom l'indique, sur la fabrication de pièces à partir de conduits droits. Et, dans le cas du SYSTÈME CLIMAVÉR A2, ces conduits peuvent intégrer les **PROFILES L** longitudinaux.

Les différentes pièces s'obtiennent en réalisant des coupes sur des sections de tronçons droits. L'usage des **PROFILES L** longitudinaux impose l'utilisation d'une **scie circulaire tangentielle**.

À titre d'information, il existe de nombreux appareils standard vendus dans le commerce comme par

exemple les modèles suivants : *BOSCH PKS 40* ; *BLACK & DECKER KS 850* ; *AEG HK 46* ou *SKILL 5140 H* ou similaire.

Nous vous conseillons un diamètre de disque de 130 mm équipé de 80 dents environ (type réf. *E41CVH* de *BOSCH* ou équivalent). La profondeur de coupe de la scie circulaire doit être comprise entre 38 mm et 40 mm.

La scie possède pour cela un dispositif d'ajustement.

Elle possède également un autre dispositif pour l'inclinaison de l'angle de coupe. On fait généralement des coupes perpendiculaires, des coupes de 22,5° sur la verticale et aussi des coupes à 45°.

On utilise pour les schémas le symbole suivant :

Un disque incliné signifie que la coupe n'est pas toujours perpendiculaire (0°) à la surface du conduit.



Le nombre indique le degré d'inclinaison pour ajuster la scie. La flèche indique le sens de la coupe.



Par mesure de sécurité et d'hygiène dans le travail, la scie doit être reliée à un système d'aspiration forcée.

L'absence des profilés L permet l'usage alternatif de deux rabots verts en lieu et place de la scie. Les lignes qui figurent sur la face extérieure du CLIMAVÉR A2 servent de guide. Le rabot vert à pastille découpe à angle droit, celui à pastille jaune découpe à 22°5.

10.3.1 Fabrication des coudes

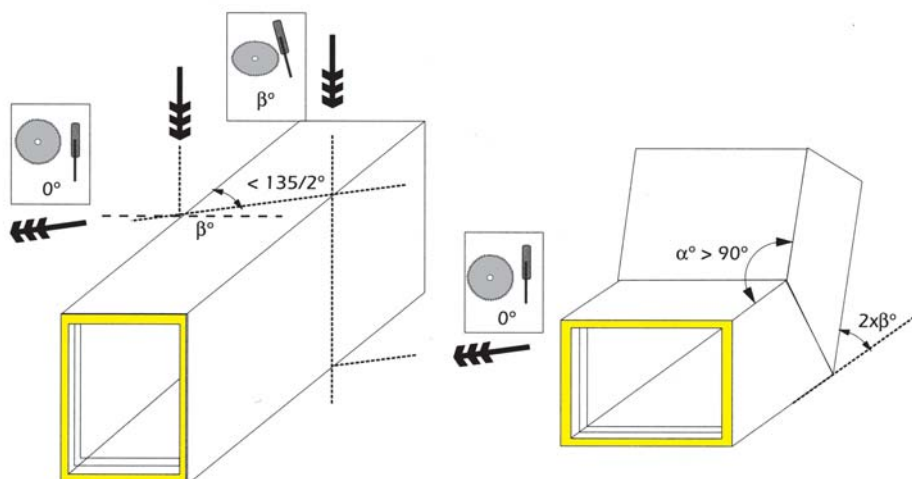
Le coude est la première figure dont la fabrication est expliquée dans ce manuel. Comme on l'a déjà précisé, on appelle figures tous les conduits de forme spéciale, c'est-à-dire les tronçons non droits. Un coude représente tout changement de direction à l'intérieur du réseau sans pour autant qu'il y ait une bifurcation du débit de l'air circulant.

On évitera toujours la construction de coudes, ou tout autre type de figure, par le biais de courbes pures (circulaires), étant donné que leur construction nécessite un nombre important de coupes du revêtement intérieur du conduit. Cela affaiblit la pièce et peut abîmer l'isolant dans le cas d'un mauvais façonnage.

Vue sa simplicité, le manuel explique la construction des coudes à un angle supérieur à 90° vif. Vient ensuite une explication détaillée de la construction des coudes par *la Méthode des tronçons droits* (conseillée) ou par *la Méthode des recouvrements*.

10.3.1.1 Coudes à angle de plus de 90° à partir de conduits droits

Ces coudes sont réalisés à partir de tronçons droits. On trace une ligne de coupe, comme indiqué sur le dessin, puis on coupe avec les rabots verts ou la scie circulaire tangentielle selon un plan imaginaire qui traverse le conduit et passe par la ligne en question. Les coupes avec le disque incliné β° se font avant et après celles faites avec le disque perpendiculaire à la surface du conduit. Une des pièces obtenues est tournée pour créer le coude.



Il n'est pas possible de procéder à l'assemblage en l'absence de marge à agraffer. Il faut donc appliquer un cordon de colle sur les bords à joindre, près du bord intérieur du conduit. Une "charnière" provisoire aura préalablement été réalisée par un morceau de bande aluminium sur le côté intérieur du coude. Lors de l'assemblage des deux parties, on étale avec une spatule le surplus de colle, côté intérieur du conduit. À l'extérieur, on applique puis on lisse ensuite la bande d'aluminium périmétrique. Au besoin, pour une meilleure continuité de l'aluminium intérieur, il est possible d'appliquer une bande aluminium transversale au niveau des découpes du coude.

Pour réduire les pertes de charge, il est conseillé de poser des déflecteurs sur les coudes à angle inférieur à 135° . Cela se fait en fixant à l'intérieur du conduit une tôle qui tient les déflecteurs ou palettes en utilisant des vis rondes et des rondelles fixées depuis l'extérieur. Cependant, on déconseille ce type d'angle et l'emploi de tels déflecteurs pour le SYSTÈME CLIMAVER car cela complique le nettoyage.

10.3.1.2 Coude de 90° par la méthode du tronçon droit

C'est la méthode recommandée pour la fabrication des coudes. On part d'un tronçon droit, qui, dans le cas des conduits du SYSTÈME CLIMAVER A2, est construit à partir de profilés en L. Sont ensuite détaillées les différentes étapes nécessaires pour l'élaboration de coudes.

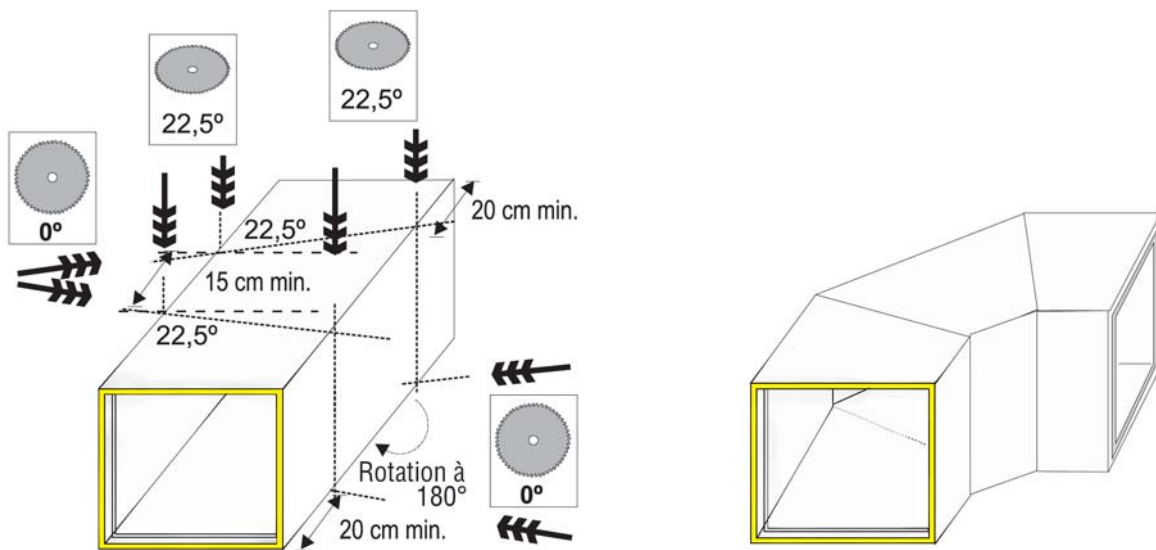
Sur l'un des côtés du tronçon droit, on mesure un angle de 22,5° par rapport à une section perpendiculaire imaginaire et une ligne est tracée. L'opération est répétée sur le côté opposé et les deux lignes sont reliées par des lignes verticales tracées sur les deux autres côtés.

La règle-équerre s'avère également très utile.

Muni des rabots verts ou de la scie circulaire, on coupe le conduit suivant les lignes, en faisant attention à l'inclinaison des lames et du disque de la scie de coupe (perpendiculaire à la surface du conduit au niveau des lignes avec un angle de 22,5° et avec un angle incliné de 22,5° pour les verticales). On obtient ainsi la première pièce du coude.

On répète la même opération à plus de 15 cm des lignes venant d'être tracées mais cette fois avec un angle de 22,5° symétrique au précédent. Les trois tronçons du conduit sont ainsi obtenus.

La pièce intermédiaire est retournée de 180° et le coude est formé.



Il n'est alors pas nécessaire de poser des déflecteurs.

L'assemblage des pièces est expliqué au paragraphe précédent.

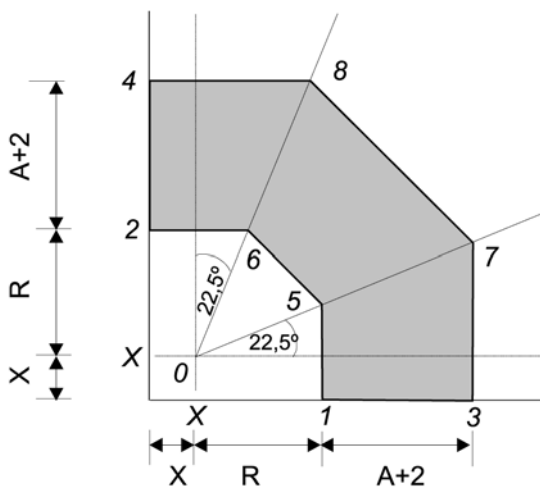
Il faut faire attention à bien respecter l'angle de 22,5°. Si cette mesure s'avérait inexacte, on obtiendrait des coudes de moins de 90° (coudes fermés) ou de plus de 90° (coudes ouverts).

10.3.1.3 Coude de 90° par la méthode du recouvrement

Une autre façon de réaliser cet élément est de tracer sur un panneau quatre pièces : deux pièces symétriques en forme de coude et deux pièces enveloppantes (une extérieure et une intérieure). Il s'agit d'une méthode complexe et difficile que nous déconseillons. Cependant, cette méthode peut être très bien comprise par une personne ayant des connaissances en chaudronnerie. Dans ce cas et pour le produit *CLIMAVÉR A2*, les coupes de l'enveloppant intérieur doivent être conçues dans le complexe intérieur, puis collées ensuite avec du ruban, de façon à ce que la pièce soit résistante et l'intérieur lisse.

Voici les explications pour obtenir ce coude :

A) RECOUVREMENTS



Le tracé se fait à l'intérieur du panneau. Il faut tenir compte des mâles et femelles dans la symétrie de chaque recouvrement.

On commence le tracé de la pièce par le coin inférieur du panneau, en laissant un espace de X cm sur les parties gauche et inférieure du panneau. Cette mesure X (avec $X \geq 10$ cm) correspond au côté droit de la pièce qui sera reliée "recto contre recto" au reste du réseau. On obtient ainsi les points X sur le panneau.

À partir des points X, on mesure sur les deux côtés le rayon intérieur R du coude (avec $R \geq 10$ cm). On obtient ainsi les points 1 et 2 situés sur le bord du panneau.

Depuis les points obtenus, on mesure la distance qui équivaut à la largeur de la bouche du coude $A + 2$ cm, correspondant aux recouvrements déjà construits. On obtient les points 3 et 4 sur le bord du panneau.

En traçant une perpendiculaire depuis les points X, 1, 2, 3 et 4 on obtient la figure du schéma, 0 étant le centre du coude avec un angle au sommet de 90°.

On divise l'angle de 90° en quatre angles égaux de 22,5 : un angle "extérieur" de 22,5° et l'angle "intérieur" de 67,5° (cf. schéma). On trace ensuite des droites partant des points 1, 3, 2 et 4 qui coupent les droites des angles précédents. On obtient ainsi les points 5, 6, 7 et 8.

On relie enfin les points 1, 3, 7, 8 et 4 et les points 2, 6, 5 et 1 dans l'ordre, on coupe avec la lame le recouvrement réalisé et on effectue les ajustements nécessaires.

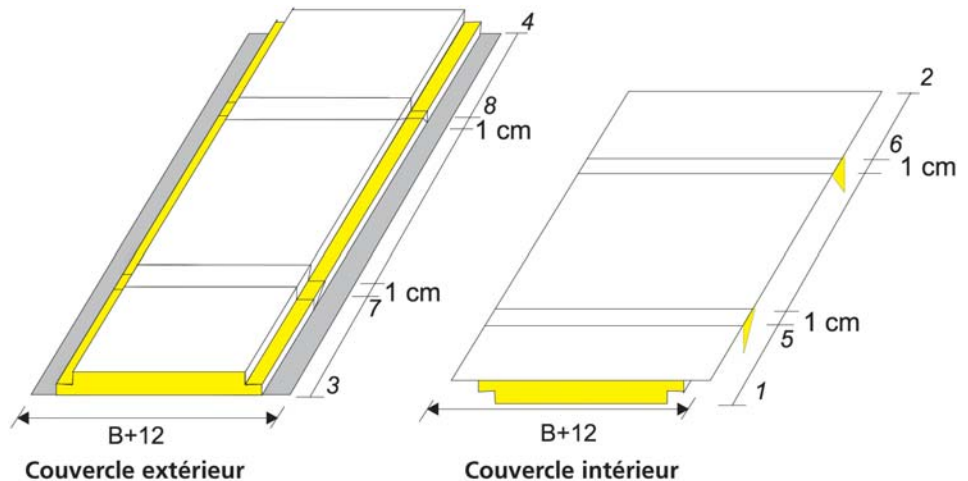
Pour réaliser l'autre recouvrement, il suffit de retourner la pièce qu'on vient de réaliser, de la poser sur le panneau et retracer les lignes de la pièce, en veillant à ne pas gâcher de matériau. On ne doit pas oublier d'assembler la pièce.

B) COUVERCLE

La longueur des entailles du couvercle est indiquée par la hauteur B du coude.

Dans ce cas, il faut faire 2 couvercles de longueurs différentes pour ajuster le coude.

La ligne formée par les points 1, 5, 6 et 2 (Li) donne la longueur de l'enveloppant intérieur et la ligne formée par les points 3, 7, 8 et 4 (Le) la longueur de l'enveloppant extérieur.



Pour dessiner ces enveloppants, la largeur du panneau doit correspondre à la moitié au moins de la hauteur B + 12 cm. La longueur du panneau doit correspondre à 3-7-8-4 + 2 cm pour l'enveloppant extérieur et 1-5-6-2 + 2 cm pour l'enveloppant intérieur. Les deux centimètres supplémentaires sur Li et Le serviront à faire deux plis pour chaque enveloppant (1 cm par pli). On coupe ensuite avec le rabot BLEU deux tronçons de panneaux de (B + 12) x (Le + 2) pour le panneau extérieur et de (B + 12) x (Li + 2) pour le panneau intérieur.

Pour l'enveloppant extérieur, on réalise deux coupes droites aux distances 3-7 et 3-8 depuis la base sur le côté intérieur du panneau. On réalise une nouvelle coupe, cette fois-ci à biseau, à un centimètre des deux coupes précédentes, de façon à pouvoir éliminer la marge et doubler l'enveloppant suivant le tracé du coude.

On répète la même opération pour l'enveloppant intérieur mais en prenant cette fois comme repères les points 1-5 et 1-6. Les coupes seront faites sur la partie extérieure du complexe.

C) ASSEMBLAGE

Au final, on assemble et agrafe les quatre pièces ensemble. Enfin, les jonctions sont recouvertes par une bande aluminium sur le côté extérieur du complexe.

10.3.2 Ramifications doubles

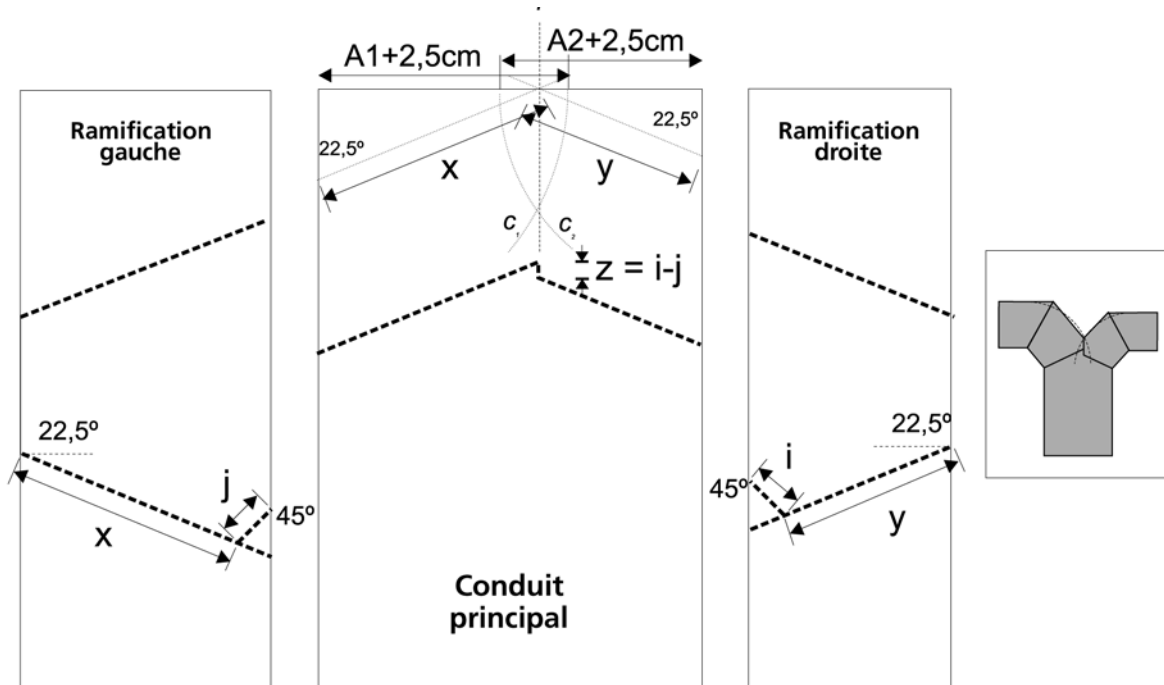
La ramification est la pièce qui fait bifurquer le débit de l'air circulant à l'intérieur du réseau. La bifurcation peut s'effectuer sur un seul débit (ramification simple ou en "r") ou sur les deux débits (ramification double ou "pantalon").

Il existe différents types de ramifications ou bifurcations. Pour leur tracé, nous nous baserons sur les explications précédentes, avec quelques explications supplémentaires en fonction de chaque pièce.

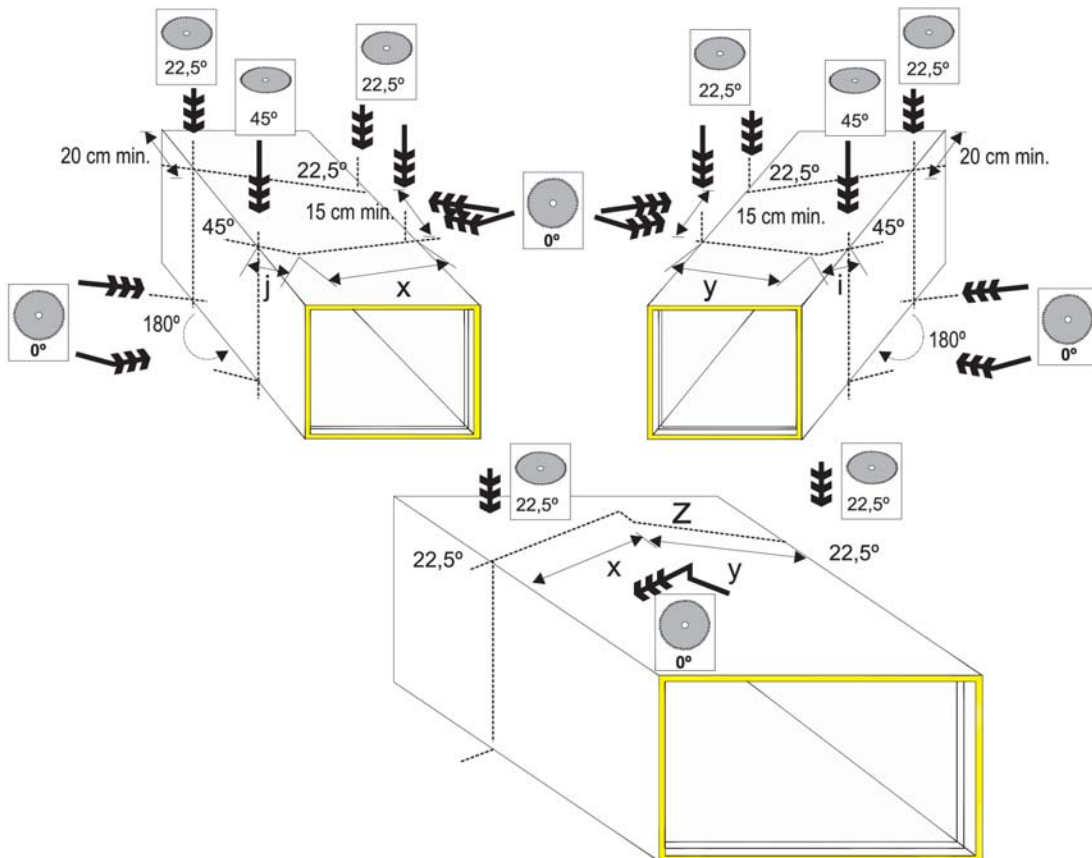
Il convient de rappeler que la ramification principale doit toujours avoir la plus grande section afin de permettre une meilleure distribution.

10.3.2.1 Ramifications doubles par tronçons droits

Les coudes des ramifications de cette figure, appelée communément "pantalon" (cf. schéma) se font selon les indications des paragraphes précédents. Les deux coudes peuvent avoir des sections différentes, dont la somme est supérieure à celle du conduit principal, même si la hauteur reste la même que celle du tronçon principal.



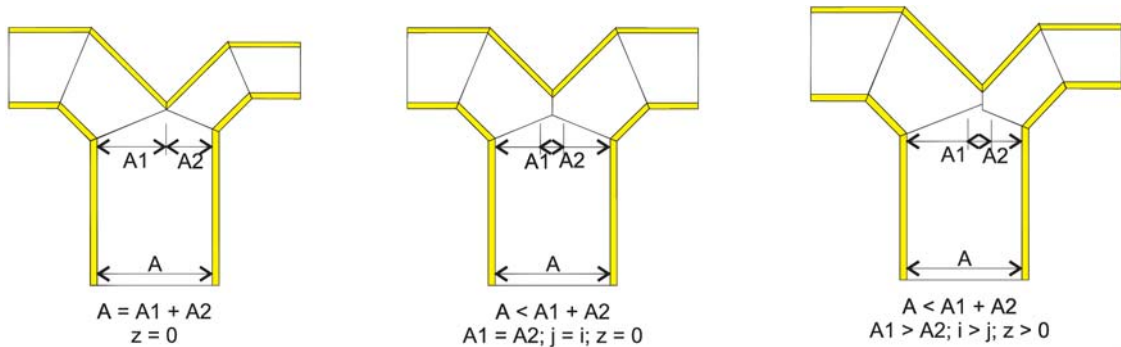
La première étape est de tracer une ligne r perpendiculaire à la coupe du conduit principal qui passe par l'intersection des courbes de rayon c_1 ($A_1 + 2,5 \text{ cm}$) et c_2 ($A_2 + 2,5 \text{ cm}$), A_1 et A_2 correspondant aux largeurs respectives des coupes intérieures des ramifications.



Cette ligne r correspond au point de jonction des deux ramifications. À partir de cette ligne et en traçant de chaque côté deux droites d'inclinaison $22,5^\circ$, on obtient les mesures x et y qui sont reportées sur les deux ramifications.

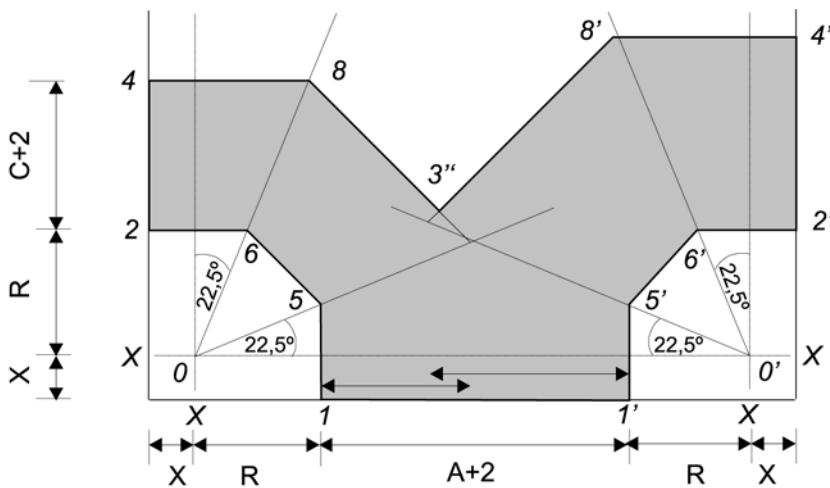
Une fois les mesures x et y rapportées en 2 droites d'inclinaison $22,5^\circ$ sur chaque ramification, on unit les points intérieurs en traçant 2 droites d'inclinaison 45° aux extrémités des ramifications, obtenant ainsi respectivement les mesures i et j . La différence entre ces mesures, appelée z , doit être reportée sur le conduit principal comme point de séparation entre les coupes droites d'inclinaison $22,5^\circ$ qui liera les ramifications.

On peut facilement vérifier que la somme des sections intérieures des ramifications est égale à la section intérieure du conduit principal avec z égal à 0. Le bord des pièces du point de jonction des ramifications n'est que de 45° . Il est conseillé de réaliser d'abord cette coupe avant de faire les autres.



Comme pour les pièces précédentes, on dépose un filet de colle sur le pourtour intérieur des tranches des différents éléments, puis on assemble. Il ne reste plus qu'à poser et lisser la bande aluminium.

10.3.2.2 Ramifications doubles par recouvrement



On prend un pantalon aux dimensions suivantes : coupe d'entrée $A \times B$, $C \times D$ pour la petite sortie et $D \times B$ pour la grande sortie.

La bifurcation est composée de 2 recouvrements symétriques, de 2 enveloppants inférieurs, égaux et d'un enveloppant supérieur composé de 2 recouvrements de taille différente.

Pour le pantalon, il faut utiliser les références du coude puisqu'il s'agit principalement du tracé des coudes opposés de tailles différentes mais avec le même rayon intérieur. Ainsi, en suivant les indications du paragraphe 3.1.3.A, on obtient un coude avec une mesure d'entrée de $C + 2$ et une mesure de sortie de $C + 2$ et la série de points $1-2-5-6-4$ et 8 .

On trace le coude opposé d'entrée $D + 2$ cm mesurée à partir du point 1' de la coupe de la travée principale $A + 2$ cm vers la gauche. On répète la même opération mais de façon symétrique et on obtient les points 1'-2'-5'-6'-4' et 8'.

Le point 3" s'obtient en croisant les parallèles des droites 5-6 et 5'-6' qui passent respectivement par 8 et 8'.

Cette intersection coïncide avec l'intersection des droites 0-5 et 0-5', quand les coupes des 2 ramifications sont égales et que leur somme équivaut à la section du tronçon principal. Si les sections des ramifications sont égales mais que leur somme est supérieure à la valeur de la section du tronçon principal, l'intersection 3" se trouvera en ligne directe avec l'intersection des droites 0-5 et 0-5'.

Quant aux enveloppements inférieurs, leur conception est la même que celle du paragraphe 3.1.3.B.

Enfin, le tracé de l'enveloppe supérieure doit se faire sur les deux tronçons. La longueur de chaque tronçon correspond respectivement aux distances $4-3'' + 1$ cm et $4'-3'' + 1$ cm, s'il n'y a qu'un pli à faire. La largeur correspond à $B + 12$ cm. La coupe en 'V' est faite sur le revêtement intérieur au niveau des points 4 et 4' tandis qu'on fait une coupe en onglet de 45° au point 3", afin de pouvoir joindre correctement les deux tronçons. Dans le cas d'un panneau CLIMAVÉR A2, la coupe à 45° reste liée au revêtement intérieur.

Comme pour le reste des pièces, le procédé se termine par l'agrafage et la pose de la bande aluminium.

10.3.3 Ramifications simples en "r"

10.3.3.1 Ramifications en "r" par tronçon droit

On procède de la même façon que pour la ramification double ou "pantalon" par 3 tronçons droits. Mais seule une ramification sera coupée, de même que le tronçon principal qui présentera une coupe inclinée de $22,5^\circ$ pour s'adapter à la ramification en question.

La première étape est de tracer une ligne imaginaire du tronçon secondaire de coupe $A2 + 5$ cm et de ne pas modifier la trajectoire. L'intersection de cette dernière avec une autre ligne imaginaire de $22,5^\circ$ correspondant à la ramification inclinée de section A1 donne la mesure x.

On rapporte ensuite cette mesure x à la ramification à couper sur une droite d'inclinaison $22,5^\circ$.

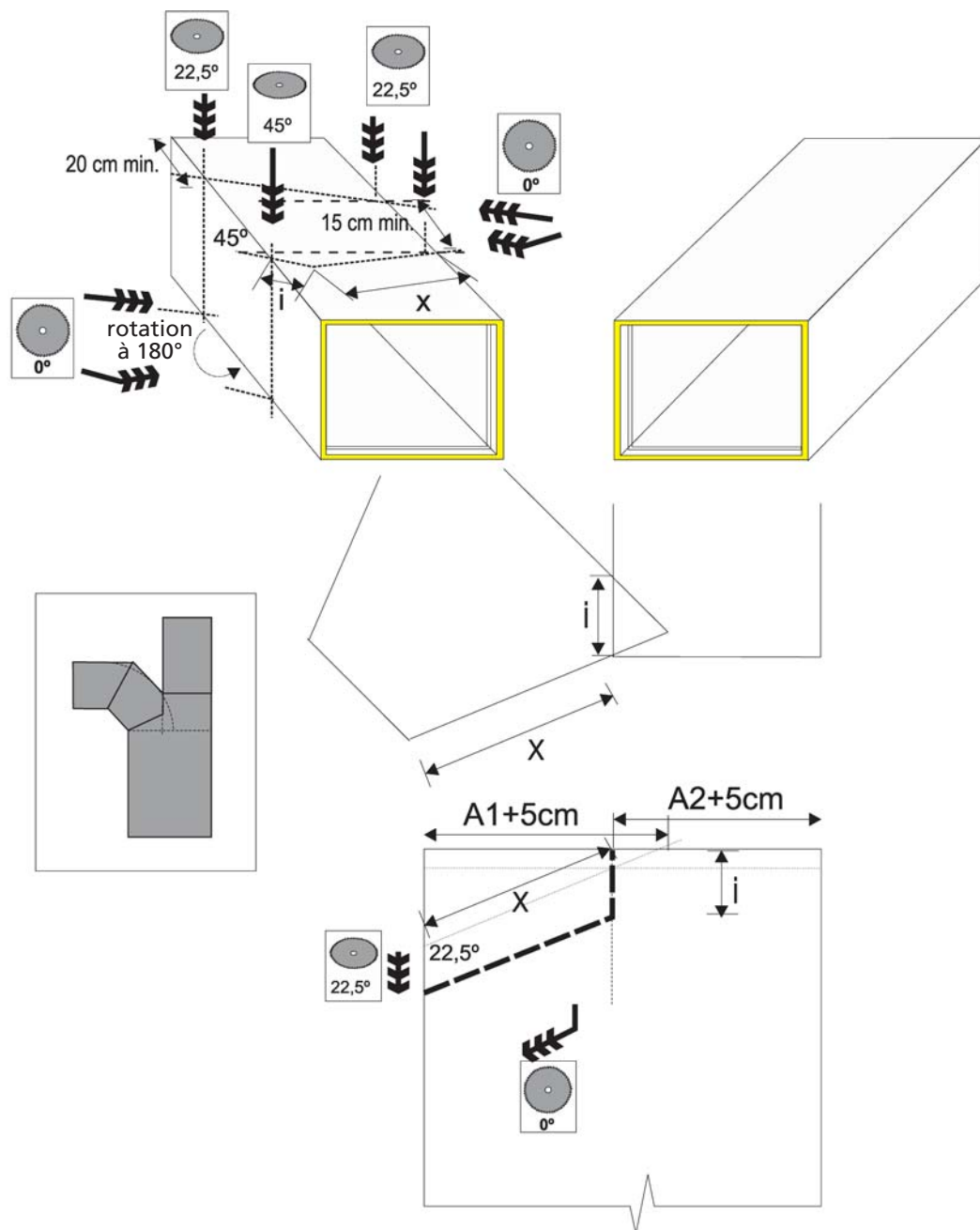
Au bout de cette mesure, on trace une droite d'inclinaison 45° jusqu'au bord de la ramification. Cela nous donne la mesure i. On passe la scie circulaire par ces points et par les verticales des conduits aux deux angles mentionnés.

On rapporte la mesure i au tronçon principal depuis le bord femelle et perpendiculairement à celui-ci. Cela permet de tracer une ligne de coupe de $22,5^\circ$ à partir du point final.

À la différence de la ramification double pour laquelle les trois pièces sont assemblées par collage sur des bords droits après découpe, nous assemblons ici le tronçon qui ne change pas de direction par un emboîtement mâle/femelle en réalisant deux petites entailles sur cette dernière.

Le tronçon formant le "r" est quand à lui assemblé à bord droit par collage.

Il ne reste plus qu'à agraffer puis poser et lisser la bande aluminium.

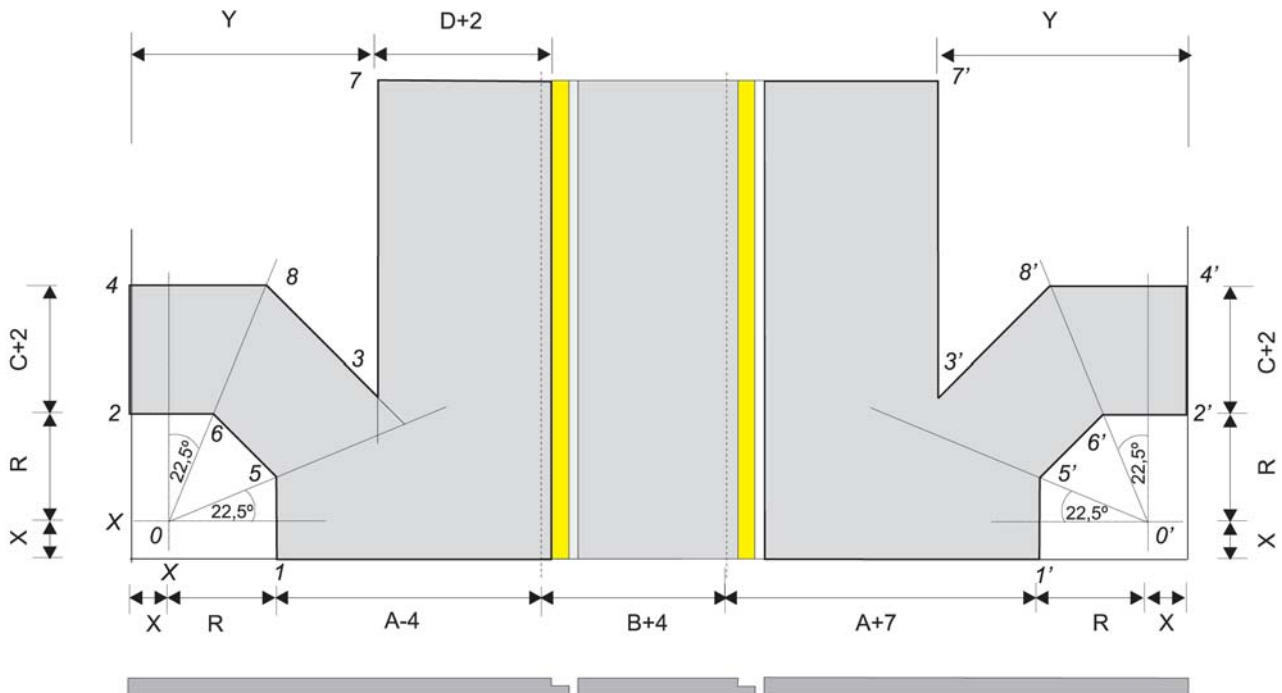


10.3.3.2 Ramifications en "r" par recouvrement

On utilise la ramification simple en "r" lorsqu'une partie du débit suit la direction initiale tandis que la partie restante est déviée de 90°. Pour une bonne distribution de l'air, la somme des sections de sorties doit être inférieure ou égale à la section d'entrée.

Les dimensions des bouches sont les suivantes : entrée (principale) $A \times B$, sortie (recto, côté femelle) $D \times B$ et $C \times B$ (ramification, femelle). On prend comme longueur de la ramification principale L cm.

10.3.3.2.1. Ramification simple en U et recouvrement



Le tracé du profilé en U se fait de la même façon que pour un conduit droit, en prenant comme mesures celles du conduit droit $(X+R+A) \times B$. Sur les côtés du conduit, on dessine les coudes qui correspondront à la ramification.

En traçant le premier coude, on obtient les points 0-1-2-4-5-6 et 8. On rapporte ensuite ces points sur l'autre aile pour obtenir les points symétriques 0'-1'-2'-4'-5'-6' et 8'.

Le point 7 à la sortie du tronçon droit s'obtient en mesurant $D + 2$ cm à partir de la coupe faite à la base du profilé U avec le rabot ROUGE. On réalise également le point symétrique 7'. On trace des perpendiculaires au panneau à partir des points 7 et 7'. On obtient le point 3 en croisant cette ligne (7) avec la parallèle de la droite 5-6 qui part du point 8 et la droite qui commence en 7. On effectue la même opération avec les points symétriques pour obtenir le point 3'.

On coupe finalement le panneau selon les lignes 7-3-8-4 et 2-6-5-1 et les lignes symétriques. On assemble ensuite les bouches $(C + 2)$.

Le recouvrement se compose des parties suivantes : Recouvrement inférieur (en une pièce) et recouvrement supérieur (en deux pièces).

Le recouvrement inférieur doit être tracé de la même façon qu'un recouvrement inférieur de coude, d'une distance cumulée de la mesure des points 1 à 5 + 5 à 6 + 6 à 2 + 2 cm.

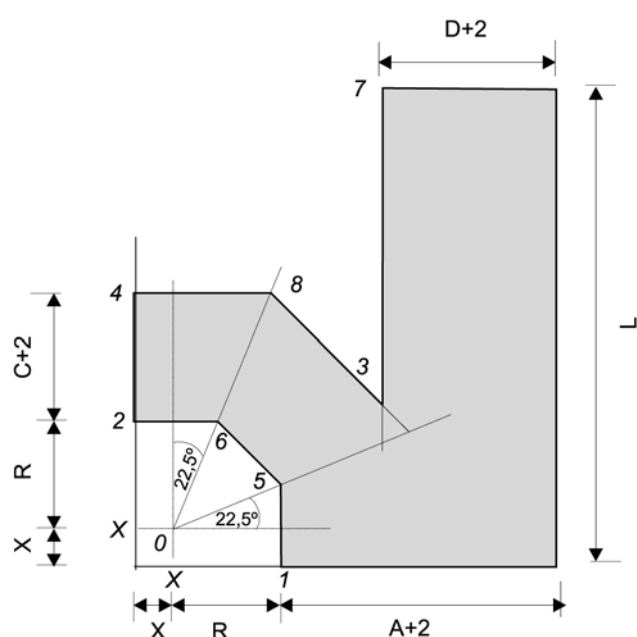
Une entaille extérieure est réalisée sur les points 5 et 6 de manière à pouvoir plier le panneau.

Le recouvrement supérieur, composé de deux parties, est réalisé de la même façon que pour la ramification, les distances dans ce cas étant les suivantes :

- Une partie de la longueur est égale à celle du segment 3 à 7
- L'autre partie est égale aux longueurs cumulées des segments 3 à 8 + 8 à 4 + 1 cm avec cette fois-ci une entaille intérieure au niveau du point 8
- Dans les deux cas, on doit couper à biseau les extrémités des côtés correspondant au point 3.

Il convient de faire cette ramification en utilisant comme longueur L la largeur du panneau CLIMAVER A2 de 1,19 m, de façon à optimiser les chutes.

10.3.3.2 Ramification simple de 4 pièces



Cette ramification se compose des pièces suivantes : deux pièces de base avec la forme d'une ramification simple, un recouvrement latéral droit ainsi que deux recouvrements pour les parties inférieure et supérieure de la bifurcation en "r".

Pour les recouvrements, il faut suivre les explications du paragraphe 3.2.1, sauf pour la bouche de sortie. Celle-ci s'obtient, en mesurant depuis le bord droit la distance $D + 2$ cm ainsi que les points 3 et 3' qui s'obtiennent en suivant les explications du paragraphe précédent.

L'autre recouvrement s'obtient de façon symétrique.

Quant aux enveloppants, on suit les indications du paragraphe précédent pour l'enveloppant supérieur, les indications du paragraphe 3.1.3 pour l'enveloppant droit et les indications du paragraphe 1.2.3 pour l'enveloppant inférieur.

10.3.4 Réductions

On appelle réduction tout changement dans la section du conduit.

Les réductions sont les seules figures réalisées avec la Méthode dite "*par recouvrement*".

Les profils du SYSTÈME CLIMAVER A2 doivent être coupés au niveau des entailles afin d'être cintrés et posés pendant l'assemblage des pièces.

Il y a différents types de réductions en fonction du nombre de plans à réduire (2, 3 ou 4 faces) et de la position relative des bouches d'entrée et de sortie (centrée ou non).

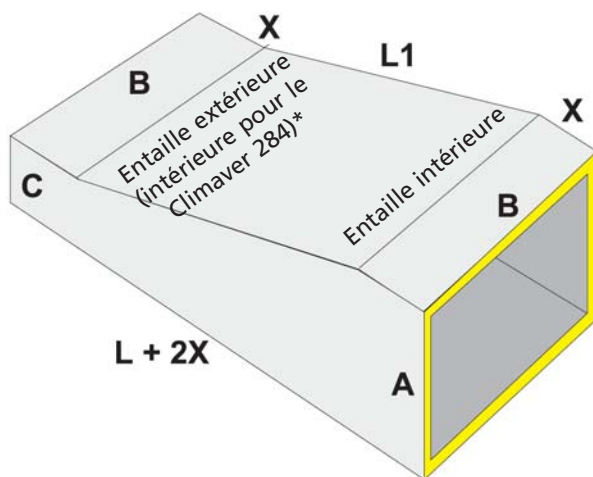
Il convient de souligner les caractéristiques des tracés détaillés par la suite :

- Il faut toujours laisser une partie droite x face à la connexion de la réduction à la figure ou tronçon droit contigus (avec $x \geq 10$ cm) dans les deux bouches.
- À chaque fois que c'est possible, il faut commencer le tracé par le recouvrement plan, afin qu'il serve de guide au reste du tracé.

- Tous les enveloppants (ou pièces avec pli) doivent avoir une coupe transversale avec un angle fermé et un angle ouvert, afin d'éviter toute augmentation de longueur des enveloppants pour les plis. On compense cependant les mesures.
- On appelle "entaille intérieure" la coupe en biseau, avec extraction de la chute, faite à l'intérieur du conduit et procurant un angle fermé.
- On appelle "entaille extérieure" la coupe en biseau avec extraction de la chute faite sur la face externe du conduit et procurant un angle ouvert. Les parties ombragées qui apparaissent sur les figures correspondent aux entailles et marges.
- Tant que les longueurs des recouvrements et des pièces de base ne peuvent être obtenues par une mesure directe sur la figure, il faut les calculer selon le théorème de Pythagore suivant (longueur du tronçon et différence entre les hauteurs) :

$$\text{Longueur} = \sqrt{(\text{différence entre les hauteurs})^2 + \text{longueur basse}^2}$$

10.3.4.1 Réduction par une face



* Ceci reste valable pour toutes les pièces suivantes.

et de la différence de hauteurs, selon les explications données. Enfin, on fait une entaille intérieure à X cm de l'entrée et une entaille extérieure (intérieure pour CLIMAVÉR **284**) à X cm de la sortie. On utilise le rabot BLEU pour la coupe et on laisse une marge correspondant au revêtement extérieur.

Il s'agit de passer d'une section A x B à une section C x B en gardant trois faces planes. Le tracé se fait de deux façons : en U (+ couvercle) ou en quatre pièces.

3.4.1.1 Réduction par une face en U et recouvrement

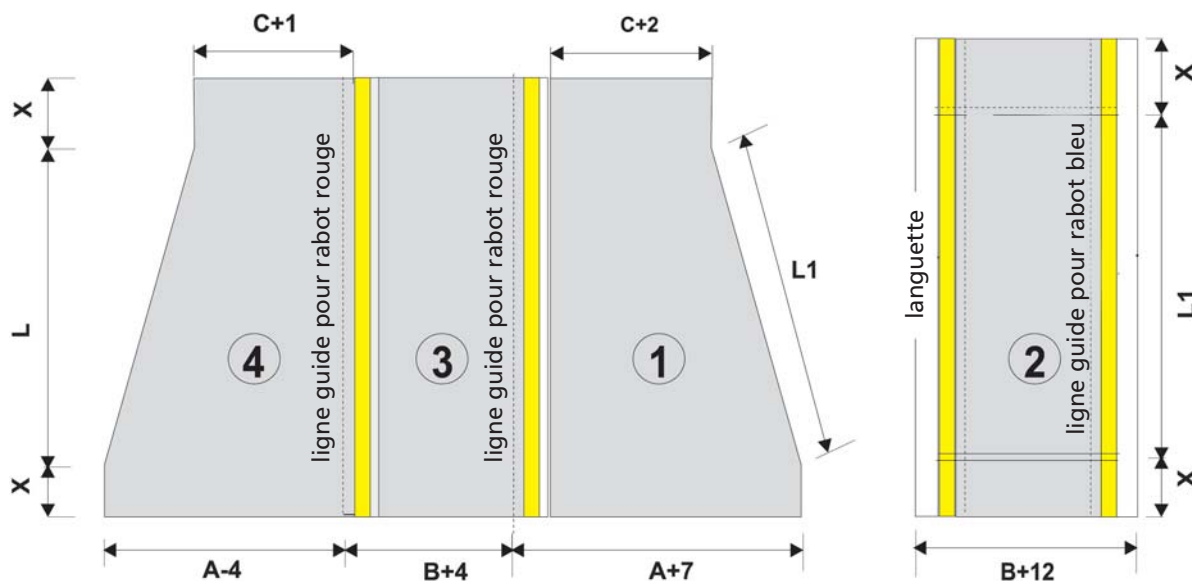
Pour la construction, nous commencerons par la réalisation du profilé en U pour un conduit droit de A x B et d'une longueur X + L + X, selon les indications du paragraphe 3.1.3.

Dans la partie supérieure du panneau, on note la mesure C + 2 de la bouche de sortie à partir de la coupe faite avec le rabot ROUGE, dans les ailes droite et gauche. Pour les points ainsi obtenus, on trace deux perpendiculaires au bord du panneau de X cm de longueur qui, comme précisé, sera au moins de 10 cm.

Quant à l'enveloppant, la largeur est de B + 12 cm et la longueur de X + L1 + X où L1 s'obtient à partir de L

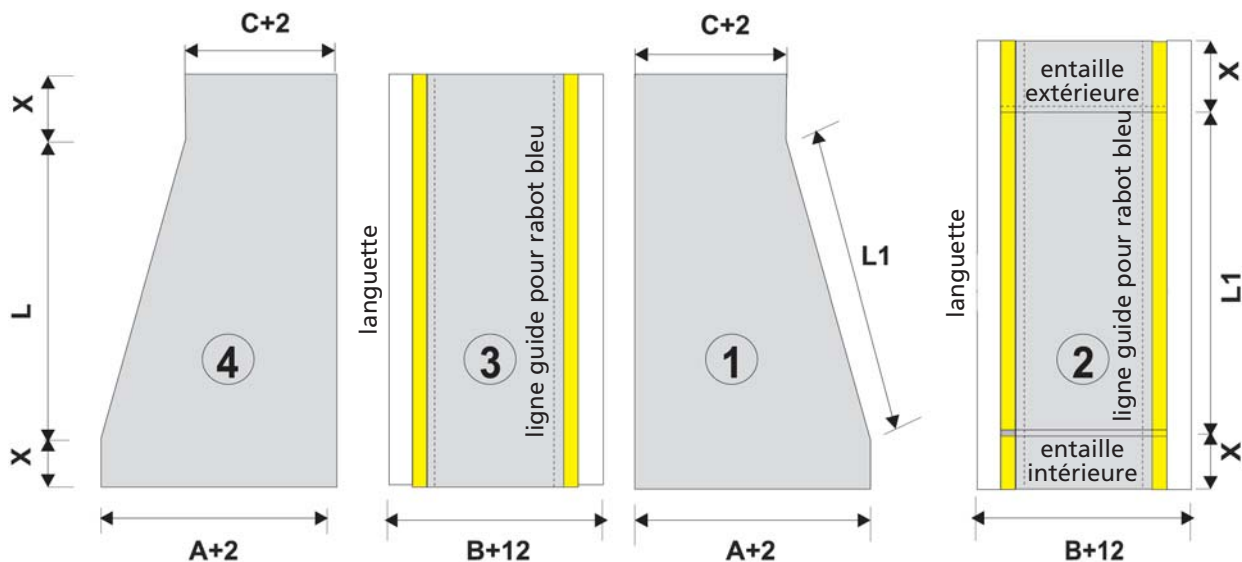
Pour obtenir les pièces, on suit la méthode employée tout au long de ce manuel, en ajoutant 2 cm de longueur sur les pièces des côtés de la réduction et 12 cm sur les recouvrements.

Dans ce cas, seule la pièce N° 2 n'est pas plane, et c'est donc sur cette pièce l'on doit appliquer le théorème de Pythagore pour obtenir sa hauteur totale.

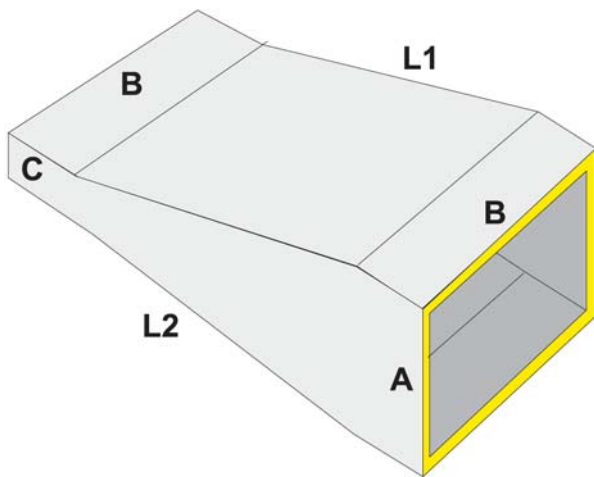


10.3.4.1.2 Réduction par une face en 4 pièces

Il est important de bien suivre l'ordre dans la fabrication des pièces pour minimiser les erreurs de calcul soit : En premier les pièces 1 et 4, puis la pièce N° 2 et enfin le recouvrement N° 3.



10.3.4.2 Réduction par deux faces en largeur

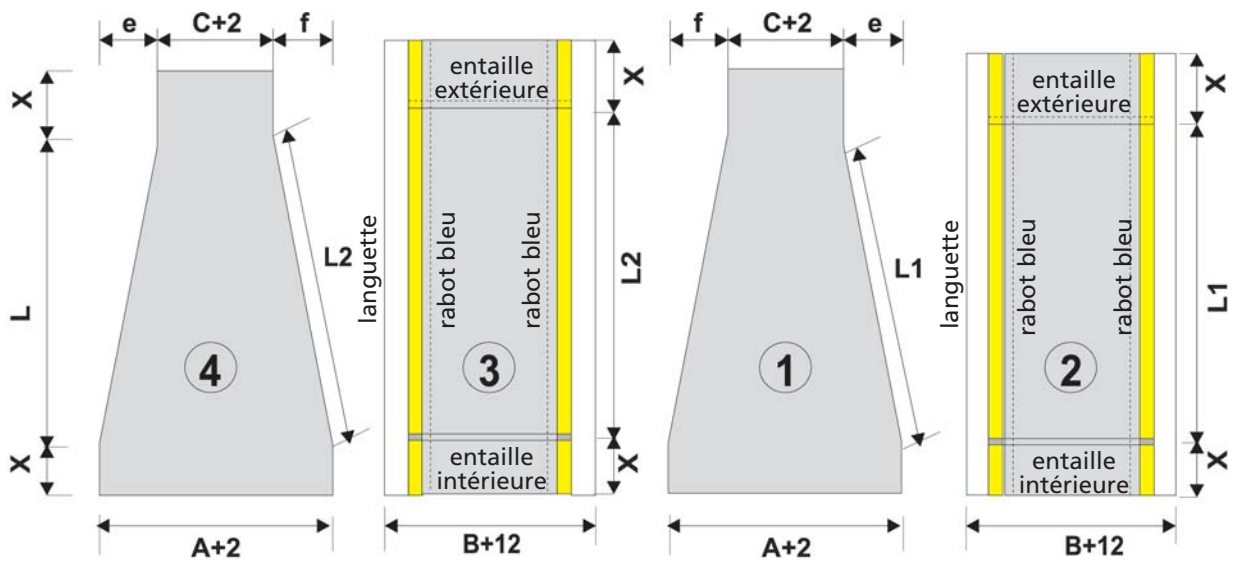


Il s'agit d'une réduction d'une seule dimension, passant d'une section d'entrée $A \times B$ à une autre section $C \times B$. Dans ce cas, à la différence de l'exemple précédent, aucun des recouvrements ne reste plan.

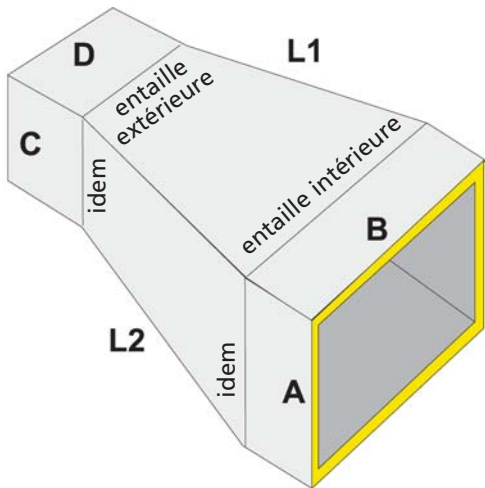
De cette manière, on peut avoir des sorties centrées par rapport à l'entrée. Dans le cas étudié, on obtiendra une sortie centrée si la valeur de "e" est égale à "f".

Cette pièce est composée de quatre parties.

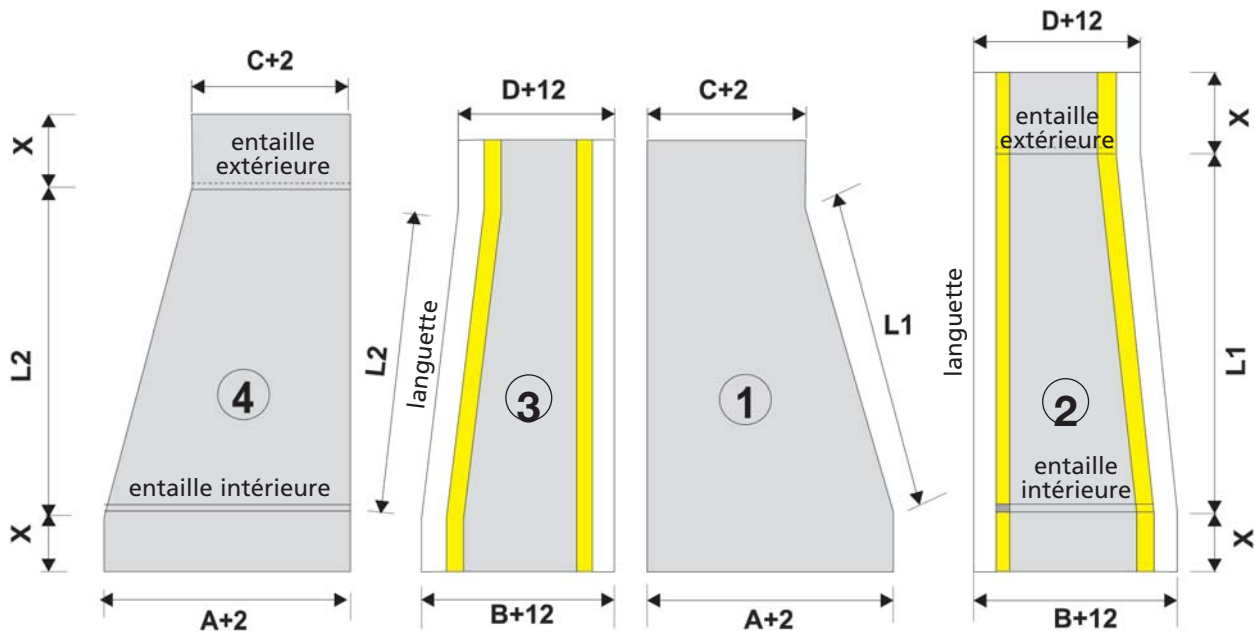
Le tracé est très similaire à celui du paragraphe 3.4.1.2 bien qu'il n'y ait pas de recouvrements plans et que le N° 2 a comme longueur $X + L1 + X$ et le N° 3 comme longueur $X + L2 + X$. Il ne faut pas oublier de réaliser les entailles dans les deux recouvrements pour qu'ils puissent correctement être pliés.



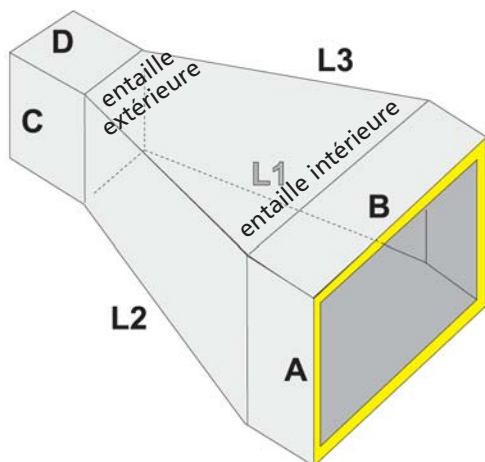
10.3.4.3 Réduction par deux faces en hauteur et en largeur



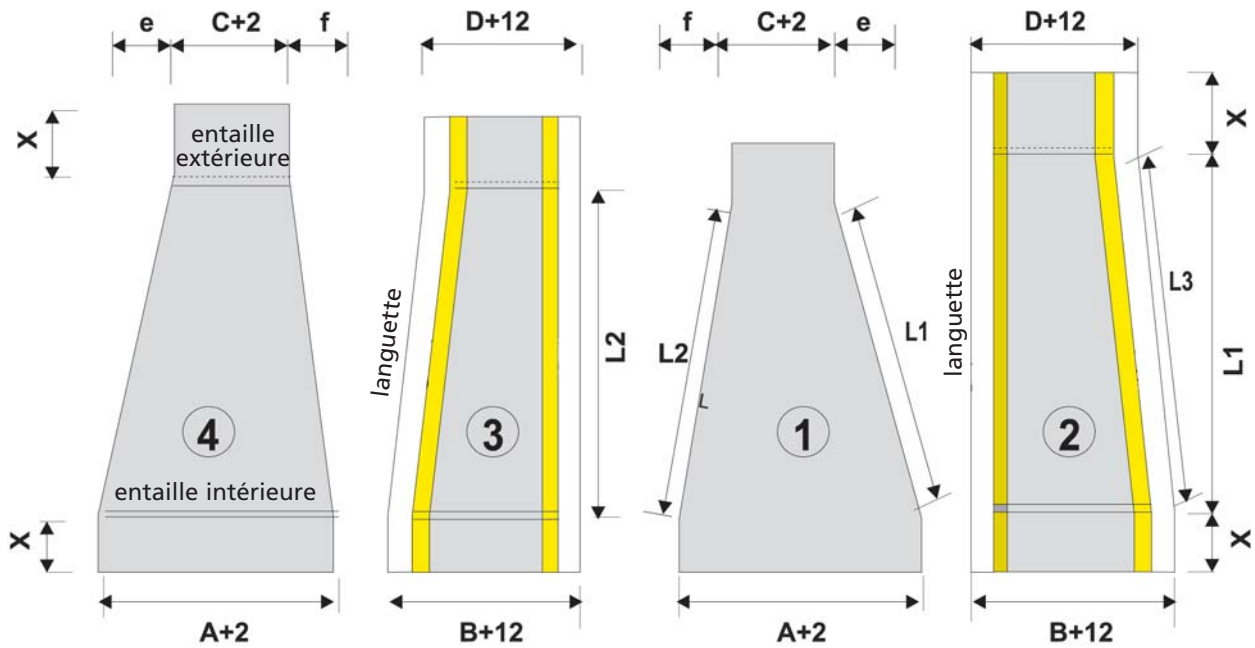
Il s'agit d'une réduction des deux dimensions, passant d'une section d'entrée $A \times B$ à une autre section $C \times D$. Cette pièce doit être composée de quatre parties. Dans ce cas, on garde les deux faces 1 et 3 planes, puis on réalise des entailles sur les recouvrements opposés 2 et 4. Le procédé de construction est très similaire à celui des pièces précédentes. Sa réalisation, faite à partir du schéma ci-joint sur lequel se trouve le tracé de la pièce, ne doit présenter aucune difficulté.



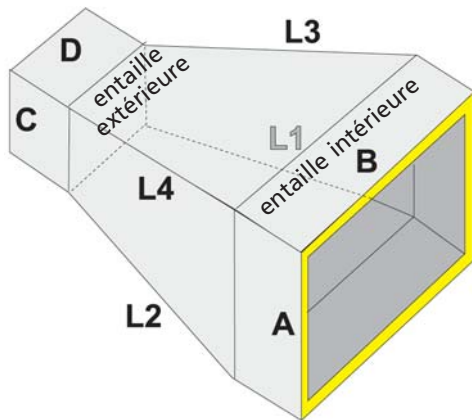
10.3.4.4 Réduction par trois faces



Il s'agit d'une réduction des deux dimensions de la section d'entrée, passant de $A \times B$ à une autre section $C \times D$ avec, à la seule différence de la figure précédente, une seule face plane. Pour les 3 autres pièces qui doivent être pliées et afin d'obtenir de bonnes performances, il est nécessaire de réaliser des entailles extérieures et intérieures.

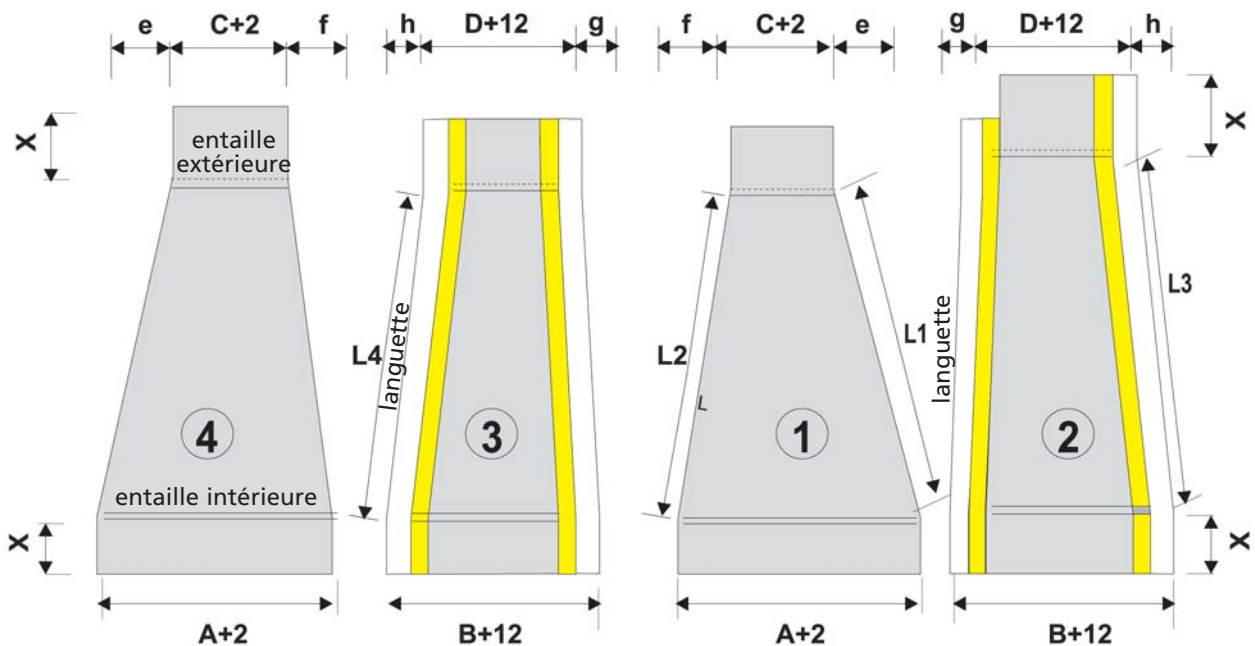


10.3.4.5 Réduction par quatre faces



Il s'agit d'une réduction passant d'une section d'entrée $A \times B$ à une autre section de sortie $C \times D$ avec, à la seule différence de la figure précédente, qu'aucune face n'est plane. On peut obtenir par cette construction des réductions en largueurs et hauteurs afin que la sortie reste centrée par rapport à l'entrée. Il suffit pour cela que les mesures "e" et "f" et "g" et "h" du schéma soient égales. Dans le cas contraire, on peut appliquer des réductions sur les quatre faces non centrées.

Les 4 pièces doivent être pliées. Afin d'obtenir de bonnes performances, il est nécessaire de réaliser des entailles extérieures et intérieures.

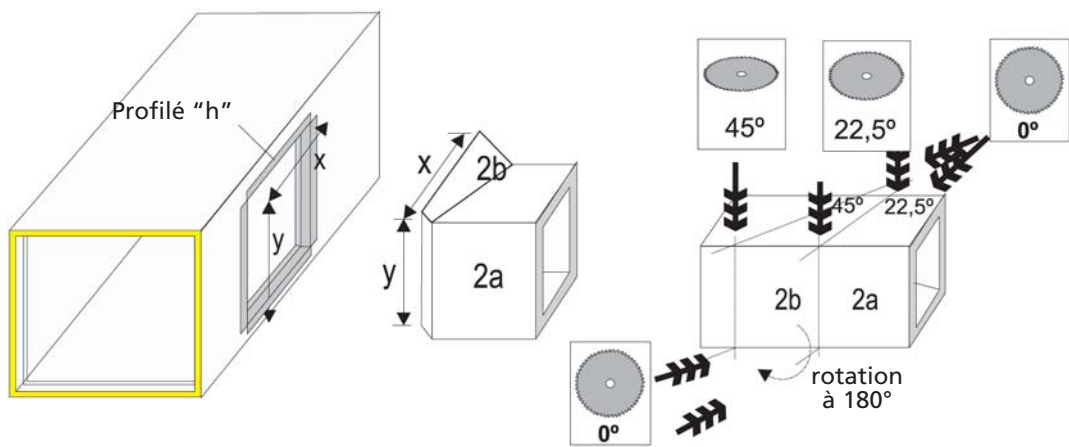


10.3.5 Autres pièces

10.3.5.1 Ramification d'un conduit par une des quatre faces ou "piquage"

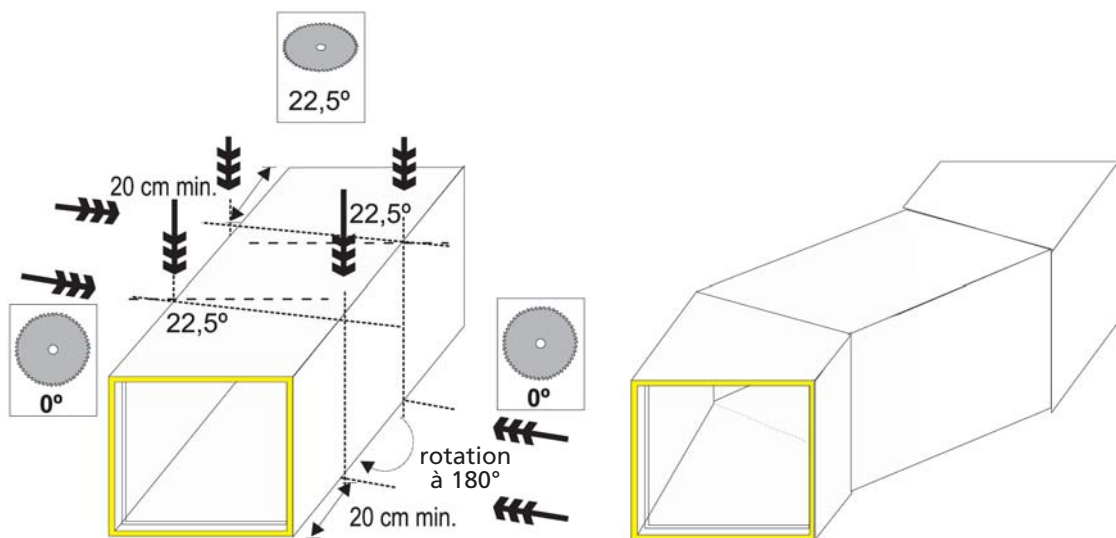
Bien que ce type de ramification ne soit pas conseillé, il peut être utile pour des connections à diffuseurs, grilles et autres éléments, de façon simple et rapide. La construction peut se faire par pièces avec la méthode dite des "tronçons droits" ou bien par la méthode dite "en U et recouvrement". Le schéma suivant explique le tracé avec la méthode dite des "tronçons droits".

Pour cela, on utilise le principe de la trappe de visite (voir paragraphe 7.7) en réalisant un cadre d'une dimension $x * y$ dans le conduit principal, grâce aux profilés en "h". Il ne reste plus qu'à encaster notre ramification dans la réservation ainsi faite, puis à poser et lisser la bande aluminium sur le pourtour de la jonction.



10.3.5.2 Déviation

Il s'agit d'une pièce permettant d'éviter les obstacles qui pourraient se présenter sur le trajet d'un conduit droit. Le conduit conserve une section constante tout le long de sa trajectoire. Le schéma suivant explique comment obtenir un tel tracé.

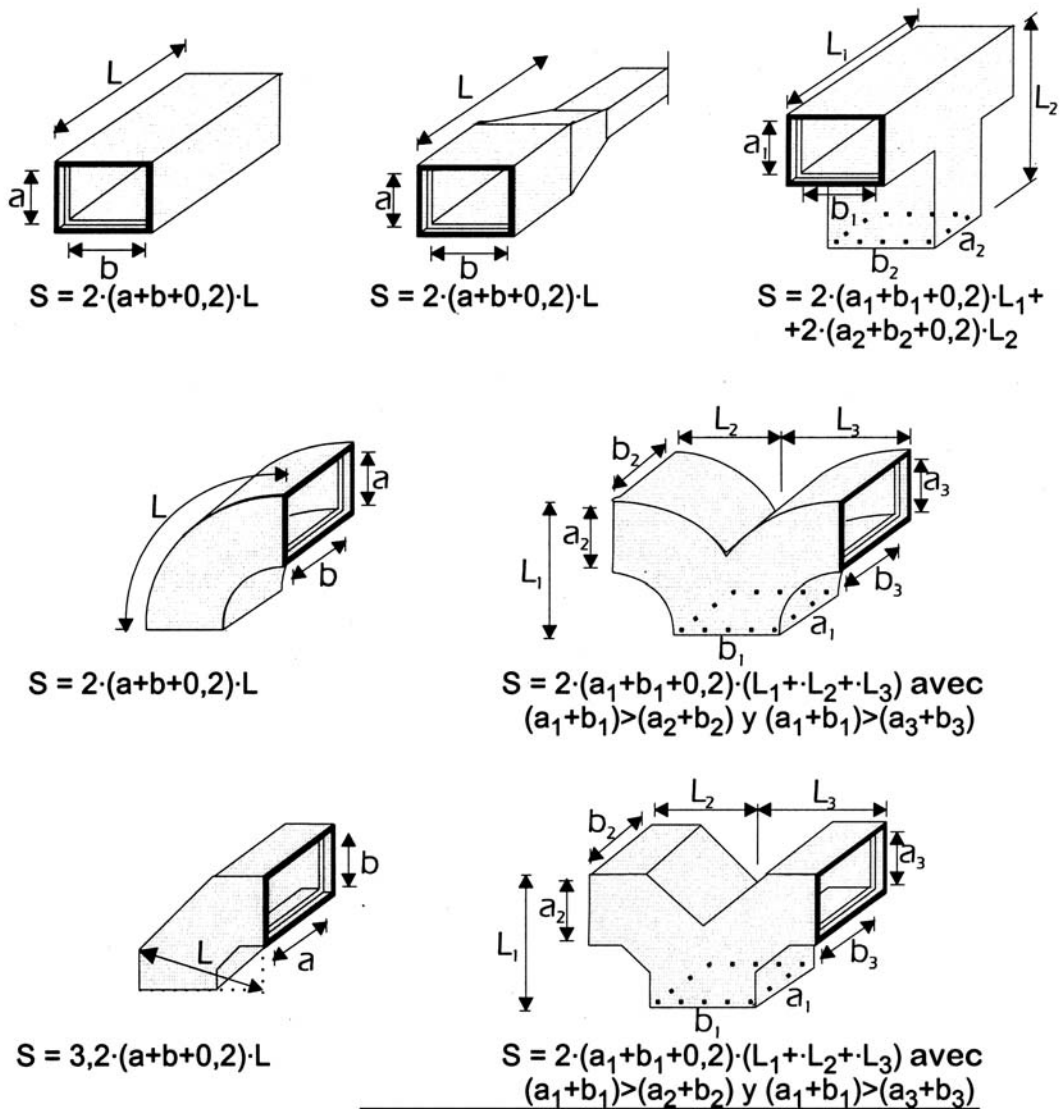


10.4 SURFACES DE PRODUIT NÉCESSAIRES À LA RÉALISATION DES DIFFÉRENTES PIÈCES COURANTES

Afin de réaliser une estimation quantitative, en m², des consommations de panneau gaine nécessaire pour le façonnage des différentes pièces, il est possible d'utiliser les formules ci après.

Elles sont utilisables directement à partir de plans de distribution d'air faisant partie de l'installation d'air conditionné (chauffage ou ventilation).

Le schéma suivant montre les différentes formules de calcul en m en fonction des éléments. Les valeurs a et b correspondent aux mesures des cotes intérieurs des différentes sections. L'épaisseur du panneau gaine est toujours de 0,025 m.



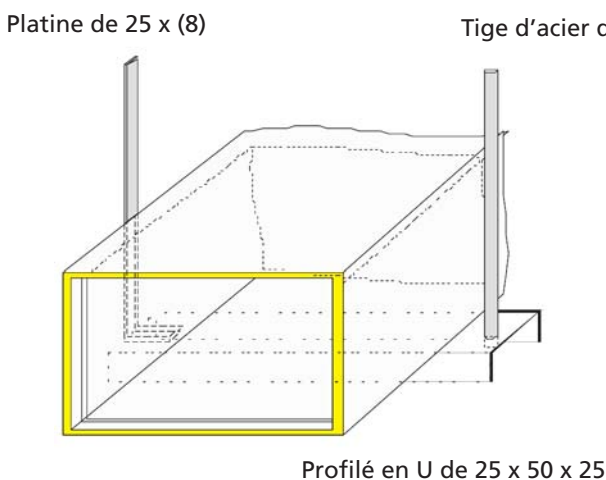
10.5 SUPPORTS POUR CONDUITS CLIMAVER

10.5.1 Supports pour conduits horizontaux

La distance maximale entre les supports de conduits horizontaux dépend de la mesure majeure des côtés de la coupe du conduit et sera conforme au tableau.

On ne peut pas faire coïncider plus de deux jonctions transversales entre supports, sauf quand le périmètre du conduit est inférieur à 2 m et qu'il n'y a pas de renfort.

Dimensions intérieures (mm)	Distances maxi (m)
< 900	2,4
900 à 1 500	1,8
> 1 500	1,2



Le moyen le plus utilisé pour supporter des conduits est le profilé horizontal en "U" de 25 x 50 x 25 mm de tôle galvanisée et de 8/10 mm d'épaisseur.

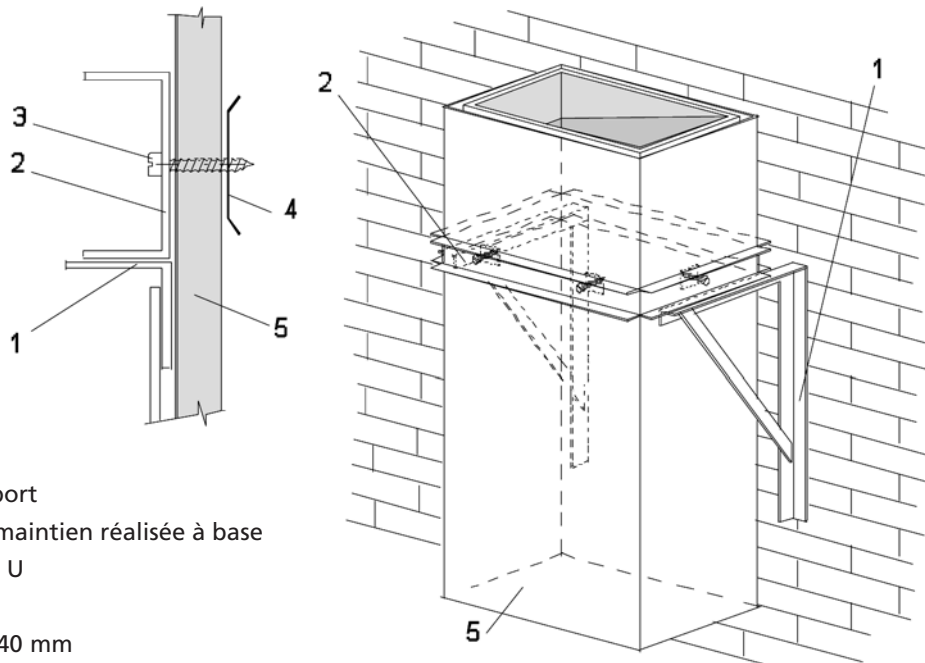
Quand le conduit est renforcé, le support doit coïncider avec le renfort tant que la distance maximale correspond à celle du tableau. Dans ce cas, les éléments verticaux du support sont liés et renforcés par deux fers plats et des vis.

10.5.2 Supports de conduits verticaux

Les supports verticaux sont placés à une distance maximale de 3 m.

Quand le conduit est supporté par une paroi verticale, l'ancrage doit coïncider avec le renfort. Dans ce cas, il faut installer un manchon de tôle fixé au renfort.

Le support se fait avec un profilé angulaire minimum de 30 x 30 x 3 (en mm).



- 1 – Équerre support
- 2 – Ceinture de maintien réalisée à base de profilé en U
- 3 – Vis
- 4 – Rondelle de 40 mm
- 5 – Panneau CLIMAVÉR

10.6 RENFORTS POUR CONDUITS ET ASSEMBLAGES

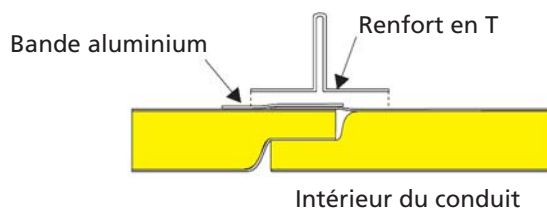
10.6.1 Renforts extérieurs transversaux en "U" et en "T"

Les renforts extérieurs peuvent être de trois types :

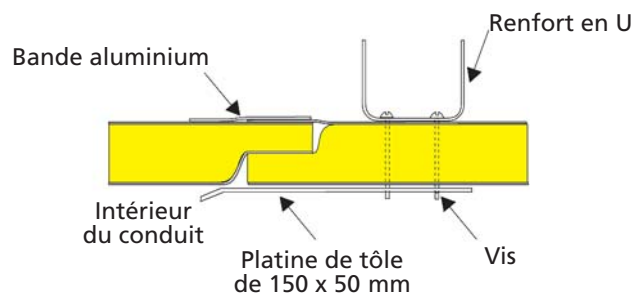
- en forme de U avec 80 mm de base et une hauteur comprise entre 25 et 50 mm
- en forme de T inversé composé par deux angulaires ou par un permanent, avec 80 mm de base et une hauteur comprise entre 25 et 50 mm
- les épaisseurs nominales de tôle sont de 0,8 mm ou 1,2 mm. Les jonctions de profilés se font par vis, rivet ou points de soudure

Les tableaux suivants permettent de calculer le nombre et le type de renfort, en fonction de la taille du conduit et du niveau de pression de l'air au travail.

PRESSION POSITIVE



PRESSION NÉGATIVE



Les tableaux 1, 2 et 3 indiquent le type de renfort ainsi que la distance entre ces derniers, en fonction des différents paramètres

- Dimension intérieure maximum du conduit en mm
- Pour une flèche maximum de L/100
- Pression maximum de travail du conduit en Pa (Nous n'avons considéré que les pressions jusqu'à 500 Pa mais le système CLIMAVER A2 supporte des pressions supérieures à 800 Pa)

Pour le système CLIMAVER A2 et afin d'obtenir la meilleure aptitude au nettoyage, nous recommandons ce type de renfort plutôt que ceux par tiges filetées décrits dans le paragraphe suivant.

RENFORTS EXTÉRIEURS TABLEAU 1 : PRESSION MAXI = 150 Pa

Dimensions intérieures Maximales (mm)	CLIMAVER 284		CLIMAVER A2	
	Distance (m)		Distance (m)	
	0,6	1,2	0,6	1,2
≤ 375	•	•	•	•
376-450	•	•	•	•
451-600	•	•	•	•
601-750	•	•	•	•
751-900	•	•	•	•
901-1 050	(0,8) 25	■	•	•
1 051-1 200	(0,8) 25	■	⇒	(0,8) 25
1 201-1 500	(0,8) 25	■	⇒	(0,8) 25
1 501-1 800	(0,8) 25	■	⇒	(1,2) 25
1 801-2 100	(0,8) 25	■	⇒	(1,2) 30
2 101-2 400	(0,8) 30	■	⇒	(1,2) 40

Les valeurs entre parenthèses correspondent à l'épaisseur en mm de la tôle du profilé suivi de la hauteur de ce dernier

- Le conduit ne nécessite pas de renforts
- Le conduit peut ne pas avoir de renforts à cette distance
- ⇒ Le renfort peut être placé selon l'écartement supérieur

RENFORTS EXTÉRIEURS TABLEAU 2 : PRESSION MAXI = 250 Pa

Dimensions intérieures Maximales (mm)	CLIMAVÉR 284		CLIMAVÉR A2	
	Distance (m)		Distance (m)	
	0,6	1,2	0,6	1,2
≤ 375	•	•	•	•
376-450	•	•	•	•
451-600	•	•	•	•
601-750	(0,8) 25	■	•	•
751-900	(0,8) 25	■	•	•
901-1 050	(0,8) 25	■	⇒	(0,8) 25
1 051-1 200	(0,8) 25	■	⇒	(0,8) 30
1 201-1 500	(0,8) 25	■	(0,8) 25	■
1 501-1 800	(1,2) 25	■	(1,2) 25	■
1 801-2 100	(1,2) 30	■	(1,2) 25	■
2 101-2 400	(1,2) 30	■	(1,2) 30	■

RENFORTS EXTÉRIEURS TABLEAU 3 : PRESSION MAXI = 500 Pa

Dimensions intérieures Maximales (mm)	CLIMAVÉR 284		CLIMAVÉR A2	
	Distance (m)		Distance (m)	
	0,6	1,2	0,6	1,2
≤ 375	•	•	•	•
376-450	⇒	(0,8) 25	•	•
451-600	⇒	(0,8) 25	•	•
601-750	(0,8) 25	■	⇒	(0,8) 25
751-900	(0,8) 25	■	⇒	(0,8) 25
901-1 050	(0,8) 25	■	⇒	(0,8) 25
1 051-1 200	(0,8) 25	■	⇒	(0,8) 25
1 201-1 500	(0,8) 25	■	⇒	(0,8) 30
1 501-1 800	(1,2) 25	■	⇒	(1,2) 30
1 801-2 100	(1,2) 30	■	⇒	(1,2) 40
2 101-2 400	(1,2) 40	■	⇒	(1,2) 50

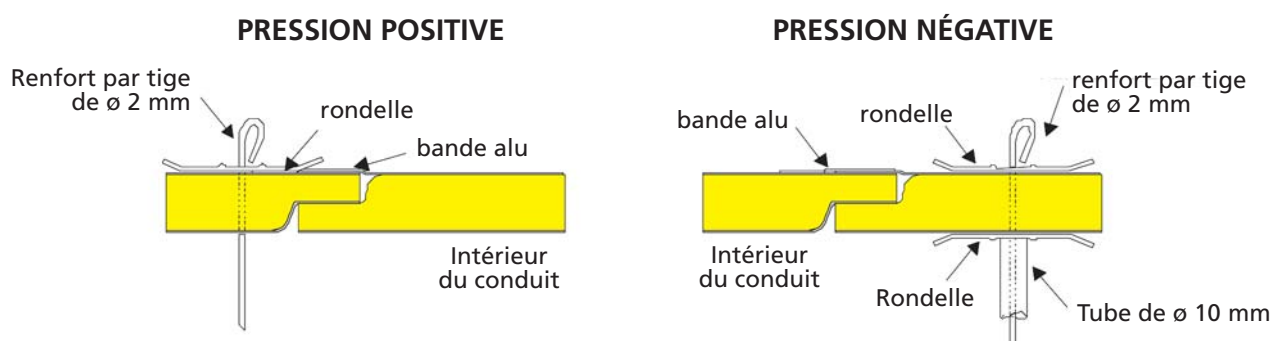
Pour les conduits avec une pression négative, on place une platine de tôle galvanisée de 50 x 150 mm d'environ 1 mm d'épaisseur fixé sur le renfort extérieur en U et cela tous les 40 cm (voir schéma page 115)

Pour les conduit avec une pression positive et de côté supérieur à 1,5 m, les renforts, les renforts se fixent au centre d'une rondelle de 75 mm de diamètre ou de 60 x 60 mm, positionné au centre du conduit.

10.6.2 Renforts de tiges d'acier galvanisé

On utilise des tiges de 2 mm de diamètre minimum, espacées de 400, 600 ou 1 200 mm.

Position des renforts par rapport aux unions transversales



Les tableaux 4, 5 et 6 nous donnent, en fonction de la dimension intérieure de la largeur du conduit, le nombre de tiges de renfort sur une section transversale et leur espacement longitudinal, selon le type de produit.

TABLEAU 4 : PRESSION MAXI = 125 Pa

Dimension intérieure du grand côté (mm)	nombre de tiges en section transversale	Type de panneau	
		CLIMAVER 284	CLIMAVER A2
≤ 375	•	•	•
376-450	1	•	•
451-600	1	•	•
601-750	1	•	•
751-800	1	•	•
801-900	2	•	•
901-1 050	2	600	•
1 051-1 200	2	600	1 200
1 201-1 500	3	600	1 200
1 501-1 600	3	600	1 200
1 601-2 000	4	600	1 200
2 001-2 400	5	600	1 200

• Le conduit ne nécessite pas de renforts

La distance entre les tiges de renforts sera égale à la dimension de la largeur divisée par leurs nombres, laissant les extrêmes à la moitié de la mesure des côtés contigus.

TABLEAU 5 : *PRESSION MAXI = 250 Pa*

Dimension intérieure du grand côté (mm)	nombre de tiges en section transversale	Type de panneau	
		CLIMAVER 284	CLIMAVER A2
≤ 375	•	•	•
376-450	1	•	•
451-600	1	•	•
601-750	1	600	•
751-800	1	600	1 200
801-900	2	600	1 200
901-1 050	2	600	1 200
1 051-1 200	2	600	1 200
1 201-1 500	3	600	600
1 501-1 600	3	600	600
1 601-2 000	4	600	600
2 001-2 400	5	600	600

• Le conduit ne nécessite pas de renforts

TABLEAU 6 : *PRESSION MAXI = 500 Pa*

Dimension intérieure du grand côté (mm)	nombre de tiges en section transversale	Type de panneau	
		CLIMAVER 284	CLIMAVER A2
≤ 375	•	•	•
376-450	1	600	•
451-600	1	600	•
601-750	1	400	600
751-800	1	400	600
801-900	2	400	600
901-1 050	2	400	600
1 051-1 200	2	400	600
1 201-1 500	3	400	600
1 501-1 600	3	400	600
1 601-2 000	4	400	600
2 001-2 400	5	400	600

• Le conduit ne nécessite pas de renforts

Quand le conduit possède une dimension supérieure à 1,5 m, il est nécessaire de mettre un tube de 10 mm de diamètre minimum (servant d'entretoise) avec quatre rondelles et une tige, comme indiqué à la page 36. Ceci afin d'éviter que le conduit ne fléchisse sous l'effet d'une dépression.

L'ensemble des renforts pour les pressions positives et les pressions négatives permettant d'éviter la déformation des conduits est un dispositif appelé antéflexion.

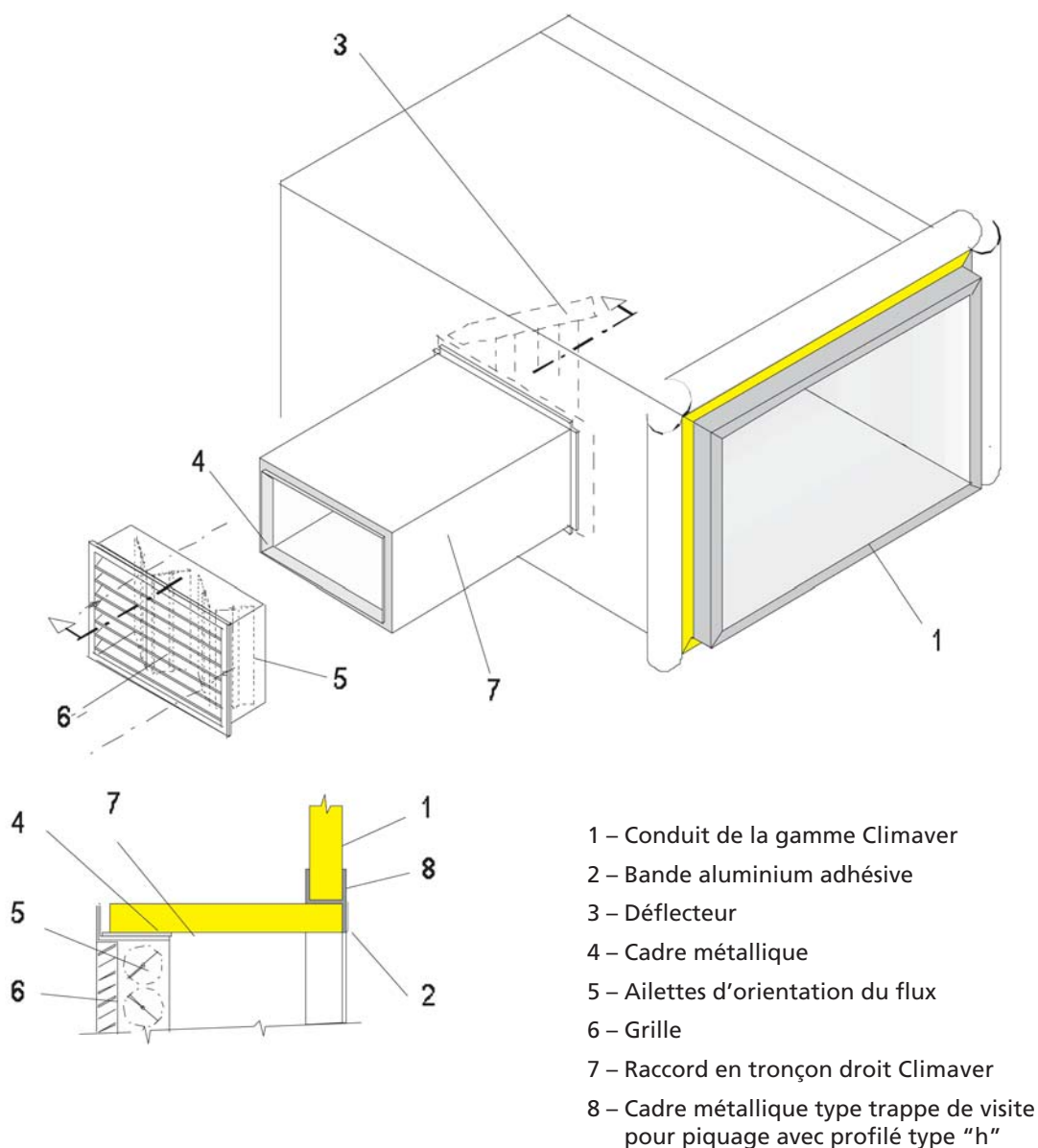
Il est important de bien noter la position correcte des tiges de renforts.

Pour les pressions positives, l'ensemble rondelle + tige se place sur la partie mâle du panneau au niveau de la jonction des tronçons.

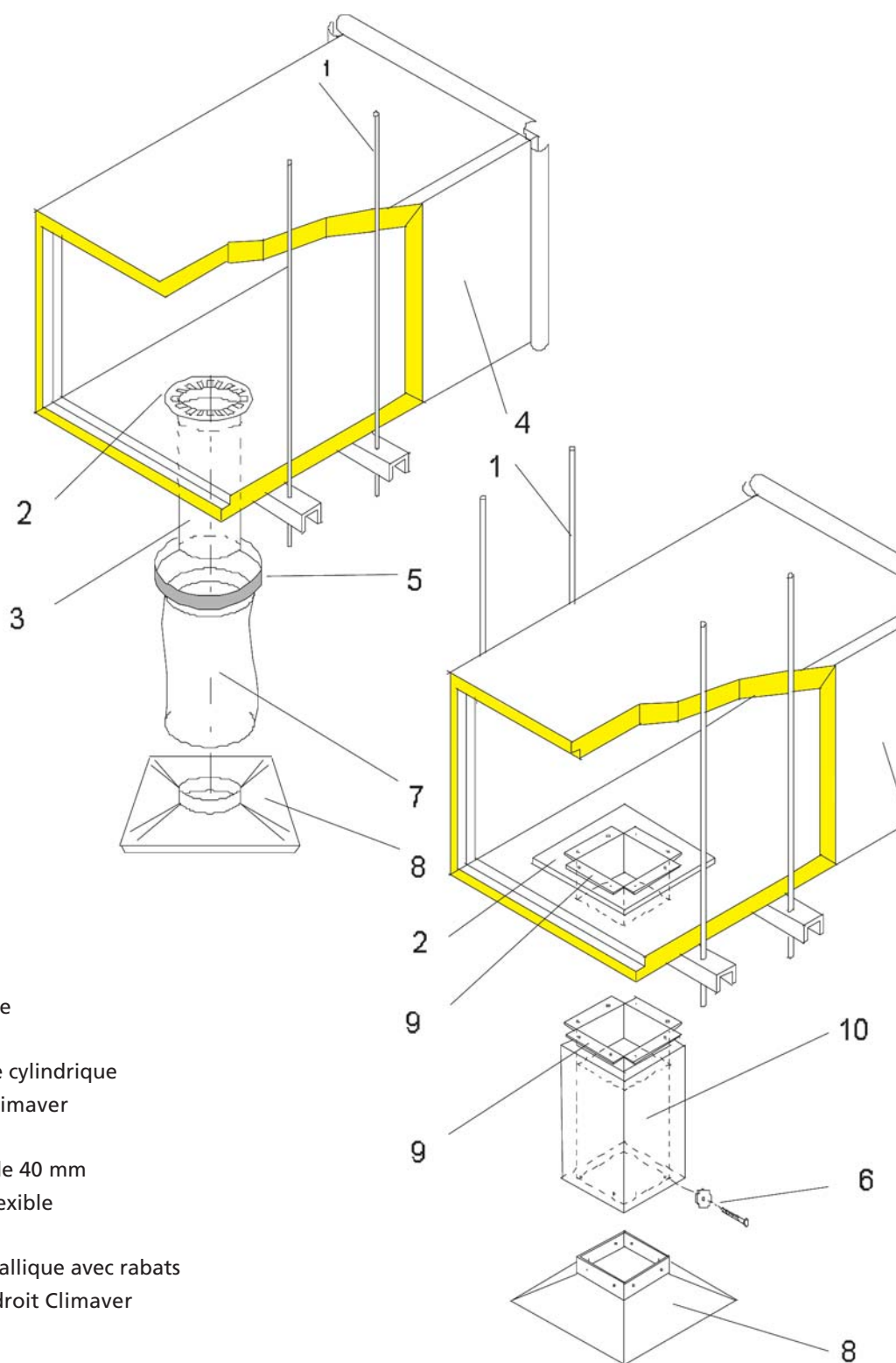
Pour les pressions négatives, l'ensemble rondelle + tige + entretoise se place sur la partie femelle du panneau au niveau de la jonction des tronçons.

10.7 CONNEXIONS

10.7.1 Connexion à une grille de soufflage

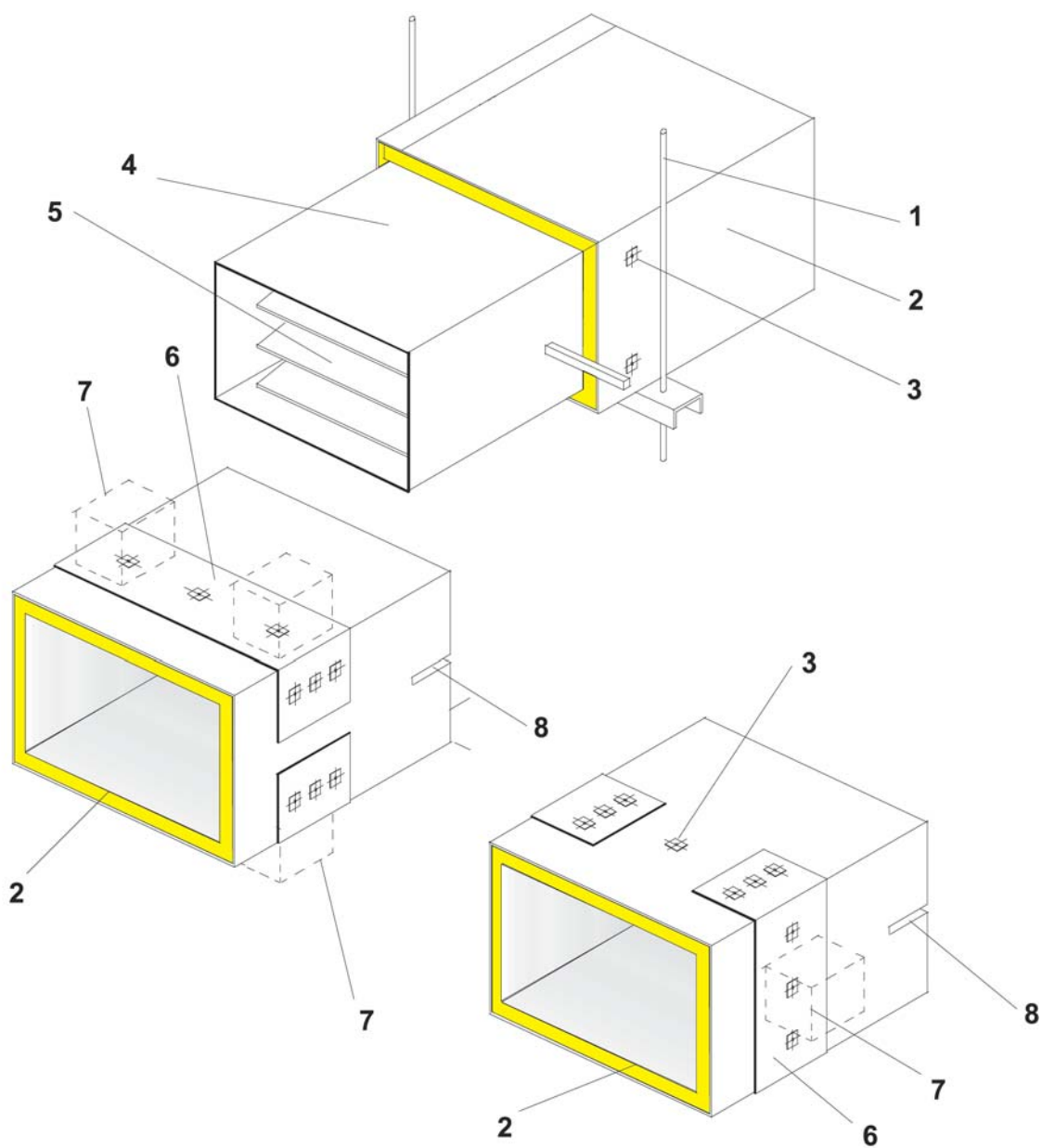


10.7.2 Connexion à un diffuseur



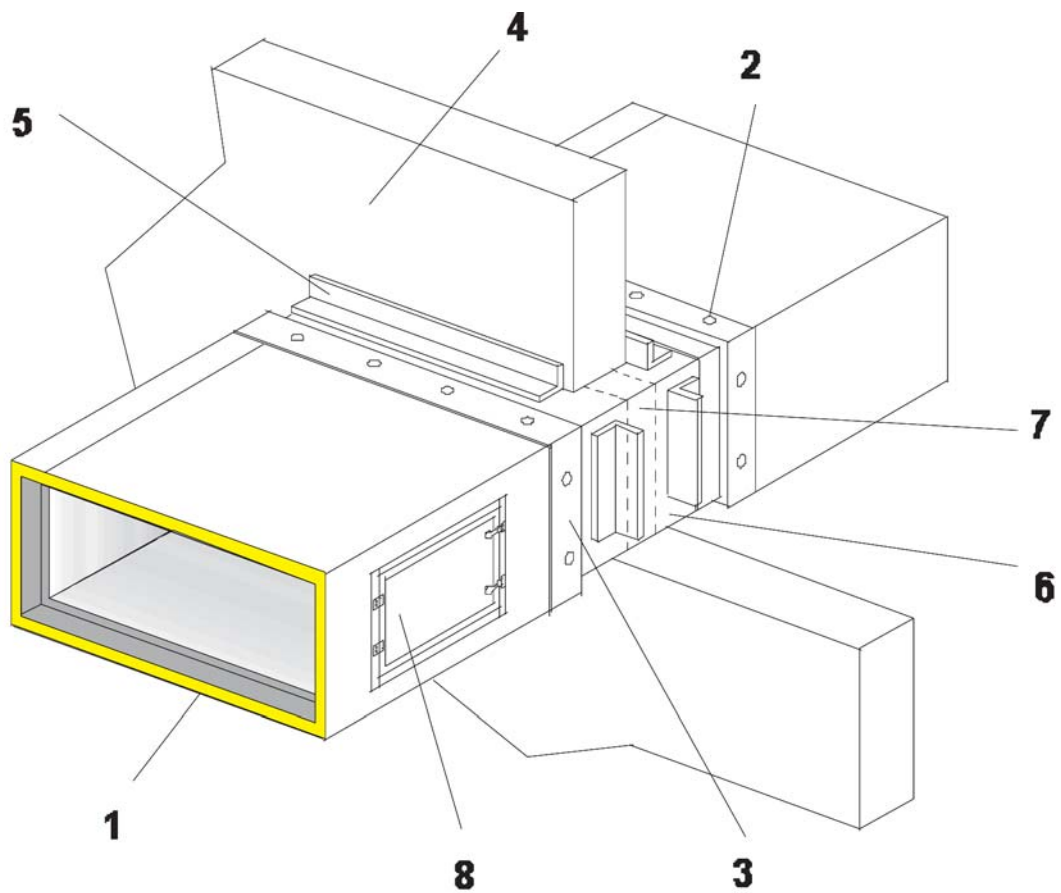
- 1 – Supportage
- 2 – Colerette
- 3 – Manchette cylindrique
- 4 – Conduit Climaver
- 5 – Collier
- 6 – Rondelle de 40 mm
- 7 – Conduit flexible
- 8 – Diffuseur
- 9 – Cadre métallique avec rabats
- 10 – Raccord droit Climaver

10.7.3 Connexion à un clapet

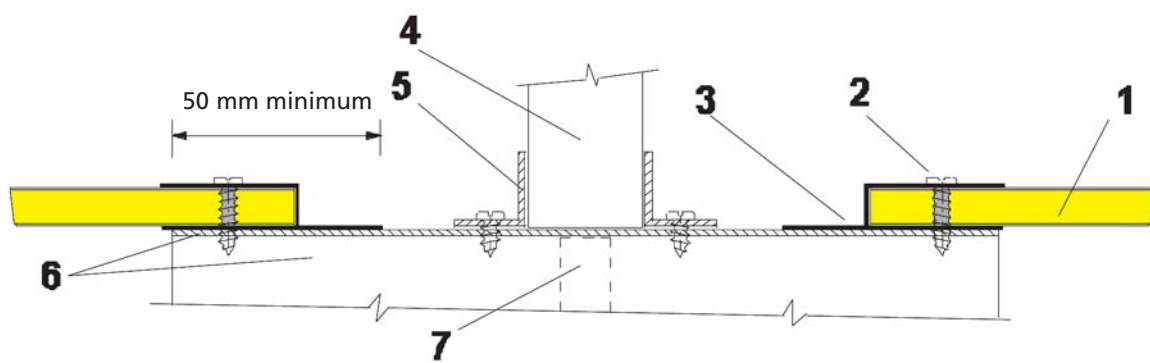


- 1 – Supportage
- 2 – Conduit de laine de verre Climaver
- 3 – Platine de 40 mm (ou rondelle)
- 4 – Corps métallique
- 5 – Clapets mobiles
- 6 – Supports pour moteur
- 7 – Servomoteur
- 8 – Rainure pour axe

10.7.4 Connexion à un clapet coupe feu



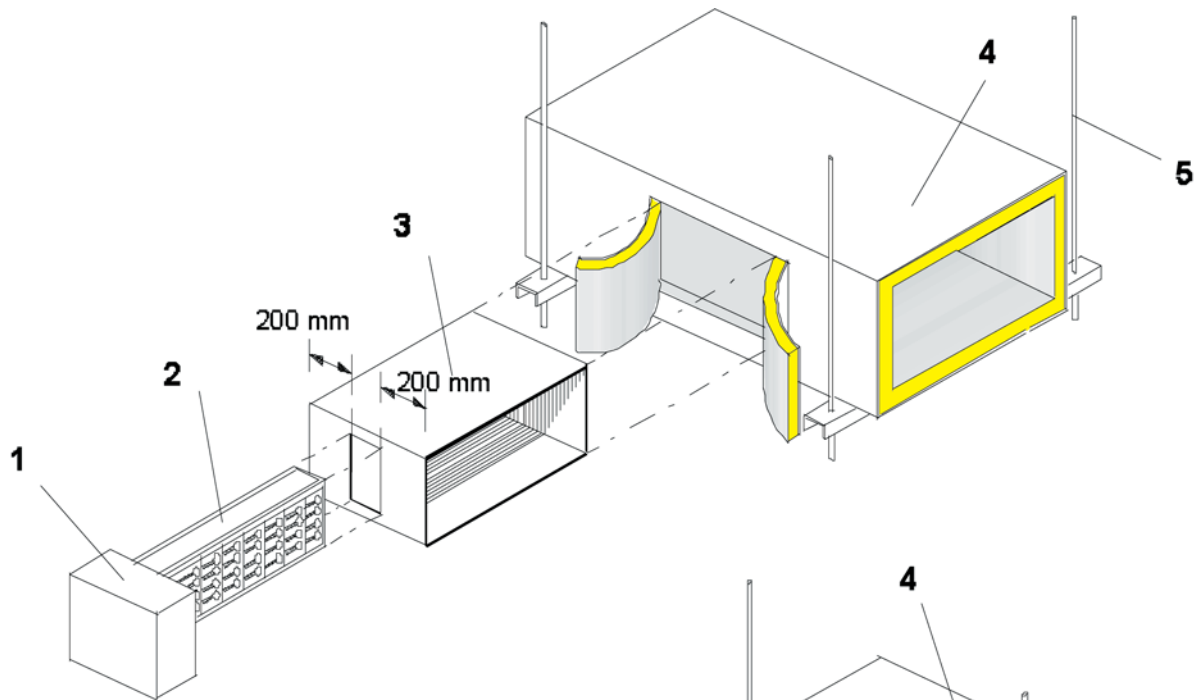
Détail de coupe



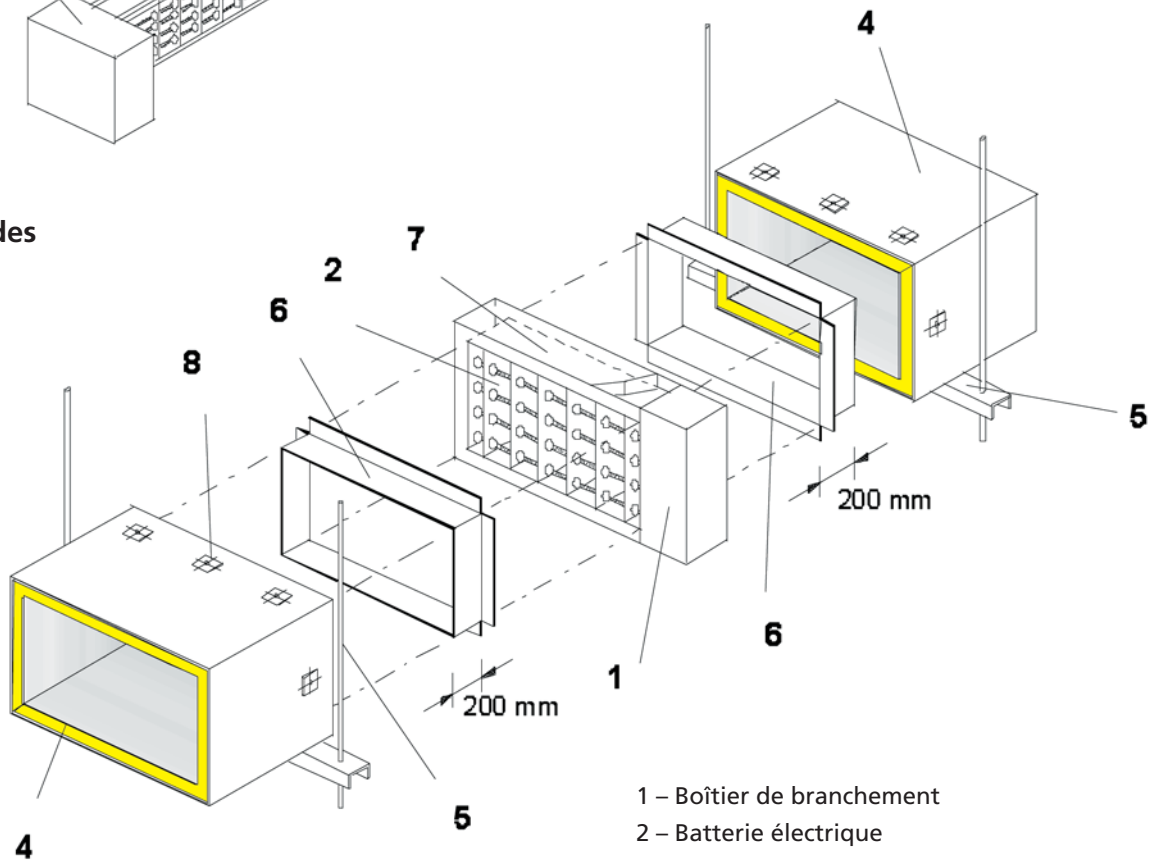
- 1 – Conduit de la gamme Climaver
- 2 – Vis
- 3 – Profilés Climaver type "h"
- 4 – Parois coupe feu
- 5 – Équerre métallique
- 6 – Manchon métallique
- 7 – Clapet coupe feu
- 8 – Trappe de visite

10.7.5 Connexion à une batterie chaude

A. coulissante

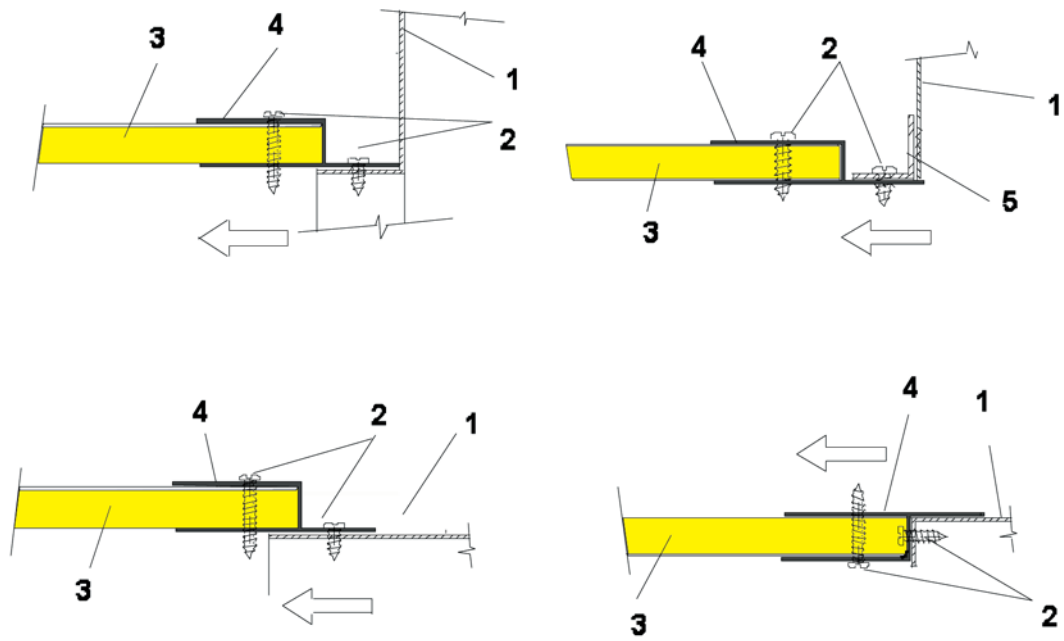


B. avec brides



- 1 – Boîtier de branchement
- 2 – Batterie électrique
- 3 – Caisson métallique
- 4 – Conduit de la gamme Climaver
- 5 – Supportage
- 6 – Cadre métallique
- 7 – Isolation thermique
- 8 – Rondelles de 40 mm de \varnothing

10.7.6 Connexion à des équipements



- 1 – Platine de raccord de l'équipement
- 2 – Vis autoforeuses
- 3 – Conduit de la gamme Climaver
- 4 – Profilé Climaver type "h"
- 5 – Profilé type équerre en tôle

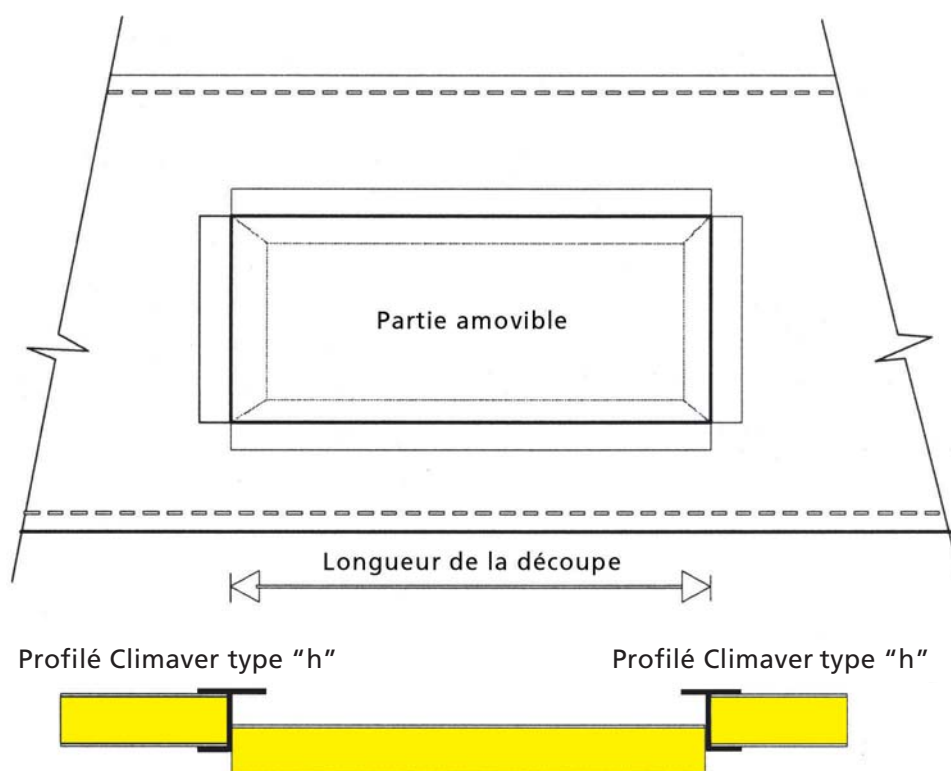
10.7.7 Porte d'accès

On découpe aux dimensions souhaitées le panneau gaine avec un simple couteau.

On découpe ensuite avec un angle de 45°, quatre longueurs de profilé aluminium en h aux dimensions de notre réservation.

Puis on vient emboîter nos profilés en prenant garde de positionner la partie en émergence des "mâchoires" de ces derniers, côté intérieur des conduits.

Il ne reste plus qu'à repositionner la partie préalablement découpée dans la trappe de visite ainsi réalisée et d'assurer le maintien et l'étanchéité de notre porte par la pose et le lissage d'une bande aluminium auto adhésive.

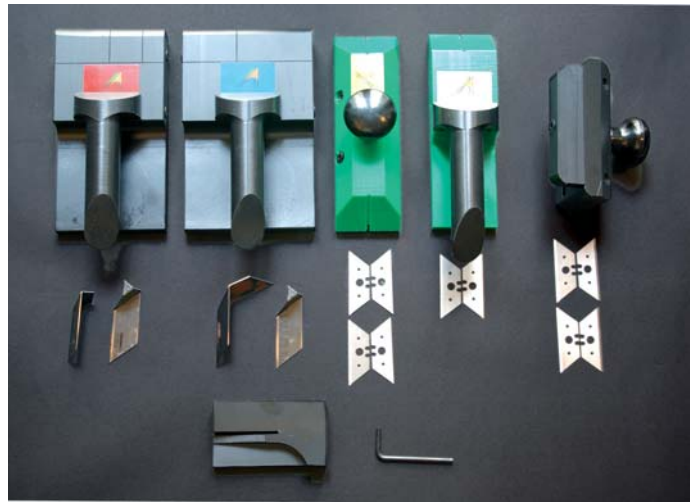


10.8 MALETTE DE RABOTS

10.8.1 Remplacement des lames de rabot

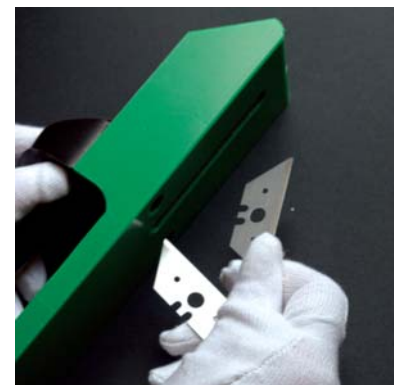
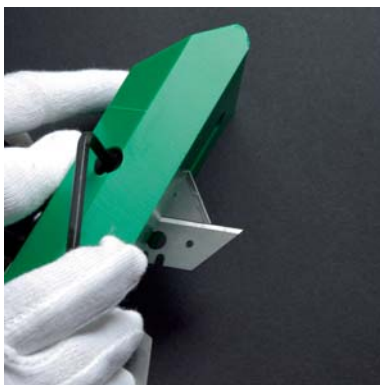
Attention ! Pour toutes les opérations décrites, il est recommandé d'utiliser des gants de sécurité.

Ensemble des rabots et accessoires disponibles :

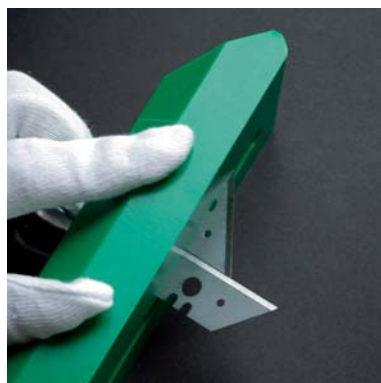


A. RABOTS DE DÉCOUPE (outils Blanc et Jaune)

1. Retirer les lames usagées en utilisant la clé Allen 4 mm équipant le coffret d'outils.



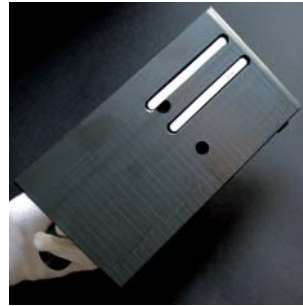
2. Mettre en place et ajuster les nouvelles lames en respectant leurs positions initiales.



B. RABOTS DE FAÇONNAGE (rabots Rouge, Bleu et Noir)

B.1 Rabots Rouge et Bleu

1. Retirer les lames usagées en utilisant la clé Allen 4 mm équipant le coffret d'outils.

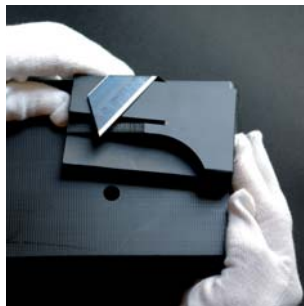


2. Prendre la cale blanche et la positionner en contact avec la "semelle" du rabot. A l'aide de ce gabarit, positionner puis ajuster les nouvelles lames comme indiqué sur les illustrations ci-dessous.

Rabot Rouge :



Rabot Bleu :



B.2 Rabot Noir :

1. Retirer les lames usagées en utilisant la clé Allen 4 mm puis mettre en place et ajuster les nouvelles lames en respectant leurs positions initiales.



Notes :

- Les rabots de découpe (Rouge et Bleu) utilisent des lames spécifiques (jeu de lames commercialisées en accessoires).
- Pour les autres outils (rabots Blanc, Jaune et Noir), il est possible d'utiliser des lames standards comme celles utilisées avec les "Cutter".



SAINT-GOBAIN ISOVER SA

Route de Payerne 1

1522 Lucens

021 906 01 11

isover.ch

