



**HAL**  
open science

# Machine de soudage à la molette pour les gaines circulaires

Élias Sarkis

► **To cite this version:**

Élias Sarkis. Machine de soudage à la molette pour les gaines circulaires. Génie mécanique [physics.class-ph]. 2012. dumas-01261691

**HAL Id: dumas-01261691**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01261691>**

Submitted on 25 Jan 2016

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Institut des Sciences Appliquées et Économiques - Université Libanaise

**ISAE –Cnam Liban**

Centre du Liban associé au Conservatoire national des arts et métiers - Paris



Projet de fin d'étude

Mécanique des structures et systèmes

## Machine de soudage à la molette pour les gaines circulaires



Présenté par : **SARKIS Elias**

Juin 2012

Jury : DR GEORGES VENIZELOS

DR TONY JABBOUR

DR NABIL ABDALLAH

MR JEAN PIERRE SAGHBINI

MR ELIE KHATER

Je remercie tous les membres du jury, Dr. VÉNIZÉLOS Georges, Dr JABBOUR Tony, et surtout Dr. ABDALLAH Nabil qui m'a beaucoup aidé à réaliser mon projet. Je n'oublie pas mes camarades de classe pour leurs respects et les bons moments qu'on a passés ensemble durant ces cinq années. Ce remerciement reste insuffisant si je ne remercie pas Mr. SAGHBINI Jean-pierre directeur général de la société MEG pour sa motivation et son soutien.

# Sommaire:

<b>Résumé</b> .....	p.5
<b>Abstract</b> .....	p.6
<b>Introduction</b> .....	p.7
<b>1. Chapitre 1: ventilation</b> .....	
<b>A- Comment ventiler?</b> .....	
1.1 les différents types d'installation de ventilation.....	
1.2 Les avantages et les inconvénients de la ventilation à alimentation mécanique.....	
1.3 Le principe de fonctionnement de la ventilation naturelle (système).....	
1.4 Installation de ventilation à alimentation mécanique (système B).....	
1.5 Installation de ventilation à extraction mécanique (système C).....	
1.6 Installation de ventilation à alimentation et extraction mécaniques (système D).....	
<b>B- Gaine de ventilation</b> .....	
1.7 Propriétés principales de conduits de ventilation rondes.....	
1.8 Données techniques.....	
<b>2. Chapitre 2: Soudage par résistance</b> .....	
2.1 Principe.....	
2.2 Différents procédés.....	
2.3 Soudage par points.....	
2.3.1 Principe.....	
2.3.2 Description d'une machine à souder.....	
2.3.3 Formation de la soudure.....	
2.3.4 Caractéristiques des soudures par points.....	
2.4 Soudage à la molette.....	
2.4.1 Principe.....	
2.4.2 Description d'une machine à souder à la molette.....	
2.4.3 Formation de la soudure.....	
2.4.4 Paramètres du soudage à la molette.....	
2.4.5 Caractéristiques des soudures à la molette.....	
2.5 Soudage par bossages.....	
2.5.1 Principe.....	
2.5.2 Formation de la soudure.....	
2.5.3 Caractéristiques des soudures par bossage.....	

2.6	Soudage en bout par étincelage.....
2.6.1	Principe.....
2.6.2	Formation de la soudure.....
2.6.3	Caractéristiques des assemblages en bout.....
<b>3.</b>	<b>Chapitre 3: Machine de soudage à la molette des gaines circulaires.....</b>
3.1	But de la machine.....
3.2	Eléments de la machine.....
3.3	Mode de fonctionnement.....
3.4	Dimensionnement de la machine.....
3.5	Calcul de la flèche de la poutre longitudinale.....
3.6	Vérification du flambage de pièces verticales de la table.....
3.7	Vérification de la flèche sur le logiciel "CATIA".....
3.8	Vérification du calcul du flambement sur le logiciel "CATIA".....
3.9	Calcul du vérin.....
3.10	Vis à bille.....
3.11	Calcul de la flèche de la vis à bille.....
3.12	Calcul de la flèche des électrodes.....
3.13	Choix du moteur électrique.....
3.14	Choix de la courroie.....
3.15	Choix du roulement.....
3.16	Normes de sécurité et précautions générales.....
<b>4.</b>	<b>Conclusion.....</b>
<b>5.</b>	<b>Bibliographie.....</b>

## **Résumé**

La ventilation est l'action qui consiste à créer un renouvellement de l'air, par déplacement dans un lieu fermé. Elle est mise en œuvre dans les lieux où l'oxygène risque de manquer, ou lieu où des polluants et d'autres substances indésirables risqueraient de s'accumuler en son absence. La ventilation peut être naturelle ou mécanique.

La ventilation mécanique utilise des conduits d'air, ou "gaines de ventilation" étanches dans lesquelles circule l'air extrait ou induit dans la zone fermée.

Ce projet consiste à faire une étude d'une machine, pouvant souder les gaines circulaires, par une machine à souder à la molette,

Le déplacement des gaines, fixées avec des guides et vérins sur une structure métallique, se fait avec un système électromécanique (moteur électrique-roue-courroie-vis à billes).

## **Mots clés**

- Ventilation
- Gaine de ventilation
- Soudage
- Soudage à la molette
- Structure métallique
- Flèche
- Flambage
- Vérins
- Vis à billes
- Guidages
- Courroie
- Roulements
- Moteur électrique

## **Abstract**

Ventilation is the action of creating an air change, by moving in an enclosed area. It is implemented in places where oxygen might be missing or where pollutants and other undesirable substances might accumulate in his absence. Ventilation can be natural or mechanical.

Mechanical ventilation uses air ducts, or "air duct" in which circulates the extracted or induced air in the closed area.

This project involves a study of a machine that can weld the round ducts, by a machine seam welding, and moving the sleeve with a electromechanical system.

The sheath is attached with metal guides and cylinders.

## **Key – words:**

- Ventilation
- Ventilation duct
- Welding
- Welding seam
- Metallic structure
- bending
- Buckling
- Cylinders
- Ball screw
- Guidance
- Belt
- Bearing
- Electric motor

# Introduction

La ventilation est l'action qui consiste à créer un renouvellement de l'air, par déplacement dans un lieu clos. Elle est mise en œuvre dans les lieux où l'oxygène risque de manquer, ou bien où des polluants et autres substances indésirables (humidité, par exemple) risqueraient de s'accumuler en son absence : logements, bureaux, magasins, salles de spectacles, d'enseignement, ouvrages souterrains, tunnel routier, atelier industriel, mine...

Dans le passé, cette aération se faisait naturellement dans les logements, peu étanches aux courants d'air. Maintenant, l'isolation des habitations a fait beaucoup de progrès. Mais pour assurer notre sécurité, éviter le confinement, préserver la qualité de l'air et éliminer humidité et polluants, nous avons besoin de systèmes de ventilation.

Gaine de ventilation ou conduit de ventilation, elle représente un réseau aéraulique. La gaine de ventilation est réalisée généralement en acier galvanisé. Elle est ainsi souvent métallique, en acier galvanisé, aluminium, mais également en plastique, PVC, voire souple (gaine textile ou chaussette). La gaine ou conduit de ventilation est de section rectangulaire, circulaire ou le réseau aéraulique étant constitué de longueurs droites et de pièces singulières telles que coudes, réductions, piquages.

La gaine de ventilation ronde est l'une des formes les plus fortes et plus efficaces, pour la distribution à grande vitesse, et peut être roulée et rejointe avec des coutures rainurées, des joints longitudinaux soudés, ou des coutures en spirale. Utiliser un conduit rond au lieu des conduits rectangulaires permet d'économiser environ 20% en poids de métal, et ils sont aussi relativement faciles à sceller.

Le soudage par résistance sert à assembler localement deux tôles, en utilisant l'effet Joule. A cet effet, on comprime ces tôles à l'aide d'une paire d'électrodes, généralement en alliage de cuivre, et l'on fait passer par ces mêmes électrodes un courant électrique de forte intensité. La chaleur engendrée par ce courant à l'interface tôle-tôle fait fondre localement le métal, ce qui crée, après solidification, un point de soudure.

Historiquement, ce fut l'Américain Thomson qui eut, en 1877, l'idée d'assembler deux tôles d'acier en utilisant, comme agent de chauffage, l'effet de la traversée de l'assemblage par un courant électrique de forte intensité.

Il s'agit depuis longtemps du procédé d'assemblage numéro un des carrosseries automobiles, une voiture nécessitant en moyenne 4000 points soudés

Ce projet a pour but de faciliter le travail de la fabrication des gaines rondes, et surtout les travaux en grandes séries, et en plus, donner une meilleure qualité de produits, au niveau de la précision des dimensions, et la fuite d'air, due aux méthodes de fabrication traditionnelles.

Nous avons utilisé la méthode de soudage à la molette, pour avoir une meilleure qualité de soudure continue, sur tout le long de la pièce de gaine. Le passage de la gaine se fera à l'aide d'un mécanisme se déplaçant à des vitesses variables, muni d'un moteur électrique et d'un système de guidage.

Dans notre étude, on va essayer de faire un modèle de la machine, et un dimensionnement concernant les différents éléments principaux.

# Chapitre 1: Ventilation

## A- Comment ventiler?

### 1.1- LES DIFFÉRENTS TYPES D'INSTALLATION DE VENTILATION

Dans un premier temps, il faut choisir le type d'installation de ventilation (naturelle, simple flux, double flux) en fonction non seulement des contraintes imposées par le type de bâtiment, le climat, l'étanchéité à l'air de l'enveloppe extérieure et l'environnement, mais aussi de celles induites par le coût et la performance de l'installation, l'énergie d'utilisation et la facilité de maintenance.

Les composants d'une installation (ventilateurs, conduits, diffuseurs, bouches d'aménées d'air, extracteurs d'air, grilles, etc.) doivent répondre à ces contraintes, mais assurer un débit d'air permettant de satisfaire la réglementation et d'atteindre le confort.

Des mesures et des calculs permettent de vérifier si les composants d'une installation de ventilation sont adaptés aux besoins.

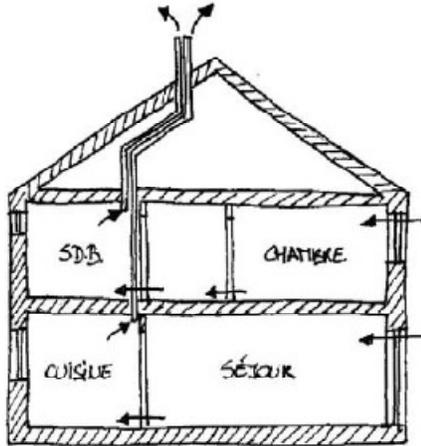
Par ces méthodes, diverses estimations sont possibles, comme par exemple :

- le flux d'air induit par infiltration et ventilation ;
- l'influence des paramètres tels que le climat, l'étanchéité à l'air ;
- le taux et la direction du flux d'air ;
- le flux d'air entre deux pièces ;
- la concentration des polluants ;
- l'impact sur l'énergie.

La norme NBN D50-001 distingue quatre systèmes de ventilation :

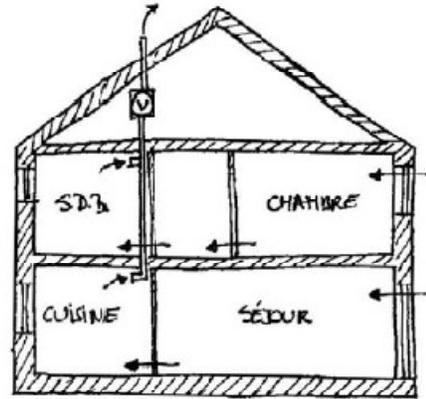
<b>SYSTÈMES DE VENTILATION SELON LA NORME NBN D50-001 [26]</b>	<b>PROCÉDÉS DE VENTILATION</b>	
	<b>AMENÉE D'AIR</b>	<b>EVACUATION D'AIR</b>
A	naturelle	naturelle
B	mécanique	naturelle
C	naturelle	mécanique
D	mécanique	mécanique

TYPES D'INSTALLATIONS DE VENTILATION



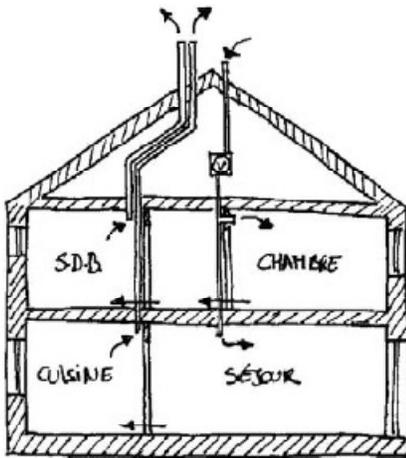
SYSTÈME A

PAGE 21



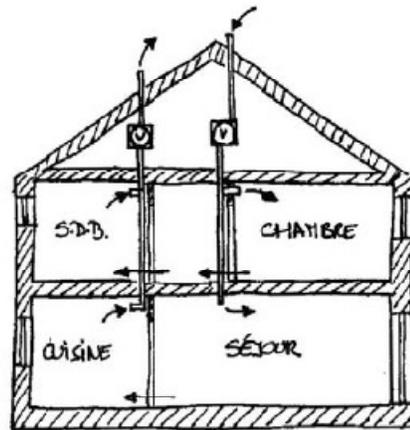
SYSTÈME C

PAGE 23



SYSTÈME B

PAGE 22



SYSTÈME D

PAGE 24

## **1.2- LES AVANTAGES DE LA VENTILATION MÉCANIQUE**

- La simplicité du système.
- La bonne distribution de l'air frais dans tout le bâtiment.
- La surpression diminue les risques de refoulement et d'infiltration des gaz se dégageant du sol ou des matériaux de construction.
- L'air peut être filtré et sa température et/ou son humidité conditionnées.
- Les débits d'air amenés sont contrôlés.
- Une partie de l'air intérieur peut être récupérée et mélangée à l'air extérieur.

## **LES INCONVÉNIENTS DE LA VENTILATION MÉCANIQUE**

- Elle favorise la pénétration de l'air humide provenant de l'intérieur dans les murs extérieurs et la toiture.
- Elle ne convient pas toujours dans le cas d'une rénovation.
- Si l'entrée d'alimentation est mal située, mal conçue ou mal placée, l'installation de ventilation peut introduire les bruits extérieurs dans le bâtiment.
- Les ouvertures entre locaux favorisent le passage de bruits.
- Il n'y a pas de récupération de chaleur.
- Les débits d'air extrait ne sont pas contrôlables.
- Les évacuations doivent se faire par des conduits verticaux.
- Les débouchés des conduits d'extraction verticaux doivent se situer près du faîtage.
- L'enveloppe extérieure du bâtiment doit avoir une bonne étanchéité à l'air.
- Elle a besoin d'énergie électrique (coût).
- Elle nécessite une maintenance régulière.

## **1.3- LE PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DE LA VENTILATION NATURELLE (SYSTÈME A)**

Dans la ventilation naturelle, l'air se déplace grâce aux différences de pression qui existent entre les façades du bâtiment et grâce à la différence de masse volumique de l'air en fonction de sa température.

Des amenées d'air (grilles et vasisas réglables) doivent être disposées en façade pour les locaux dits "secs" (bureaux, séjours,...) ; des ouvertures de transfert (détalonnage des portes ou grilles) permettent le passage de l'air vers les locaux dits "humides" (sanitaires, cuisine,...).

Dans ces derniers, l'air est évacué grâce à des conduits verticaux débouchant en toiture (voir figure ci-contre). Il est sous-entendu que les espaces de passage (couloirs, halls, escaliers, etc.) sont suffisamment ventilés par l'air qui provient des locaux "secs" et transite par les ouvertures de transfert pour gagner les locaux "humides". Il n'y a donc pas besoin d'amenée d'air ou d'évacuation d'air spécifiques dans les espaces de circulation des maisons unifamiliales.

Par contre, les dispositifs de ventilation sont obligatoires dans les cages d'escalier et couloirs communs des immeubles d'habitation collective, où ils sont considérés comme locaux spéciaux.

Dans un bâtiment, la sécurité incendie est assurée par un compartimentage. La ventilation et la distribution de l'air dans les locaux au moyen de gaines doivent être conçues de telle sorte que :

- la fumée et les flammes ne puissent se propager dans tout le bâtiment ;
- les éléments de construction traversés par ces gaines conservent leur résistance au feu.

Nous aborderons, plus loin, le problème de la sécurité incendie.

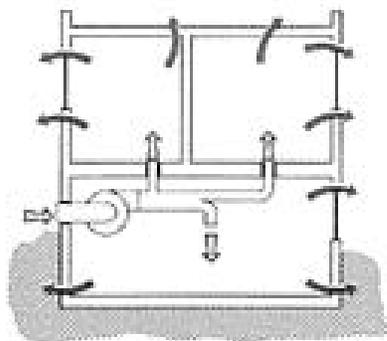
Il est intéressant d'adapter le fonctionnement de la ventilation en fonction des besoins (en période d'occupation, la nuit, le weekend). Il existe plusieurs possibilités de réguler la ventilation naturelle : bouches réglables, grilles hygro-réglables, grilles commandées électriquement en fonction d'un horaire, par exemple.

Pour rappel, la norme NBN D50-001 exige, en outre, la possibilité de pratiquer une ventilation intensive des locaux de séjour, des chambres, des locaux d'étude et de loisir et des cuisines, en cas de pollution occasionnelle. Ce type de ventilation requiert des débits importants mais occasionnels. La technique la plus indiquée est l'utilisation des fenêtres et des portes, pratiquant ainsi de grandes ouvertures d'amenée et d'évacuation d'air.

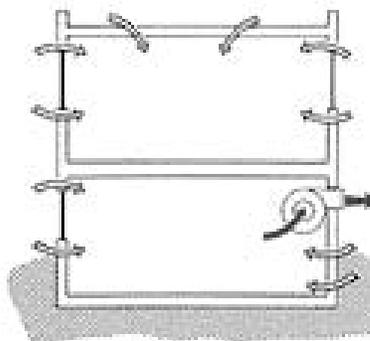
## **LES PRINCIPES DE FONCTIONNEMENT DE LA VENTILATION MÉCANIQUE**

Il existe essentiellement trois types d'installation de ventilation mécanique :

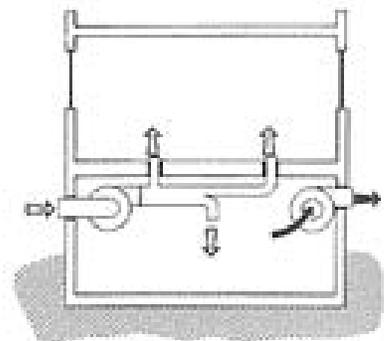
- le système de mise en surpression, dont les ventilateurs d'alimentation en air extérieur conservent la maison à une pression supérieure à la pression extérieure ;
- le système qui utilise des ventilateurs d'extraction et des prises d'air pour maintenir la pression de l'intérieur au dessous de la pression extérieure ;
- le système dit équilibré qui comporte des ventilateurs d'alimentation et d'extraction, et qui maintient les pressions intérieure et extérieure à peu près au même niveau.



Installation à simple alimentation



Installation à simple extraction



Installation équilibrée

#### **1.4- INSTALLATION DE VENTILATION À ALIMENTATION MÉCANIQUE (SYSTÈME B)**

Dans sa version la plus simple, ce type d'installation suppose la mise en place d'un réseau de conduits de distribution raccordé au ventilateur qui aspire l'air frais de l'extérieur et le distribue dans tout le bâtiment. L'expulsion de l'air se fait par extraction naturelle (voir ventilation naturelle).

L'installation tend donc à pressuriser l'intérieur du bâtiment et à abaisser le plan de pression neutre, PPN. De ce fait, elle diminue la partie de l'enveloppe par où se font les infiltrations, de même que les pressions qui les favorisent. L'infiltration d'air totale peut donc s'en trouver réduite et elle est éliminée totalement si le PPN se situe sous le plancher du sous-sol. Il y a, par contre, accentuation des pressions intérieures et de la partie de l'enveloppe soumise à l'exfiltration.

#### **1.5- INSTALLATION DE VENTILATION À EXTRACTION MÉCANIQUE (SYSTÈME C)**

L'extraction mécanique consiste à créer un mouvement de circulation de l'air dans le bâtiment de telle sorte que l'air neuf entre naturellement par les locaux "secs" et que l'air soit ensuite extrait par un ventilateur depuis les locaux "humides" ou "viciés". L'air chemine ainsi à travers plusieurs locaux par ordre croissant de pollution, en passant sous les portes ou par des grilles de transfert.

Une telle installation nécessite :

- que les locaux “humides” ou “viciés” soient mis en dépression par rapport au reste du bâtiment ;
- que les ouvertures soient placées en façade pour diffuser de l’air dans les locaux “secs” ;
- que le transfert de l’air entre les locaux avec alimentation et les locaux avec extraction soit organisé. Si le bâtiment est important, il faut le découper préalablement en zones de ventilation distinctes.

## **1.6- INSTALLATION DE VENTILATION À ALIMENTATION ET EXTRACTION MÉCANIQUES (SYSTÈME D)**

L’installation de ventilation à alimentation et extraction mécaniques se compose d’un ventilateur d’alimentation, d’un ventilateur d’extraction et d’un réseau de conduits de distribution et d’évacuation.

La ventilation double flux consiste à organiser :

- la pulsion mécanique de l’air neuf, filtré, dans les locaux ;
- l’extraction mécanique de l’air vicié des locaux.

On peut, soit pulser l’air neuf dans les locaux “secs” et extraire l’air vicié depuis les locaux “humides”, soit chaque local peut disposer d’une pulsion et d’une extraction. Dans ce cas, les locaux produisant des odeurs sont généralement maintenus en dépression de telle sorte que l’air vicié ne s’échappe pas vers les autres locaux.

La pulsion se distribue via un réseau de conduites verticales et horizontales (dans les faux-plafonds, par exemple). Les conduits d’évacuation d’air sont semblables aux conduits des installations simple flux et peuvent être disposés parallèlement aux conduits d’amenée d’air.

Les bouches d’amenée d’air sont de type mural ou de type plafonnier s’il existe des faux-plafonds dans le local.

Plusieurs compléments à ce type d’installation sont possibles :

- une récupération de chaleur par échange entre l’air extrait et l’air neuf ;
- un traitement de l’air en température et en humidité pour assurer un confort optimal
- un recyclage partiel de l’air, dans le cas où l’air de ventilation assure également le chauffage ou le refroidissement des locaux.

Lorsque ce type d’installation de ventilation fonctionne dans un environnement en équilibre (c’est-à-dire lorsque l’alimentation est égale à l’extraction), il n’influence aucunement la répartition naturelle des pressions qui s’exercent sur le bâtiment, ni le plan de pression neutre qui n’est ni abaissé, ni relevé.

Toutefois, en raison du milieu ambiant, l'installation fonctionne souvent en léger déséquilibre, donc selon le cas, comme une installation d'extraction ou d'alimentation.

## **B- Gaine d'alimentation**



Gaine de ventilation ou conduit de ventilation, elle représente un réseau aéraulique. La **gaine de ventilation** est réalisée généralement en acier galvanisé. La gaine de ventilation est ainsi souvent métallique, en acier galvanisé, aluminium, mais également en plastique, PVC, voire souple (gaine textile ou chaussette). La gaine ou conduit de ventilation est de section rectangulaire, circulaire ou le réseau aéraulique étant constitué de longueurs droites et de pièces singulières telles que coudes, réductions, piquages. Les tronçons de raccordement aux bouches et autres organes terminaux s'effectuent pour des raisons de faciliter en souple. La gaine de ventilation transporte de l'air pour les besoins de chauffage, de **climatisation** ou d'aération, air neuf ou extraction, voire de désenfumage. Elle peut être isolée thermiquement à

l'intérieur comme à l'extérieur. Certaines gaines sont réalisées entièrement en matériaux isolant compact. Ces gaines sont plus légères et permettent une atténuation acoustique supérieure à la gaine tôle en acier galvanisée. La gaine de ventilation est reliée, sauf en ventilation naturelle ou désenfumage naturel, à des extracteurs d'air de VMC, de **désenfumage** ou des insufflateurs d'air ou centrales de traitement d'air appelées aussi CTA. Dans le cas très particulier des puits canadiens, la gaine de ventilation est enfouie dans le sol et agit comme un échangeur thermique ou géothermique, puisant les calories gratuites du sol.

## **1.7- Propriétés principales de conduits de ventilation Rondes**

- Ils ont des coûts initiaux installés plus bas que conduits rectangulaires.
- Leurs bons résultats dans le calcul de la chute de pression, ce qui nécessite un ventilateur de plus basse puissance pour faire circuler l'air et, par conséquent, un équipement plus petit.
- La forme a aussi moins de surface et nécessite moins d'isolant lors de l'utilisation en climatisation.
- Les petites surfaces de ronds et ovales permettent de minimiser la perte ou le gain de chaleur ou de l'énergie donc elles sont plus efficace.
- Les coutures et les joints sont plus hermétiques résultant moins de fuite et d'énergie gaspillée.
- Les performances acoustiques des conduits ronds et ovales sont supérieures parce que leurs surfaces courbes permettent moins de bruit sortant. Dans la pratique, la fixation d'un problème de bruit dans les conduits rectangulaires est plus difficile que dans les conduites rondes

Avantages de l'utilisation du Cycle conduits de tôle  
les conduits circulaires n'ont pas seulement de meilleures performances, ils ont aussi une meilleure apparence. De nombreux architectes et décorateurs aiment les formes esthétiques des conduites rondes et ovales comme des éléments uniques et les intègrent dans leurs conceptions.

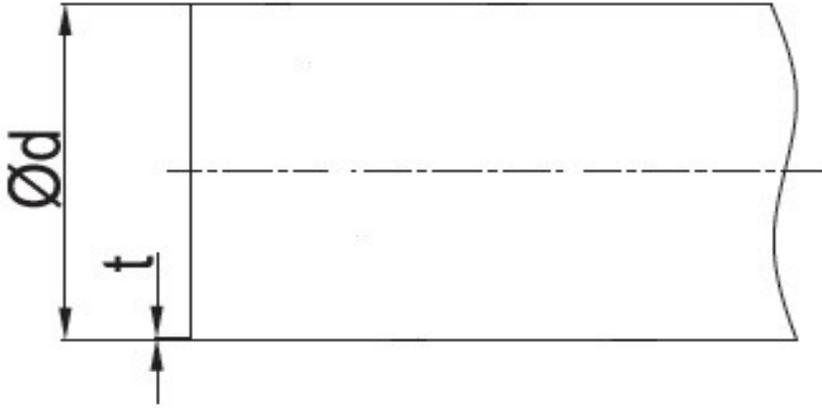
Les conduits ronds et ovales sont capables de promouvoir un environnement intérieur plus sain. Il ya moins de surface, pas de coins et de meilleure circulation d'air, tout cela diminue le risque de saleté et empêche la crasse de s'accumuler à l'intérieur du conduit pour devenir un terrain fertile pour la croissance bactérienne.

## 1.8- Données techniques:

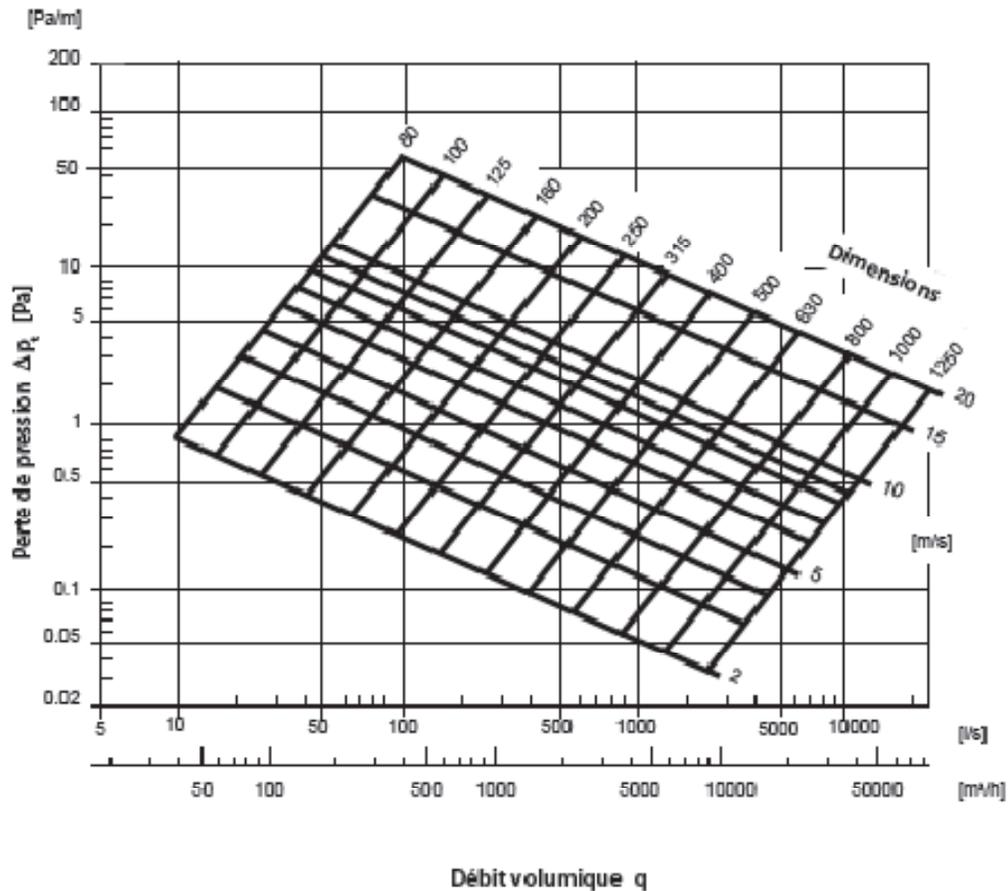
### Epaisseurs des gaines

Ø mm	epaisseur mm
100	0,5
125	0,5
160	0,5
200	0,6
250	0,6
315	0,6
355	0,6
400	0,8
450	0,8
500	0,8
560	0,8
630	0,8
710	0,8
800	1,0

## Tolérance pour gaines



diamètre $\varnothing d_{nom}$ [mm]	min. - max. diamètre $\varnothing d_{nommin} - \varnothing d_{nommax}$ [mm]
100	100,0 - 100,5
112	112,0 - 112,5
125	125,0 - 125,5
140	140,0 - 140,6
150	150,0 - 150,6
160	160,0 - 160,6
180	180,0 - 180,7
200	200,0 - 200,7
224	224,0 - 224,8
250	250,0 - 250,8
280	280,0 - 280,9
300	300,0 - 300,9
315	315,0 - 315,9
355	355,0 - 356,0
400	400,0 - 401,0
450	450,0 - 451,1
500	500,0 - 501,1
560	560,0 - 561,2
600	600,0 - 601,2
630	630,0 - 631,2
710	710,0 - 711,5
800	800,0 - 801,6



## Dépression

Il existe un risque important de déformation de la gaine de ventilation dans des réseaux à la dépression élevée par rapport à la pression atmosphérique. Les déformations ont pour début des points les plus vulnérables de la gaine - des endroits abîmés par enfoncement par exemple lors de transport, port ou montage. C'est la raison pour laquelle le choix des gaines et des ses dimensions est important en fonction de dépression de travail envisagée. Le tableau suivant présente la dépression maximale admissible pour des gaines données (Pa).

L [m]	Ød [mm]	t=0,5 [mm]		t=0,6 [mm]		t=0,7 [mm]		t=0,9 [mm]		t=1,25 [mm]	
			avec spires		avec spires		avec spires		avec spires		avec spires
6	80	27000		46700							
	100	21000		36300		38000		42000			
	125	15000		25900		31000		35000			
	160	8300		18000		23000		27000			
	200	5000		14500		17500		20000	23500		
	250	2300	5000	7000	16000	10000	21000	15300	23000	17000	26000
	315			2000	10500	6000	14000	10200	21000	14000	24000
	400				4500		9000		12100		16000
	500				3000		5500		7200		10000
3	630						3900		6000		8500
	800						1500		2600		5600
	1000								1000		2200
	1250								800		1200

## Chapitre 2: Soudage par résistance

### 2.1- Principe:

L'invention du soudage par résistance est due à l'Américain Thomson en 1877.

Ce procédé met en œuvre l'effet Joule d'un courant de forte intensité traversant les pièces à assembler, mises au contact l'une de l'autre et sur lesquelles il est naturellement ou convenablement concentré.

La chaleur produite  $Q$  s'exprime par la formule :

$$Q = \int_0^T RI^2 dt$$

avec :

- $R$  : résistance électrique rencontrée par le courant
- $I$  : intensité du courant
- $T$  : durée du phénomène
- $t$  : variable temps.

Si la puissance électrique fournie est suffisante pour compenser les pertes thermiques diverses, la chaleur produite conduit à la fusion des matériaux métalliques usuels.

Le soudage par résistance consiste à faire en sorte que cette fusion se développe dans le plan de joint des deux pièces mises en contact.

Les différentes formes du soudage par résistance incluent (à quelques variantes près) une phase de forgeage dont l'importance métallurgique est fondamentale.

### 2.2- Différents procédés:

Les procédés de soudage par résistance sont les suivants (figure 1) :

- le soudage **par points** donnant lieu à une soudure par recouvrement discontinu;
- le soudage **à la molette** donnant lieu à une soudure par recouvrement continue et étanche;
- le soudage **par bossages** ou protubérances ;
- le soudage **en bout**, qui relève également du soudage par forgeage à chaud, dans lequel la chaleur est obtenue par effet Joule (par différence avec d'autres moyens de chauffage, tels l'induction, la friction, l'arc tournant, etc.).

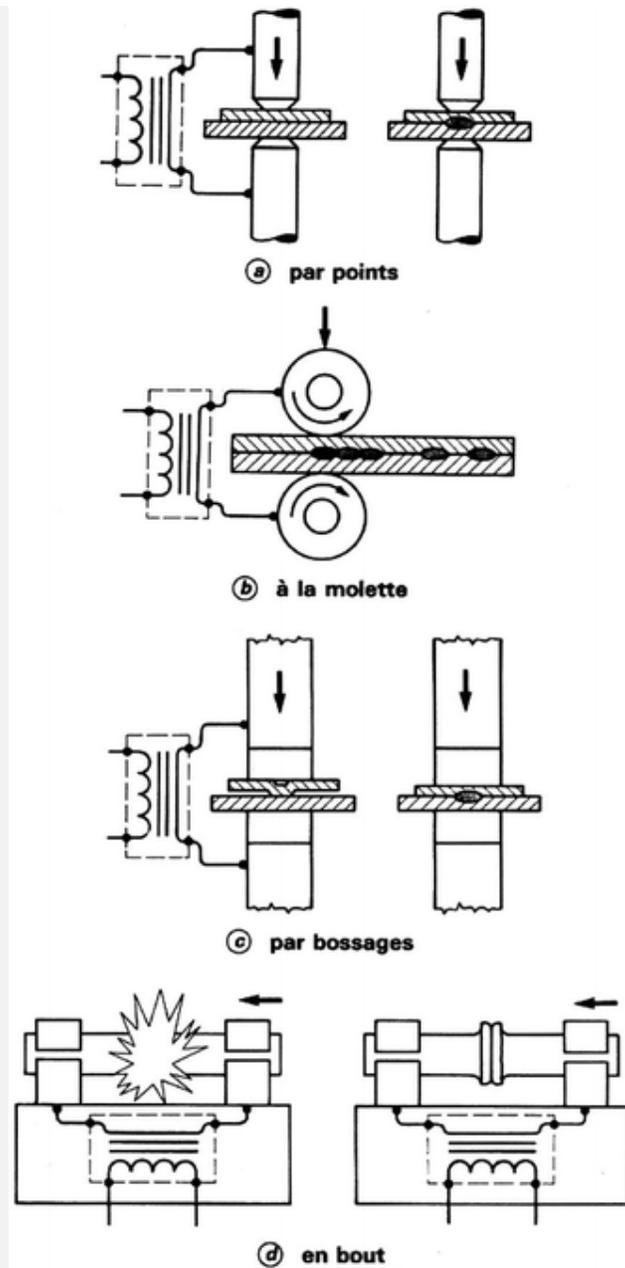


Figure 1 - Procédés de soudage par résistance

## 2.3- SOUDAGE PAR POINTS:

### 2.3.1- Principe:

---

Le soudage par points est un procédé d'assemblage discontinu, par recouvrement. Il s'applique à des assemblages en tôles d'aciers doux, allié, inoxydable, d'aluminium, etc. (article *Soudage et soudabilité métallurgique des métaux* [M 715]) d'épaisseurs généralement comprises entre 0,5 et 10 mm.

La figure 2 représente la configuration la plus conventionnelle du soudage par points de deux pièces au moyen d'une série de points de soudures exécutée par un opérateur sur une *machine à souder* (figure 2). Les deux pièces sont placées et maintenues dans leur position respective d'assemblage, puis introduites dans les bras de la machine. L'action d'une pédale déclenche pour chacun des points à réaliser un cycle complet qui comprend les phases suivantes (figure 2c) :

- l'accostage : les électrodes se rapprochent et viennent se serrer sur les pièces à souder à l'endroit prévu et sous un effort donné ;
- le soudage : le courant passe, déclenché par la fermeture du contacteur du circuit de puissance ;
- le forgeage ou maintien d'effort à la fin duquel les électrodes s'écartent et reviennent au repos.

Ces différentes phases, dont la durée totale reste de l'ordre de quelques secondes selon les épaisseurs, sont rigoureusement temporisées et se déroulent automatiquement.

Au coup par coup, la machine ne réalise qu'un cycle et il faut appuyer de nouveau sur la pédale pour en réaliser un autre.

À la volée, la machine fonctionne d'une manière répétitive, chaque cycle étant séparé du précédent par un intervalle de temps ou *temps mort* qui permet à l'opérateur de déplacer la pièce à souder. Sa durée détermine ainsi la *cadence* de travail.

L'ensemble de ces phases est appelé cycle de soudage, dont la figure 2d donne la forme graphique conventionnelle. Il existe de nombreuses formes de cycles appropriés aux matériaux à souder ou au niveau de qualité recherchée.

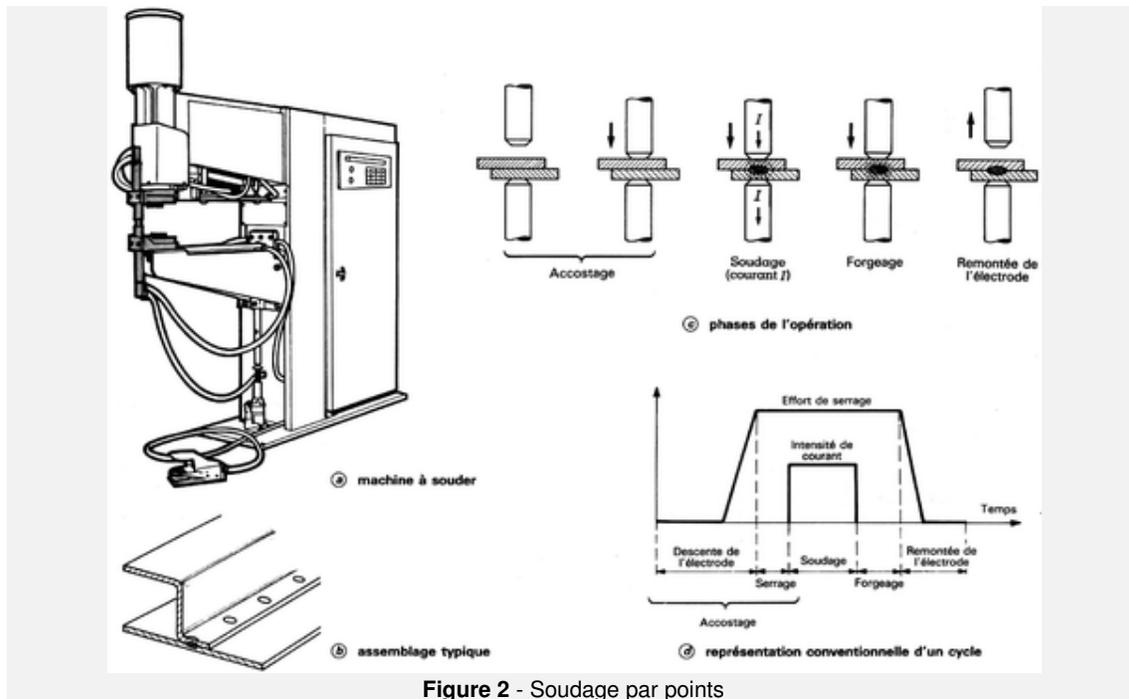


Figure 2 - Soudage par points

## 2.3.2 Description d'une machine à souder

### Machine typique

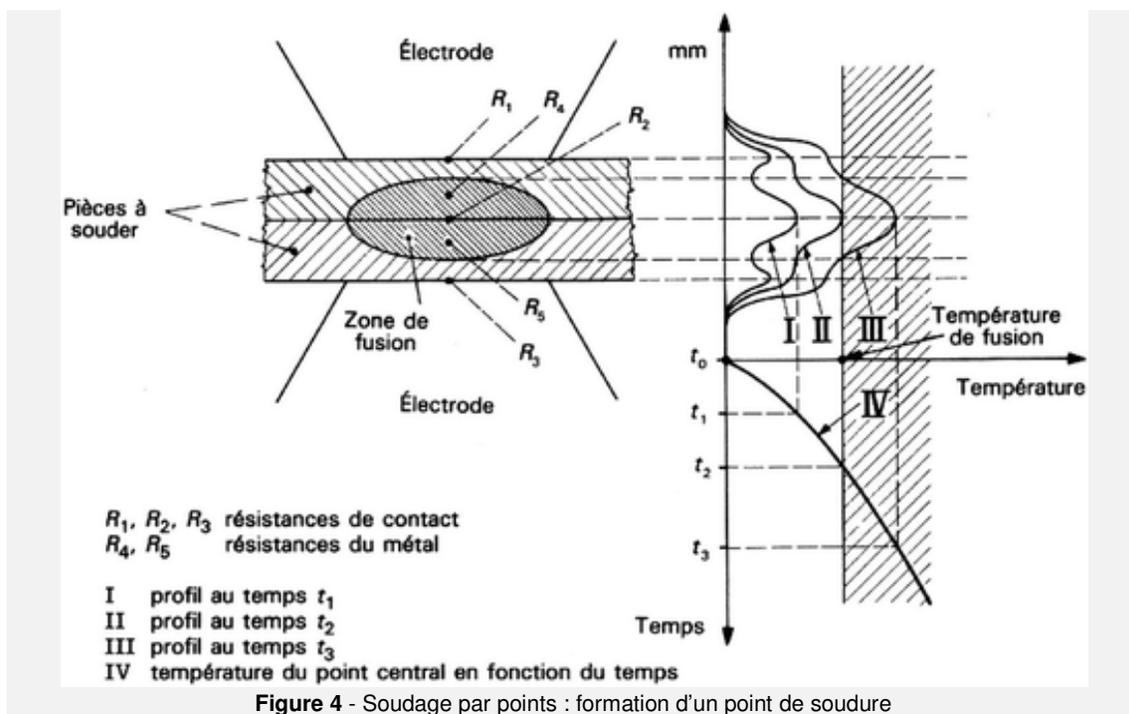
La figure 2b représente une machine à souder par points *fixe* typique. On y distingue les éléments suivants :

- un bâti en C (ou col de cygne) qui supporte le bras supérieur et le bras inférieur ;
- une *tête* d'effort (ou de pression) fixée à l'extrémité du bras supérieur et généralement constituée par un cylindre pneumatique actionné par une valve, dont le rôle est de commander le déplacement de l'électrode supérieure et de lui appliquer l'effort ;
- un bras inférieur supportant l'électrode inférieure ;
- des conducteurs en cuivre refroidis par eau, amenant le courant aux électrodes ;
- un transformateur, dit *de puissance*, abaisseur de tension, et un contacteur primaire ;
- un coffret qui fournit les temps du cycle de soudage, ou *séquence*, coordonnant la descente de l'électrode supérieure et la fermeture du contacteur. Dans les installations modernes, il permet de fixer les valeurs, dites *paramétriques*, de l'intensité et de l'effort.

Aujourd'hui, les contacteurs utilisés dans la construction des machines à souder par résistance sont des thyristors et le réglage du courant s'effectue par déphasage, grâce à un circuit électronique inclus dans le coffret.

### 2.3.3- Formation de la soudure:

Dès le serrage des électrodes, nécessaire à l'accostage des tôles, le contacteur primaire se ferme et le courant s'établit dans le circuit secondaire. Il traverse les pièces à souder et rencontre, entre les électrodes, un certain nombre de résistances électriques (figure 4), les unes localisées aux interfaces ( $R_1, R_2, R_3$ ) et les autres réparties dans la matière ( $R_4, R_5$ ).



Les premières résultent des phénomènes de contact. Ceux-ci, limités au début aux aspérités, se multiplient sous l'effort de serrage  $E$  et les résistances évoluent selon une loi  $R = f(1/E)$ . Les secondes sont dues à la résistivité des matériaux.

Par effet Joule, la température s'élève dans la zone de soudage, en premier lieu aux interfaces, où la résistance d'abord prépondérante diminue, puis dans la matière elle-même où la résistivité augmente avec la température. Au bout d'un certain temps, la fusion est atteinte au point central et progresse dans le plan de joint sous la forme d'un *lingot* formé en vase clos, qui atteint un diamètre comparable à celui des électrodes : le *point de soudure*. Le courant est alors interrompu. Le métal en

fusion se refroidit, formant la liaison des deux tôles, les électrodes restant serrées avec effet de forgeage jusqu'au refroidissement quasi complet.

Une soudure par point se caractérise par ses dimensions (figure 7 et tableau 1) qui doivent être en rapport avec les épaisseurs des tôles à souder.

La figure 5 représente la coupe transversale d'un point de soudure avec ses différentes zones et leur nature métallurgique.

## Soudage par points : conditions de réglage

Aciers doux et mi-durs									Aciers inoxydables 18 / 8					
e	Ø de l'électrode	Soudage lent			Soudage rapide			Ø du point soudé	e	Ø de l'électrode	Effort de pression	Intensité du courant	Temps de soudage	Ø du point soudé
		Effort de pression (N)	Intensité du courant (A)	Temps de soudage (s)	Effort de pression (N)	Intensité du courant (A)	Temps de soudage (s)							
0,5	4	600	2 000	0,2	1 500	4 000	0,04	4	0,5	4	1 750	3 750	0,04	3,5
1	5	1 000	3 000	0,4	2 500	8 000	0,1	5	0,8	4,5	3 000	6 000	0,10	4
2	7	2 000	5 000	1	5 000	14 000	0,3	6,5	1	5	4 000	7 600	0,14	4,5
3	9	3 000	8 000	2	8 000	19 000	0,6	8,5	1,5	6	6 500	11 000	0,20	5,5
4	11	3 800	10 000	3,2	12 500	24 000	0,9	10,5	2	7	9 000	14 000	0,24	6,5
5	13	4 500	12 000	4,5	17 000	28 000	1,4	12,5	2,5	7,5	12 000	16 000	0,28	7
8	19	.....	.....	.....	37 000	40 000	3	18	3	8,5	15 000	18 000	0,32	8

Alliages légers (suivant normes industrielles)						Alliages légers (suivant normes aéronautiques)								
e	r du dôme	Effort de pression	Intensité du courant	Temps de soudage	Ø du point soudé	e	r du dôme	Effort de serrage	Effort de pression de forgeage	Intensité du courant	Temps de soudage	Temps de refroidissement contrôlé	Temps de forgeage	Ø du point soudé
(mm)	(mm)	(N)	(A)	(s)	(mm)	(mm)	(mm)	(N)	(N)	(A)	(s)	(s)	(s)	(mm)
0,5	75	1 800	15 000	0,04	2,8	0,5	75	2 000	6 000	25 000	0,02	0,04	0,02	3
0,8	100	2 300	25 000	0,04	4	0,8	100	3 000	7 000	31 000	0,04	0,08	0,06	4
1	110	2 500	30 000	0,06	4,5	1	110	4 000	8 000	35 000	0,04	0,08	0,08	5
1,5	150	3 200	40 000	0,06	6,2	1,5	150	6 000	13 000	50 000	0,06	0,12	0,12	7
2	180	4 000	50 000	0,08	8	2	180	8 000	18 000	64 000	0,08	0,16	0,14	8,5
2,5	210	5 200	55 000	0,1	9	2,5	210	12 000	28 000	80 000	0,10	0,20	0,18	10
3	240	6 000	60 000	0,12	10	3	240	15 000	36 000	98 000	0,12	0,24	0,20	12

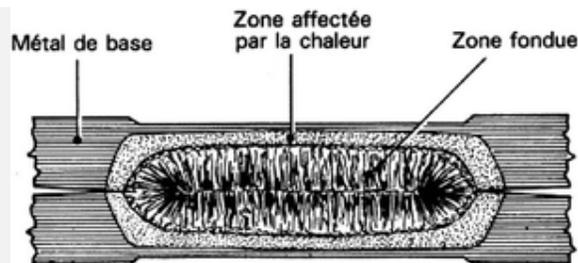


Figure 5 - Soudage par points : coupe d'un point de soudure

## 2.3.4- Caractéristiques des soudures par points:

Elles sont de natures :

- **dimensionnelle :**

diamètre du lingot (figure 7), mesuré sur une coupe macrographique ou après une opération de déboutonnage. Il est en relation avec la nature des matériaux et les épaisseurs ;

pénétration, mesurée sur une coupe. Elle est de l'ordre de 60 à 80 % de l'épaisseur de la tôle. Elle conditionne, avec le diamètre, les propriétés mécaniques du lingot ;

empreinte, mesurée directement ou sur une coupe. Elle ne doit pas dépasser 10 % de l'épaisseur de la tôle ;

séparation des tôles : elle doit être négligeable, car elle découle de valeurs paramétriques trop élevées et dégrade la tenue mécanique ;

l'écartement des points, leur position par rapport à la lisière de l'une des tôles, etc. sont également des critères intervenant dans la tenue globale de l'assemblage ;

- **mécanique :**

résistance au cisaillement par traction ;

résistance à l'arrachement ;

résistance à la torsion ;

reliées à la position et à l'écartement des points (figure 8).

- **métallurgique :**

structure des différentes zones affectées ;

duretés (figure 9).

- **Défauts des soudures :**

En dehors des défauts géométriques, ce sont :

des défauts de structure (manque de compacité) ;

des criques ;

porosités.

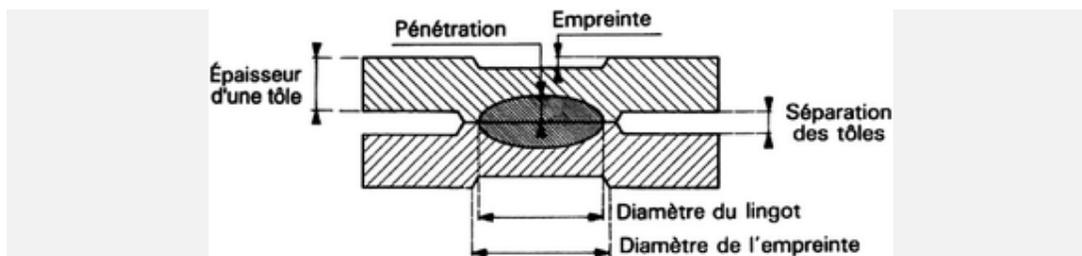


Figure 7 - Soudage par points : caractéristiques dimensionnelles d'un point de soudure

## 2.4- SOUDAGE A LA MOLETTE:

### 2.4.1- Principe:

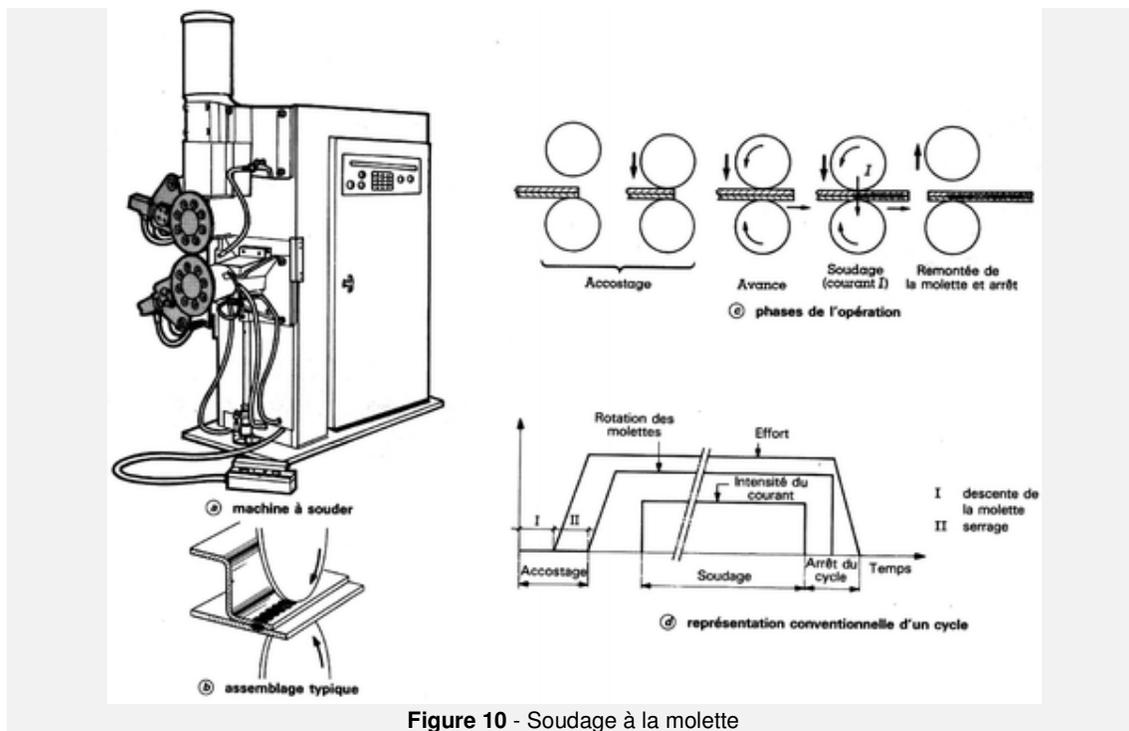
Le soudage à la molette diffère du soudage par points en ce que les électrodes classiques sont ici remplacées par des disques en cuivre, ou *molettes*, qui par rotation permettent de faire des soudures par recouvrement, continues et étanches.

La soudure se réalise de façon progressive et continue, associant serrage des tôles et passage du courant, sur toute la longueur du cordon à réaliser.

Un cycle de soudage comporte donc les phases suivantes, similaires à celles du soudage par points :

- l'accostage : les deux molettes viennent serrer, pour les accoster et localiser le courant, les deux pièces à souder au point de départ ;
- le soudage : le courant passe, déclenché par la fermeture du contacteur primaire, et la rotation des molettes est engagée, créant une liaison continue ;
- l'arrêt qui commande l'écartement des molettes en fin de cordon.

Le cycle de soudage est celui de la figure 10 où l'on a également représenté une machine typique et les différentes phases opératoires.



Ainsi qu'il en sera question plus loin, la soudure peut être due au passage de façon continue d'un courant alternatif, ou à celui d'un courant dit *modulé* donnant lieu à une soudure formée de points juxtaposés se chevauchant. Dans ce dernier cas, les molettes sont entraînées soit de façon continue, soit de façon discontinue, leur arrêt correspondant à la formation d'un point sur lequel il devient alors possible d'exercer un forgeage réglable, indépendant de la vitesse.

On utilise également le procédé pour réaliser des soudures discontinues non étanches, les molettes maintenues serrées réalisant alors entre les points un accostage mécanique des tôles qui ont toujours tendance à s'écarter naturellement (festonnage).

## **2.4.2- Description d'une machine à souder à la molette:**

### **Machine typique**

Une machine à souder à la molette est constituée des mêmes éléments qu'une machine à souder par points, aux différences suivantes près :

- elle comporte, aux extrémités des bras et à la place des porte-électrodes, des *poupées* à paliers conducteurs transmettant le courant des bras fixes aux molettes tournantes ;
- leur transformateur est instantanément et thermiquement plus puissant, afin de prendre en compte une dérivation importante du courant à l'arrière et de supporter le cycle *molette* donnant lieu à un facteur de marche pouvant atteindre 50 à 100 % contre 10 % en soudage par points ;
- elle comporte un moteur d'entraînement des molettes qui sert également la plupart du temps à entraîner les pièces à souder.

### **Variantes**

Une certaine liberté existe dans la mise en œuvre de ce procédé.

Sur la figure 11 ont été représentés les cas les plus courants :

- soudage sur molette plate (figure 11a) ;
- soudage sur électrode plate ou contre-électrode (figure 11b) ;
- soudage indirect (figure 11c) ;
- soudage série transversal ou longitudinal (figure 11d).

Cependant, d'une manière très générale, le soudage à la molette ne s'accommode pas de beaucoup d'écarts par rapport à sa mise en œuvre typique.

## Autres dispositions

- **Soudage avec fil électrode continu**

Cette configuration permet de résoudre de façon significative le problème de la pollution des molettes par le revêtement qui s'allie au cuivre et dégrade leur fonction conductrice dès qu'elles ont effectué quelques tours. Le fil de cuivre interposé est bien entendu un élément consommable, mais il évite des complications de maintien des molettes en état par usinage continu, grattage, écrouissage, etc.

- **Soudage par écrasement**

Cette façon de procéder vise à éliminer la surépaisseur résultant du recouvrement lors du soudage à la molette classique. Elle nécessite de réduire et de contrôler le recouvrement des tôles, et de disposer de molettes plates, l'ensemble ainsi constitué permettant de localiser naturellement le courant. Grâce à un effort de serrage important, les bords portés à haute température fluent et laissent place à une liaison complètement écrasée. Cette manière de procéder s'appelle aussi *mash-welding* selon l'expression anglo-saxonne.

- **Soudage avec métal d'apport**

Il vise le même objectif (figure 12c ). Deux feuillards continus, formant métal d'apport, sont interposés entre les molettes et les tôles mises et maintenues bord à bord sans recouvrement. L'écrasement des feuillards qui se soudent aux tôles réduit complètement la surépaisseur en formant la soudure.

**Remarque** : la recherche de moyens de soudage continu de tôles bord à bord sans surépaisseur et à des vitesses supérieures à celle obtenue avec des procédés à l'arc (limitée au mètre par minute) a pendant longtemps retenu l'attention des constructeurs. Il semble qu'aujourd'hui ces assemblages soient réalisés par soudage au laser, mais avec beaucoup de précautions.

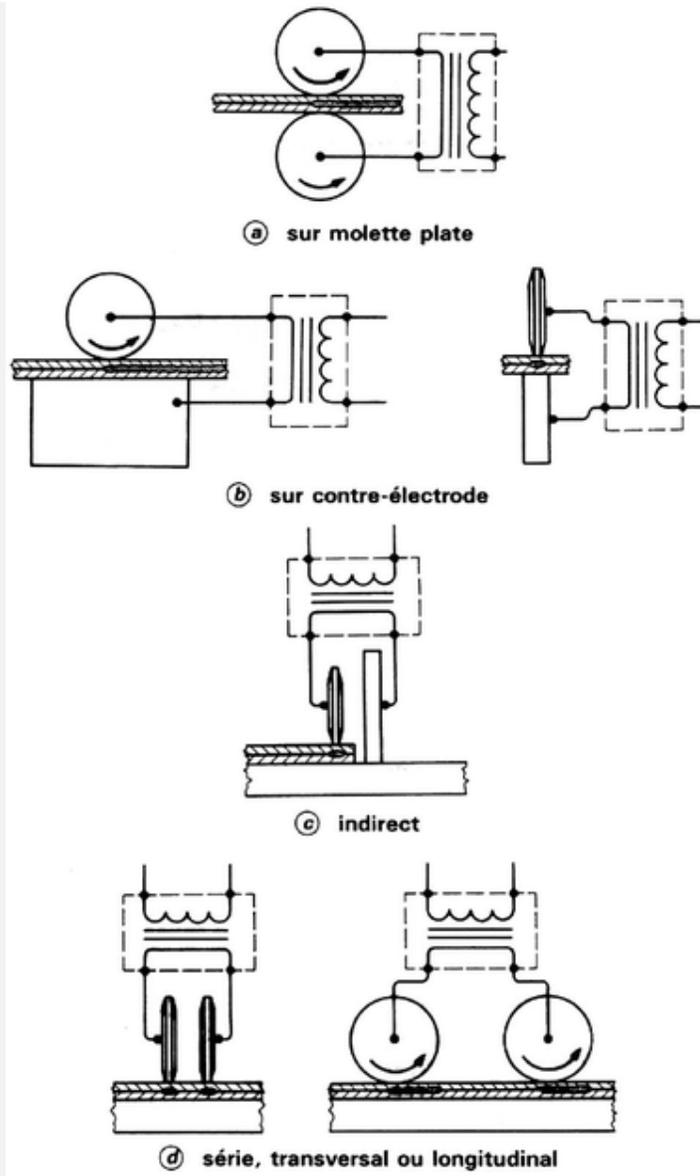


Figure 11 - Soudage à la molette : différentes dispositions

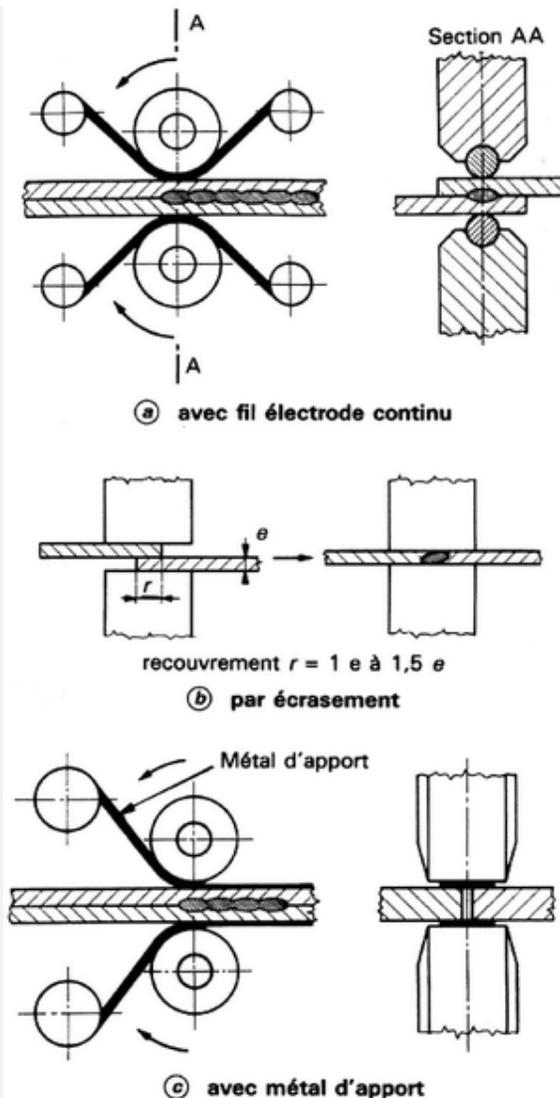


Figure 12 - Soudage à la molette : variantes

### 2.4.3- Formation de la soudure

Bien entendu, on retrouve au départ le rôle électrique des différentes résistances rencontrées par le courant lorsqu'il passe d'une molette à l'autre en traversant les tôles. Il faut ici tenir compte des effets dus au déplacement relatif molettes /pièces.

La figure 13 a montre la disposition des divers éléments : on remarque que la surface de contact des électrodes, dont on a pu comprendre l'importance dans la détermination des dimensions de la zone fondue, est donnée par les empreintes des molettes dues à l'effort de serrage réglé en conséquence. Transversalement, on retrouve la configuration du soudage par points. Longitudinalement, la longueur de l'empreinte, due au diamètre de la molette associée à la vitesse de déplacement, entre dans la nouvelle expression du temps de soudage.

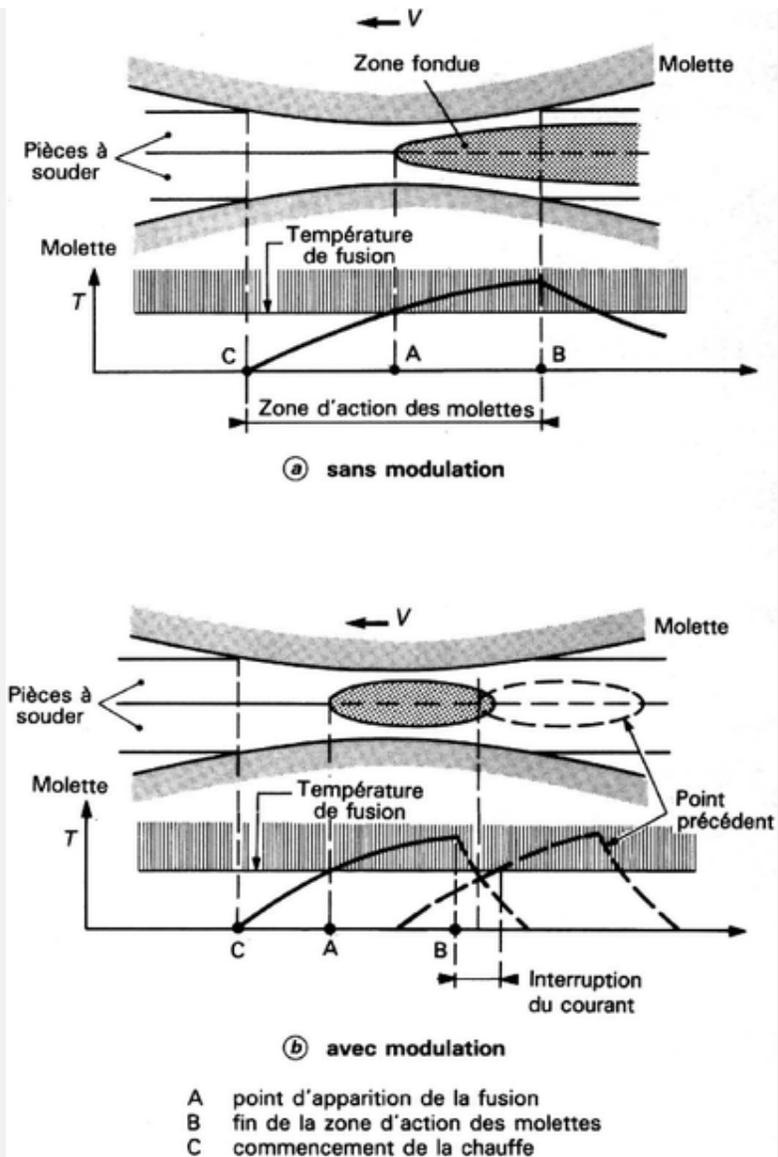


Figure 13 - Soudage à la molette : formation de la soudure

En effet, si  $d$  est la longueur de l’empreinte ou zone d’action des molettes qui détermine le passage de courant et  $V$  la vitesse de déplacement, le temps de passage du courant en un point est  $t = d/V$ .

On peut tracer la loi de la température  $T$  en un point du plan de joint et voir comment se développent l’échauffement, puis la fusion, laquelle apparaît en A, puis s’élargit jusqu’en B pour donner lieu à un cordon de dimensions adéquates en largeur et en pénétration.

En effet, à partir de B le courant s’annule et la fusion ne progresse plus. Théoriquement, le serrage des molettes disparaît aussi et il n’y a pas de forgeage. C’est pourquoi les soudures réalisées dans ces conditions n’ont pas d’excellentes qualités mécaniques.

Afin de pallier cette difficulté, on a recours à la *modulation*. Si l'on accroît l'intensité du courant ou si l'on diminue la vitesse de déplacement, les instants A et B précédents vont se déplacer vers la gauche de la figure, de sorte que les dimensions du cordon seront atteintes plus tôt, encore dans la zone d'action des molettes. Maintenir le courant et continuer à chauffer conduirait à des expulsions de métal. C'est pourquoi on interrompt le courant en B tout en maintenant le serrage. Le cordon se refroidit sous l'effort des molettes qui forge la soudure (figure 13 b).

On peut alors recommencer le cycle alternant *passage du courant-refroidissement*, appelé *modulation*, dont l'effet est de rendre à la soudure ses qualités mécaniques.

En fait, on a réalisé ainsi, à la volée et par déplacement continu, des points se chevauchant. Pour certains aciers réfractaires et pour les alliages légers, on arrête en outre la rotation des molettes pendant le passage du courant et le forgeage, puis on avance d'un pas.

#### **2.4.4- Paramètres du soudage à la molette**

Les paramètres du soudage à la molette sont les suivants :

- les dimensions des molettes : épaisseur, pourtour et diamètre ;
- le courant et la modulation associée ;
- la vitesse ;
- l'effort.

Ces paramètres sont très liés les uns aux autres et le réglage d'une opération conduit souvent à un compromis global.

Pour former un cordon sur une épaisseur donnée, il faut une *assise de molette* donnant lieu à une voie de passage de courant et d'effort qui, compte tenu de la vitesse, conduise à une soudure de dimensions et qualité requises. L'assise des molettes est plus ou moins difficile à obtenir selon leur diamètre. Des molettes de petit diamètre (10 cm) indentent facilement les tôles à souder, mais s'usent plus vite.

Le compromis se trouve dans des diamètres de molettes plus élevés (20 à 40 cm), donc vers plus d'effort, plus de courant, etc. D'une façon générale, une vitesse élevée (pour une productivité accrue) impose des molettes de très grand diamètre, très bien refroidies, et par suite une machine puissante.

Le réglage de la modulation en découle.

#### **Molettes**

Leur surface active, examinée de profil (figure 14), peut être plate ou en dôme. De ce point de vue, on retient des règles similaires au soudage par points, reliant ce profil avec la largeur et la pénétration du cordon :

- profil en biseau (figure 14 a) :  
 $D = 2e + 2$
- profil en dôme (figure 14 b) :

$r = 50 \text{ mm}$  pour  $0,5 < e < 1,5 \text{ mm}$

$r = 75 \text{ mm}$  pour  $1,5 < e < 2 \text{ mm}$

- profil en dôme prononcé ou molette mince (figure 14 c) :

$r = 3 \text{ mm}$

avec :

$D$  (mm) : largeur du plat

$e$  (mm) : épaisseur des tôles à souder.

Le choix du diamètre des molettes s'effectue souvent en fonction de considérations pratiques de passage autorisé par la forme des pièces à souder. Il est évident que les rayons que doit observer la forme d'un cordon seront de nature à imposer, s'ils sont courts, des molettes réduites.

Lorsque les cordons n'ont pas d'exigences sévères quant à leur tenue mécanique, on pourra se contenter de molettes réduites et opérer à vitesse élevée. Par contre, en construction aéronautique et pour des matériaux réfractaires, les vitesses seront plutôt faibles, les efforts importants et les molettes déterminées en conséquence.

La tenue dans le temps des molettes est étroitement liée à leur tenue thermique. C'est pourquoi, lorsque cela est possible, on dispose d'un arrosage extérieur abondant. Certaines machines sont équipées d'un dispositif à même d'usiner le profil des molettes au fur et à mesure de son usure par apparition de bourrelets latéraux.

Ce sont les problèmes liés aux molettes qui limitent les épaisseurs soudables à quelques millimètres, avec très peu de différence entre les deux (ou trois) tôles en cause.

### **Vitesse**

Elle intervient comme facteur de productivité, mais elle est limitée par des considérations de qualité. En effet, par disparition du forgeage, les caractéristiques mécaniques des soudures diminuent lorsque la vitesse augmente (figure 15).

La vitesse est liée à la variable temps de soudure et, également grâce à la modulation, au forgeage. C'est la raison pour laquelle, dans les cas extrêmes, on arrête les molettes en synchronisme avec le passage du courant. On réalise alors des soudures par points chevauchants, sur lesquels on applique un véritable cycle de forgeage indépendant de l'effort de soudage. Cette façon de procéder est appelée soudage en *roll-spot*.

### **Effort**

Il a deux effets principaux :

- il définit, pour un diamètre de molettes donné, la surface de contact ;
- il conditionne, comme en soudage par points, la puissance d'échauffement.

Lorsque les molettes entraînent les pièces à assembler, l'effort est conditionné par cette exigence et le soudage en dépend.

## Courant et modulation

Tout comme l'effort, le courant est fonction des matériaux à souder, de leurs épaisseurs et de la vitesse de soudage, donc du diamètre des molettes.

La modulation permet d'appliquer au soudage à la molette les avantages du soudage en temps court, rencontrés en soudage par points. L'intensité est réglée, toutes choses égales par ailleurs, au-dessous de la limite où apparaissent des expulsions (crachements).

## Quelques données paramétriques

Le tableau 2 donne quelques valeurs de paramètres de soudage à la molette, selon la nature du matériau et les épaisseurs de tôle.

### Soudage à la molette : conditions de réglage

Aciers doux						Aciers inoxydables 18 / 8						Alliages légers					
e	Effort de pression	Intensité du courant	Temps de travail	Temps de repos	Vitesse [1]	e	Effort de pression	Intensité du courant	Temps de travail	Temps de repos	Vitesse	e	Effort de pression	Intensité du courant	Temps de travail	Temps de repos	Vitesse
(mm)	(N)	(A)	(s)	(s)	(m/min)	(mm)	(N)	(A)	(s)	(s)	(m/min)	(mm)	(N)	(A)	(s)	(s)	(m/min)
0,5	2 500	10 600	0,02 à 0,04	0,04	2,30	0,5	3 300	8 250	0,02	0,04	1,40	0,5	2 600	23 600	0,02	0,02	1,25
0,8	3 400	13 000	0,02 à 0,06	0,04	2,10	0,8	4 000	12 000	0,04	0,06	1,30	0,8	3 300	28 600	0,02	0,06	1
1	4 000	15 000	0,04 à 0,06	0,04	1,90	1	5 800	12 800	0,06	0,06	1,20	1	3 800	32 000	0,04	0,06	0,90
1,5	5 250	17 500	0,04 à 0,08	0,06	1,70	1,5	8 100	15 100	0,06	0,08	1,10	1,5	4 300	36 000	0,04	0,08	0,75
2	6 750	21 000	0,06 à 0,12	0,08	1,50	2	10 000	16 500	0,08	0,10	1	2	4 800	42 000	0,06	0,10	0,60
2,5	8 000	26 000	0,08 à 0,14	0,10	1,30												
3	9 500	30 000	0,10 à 0,20	0,16	1,10												

- [1] -Vitesse de déplacement pièces / molettes.

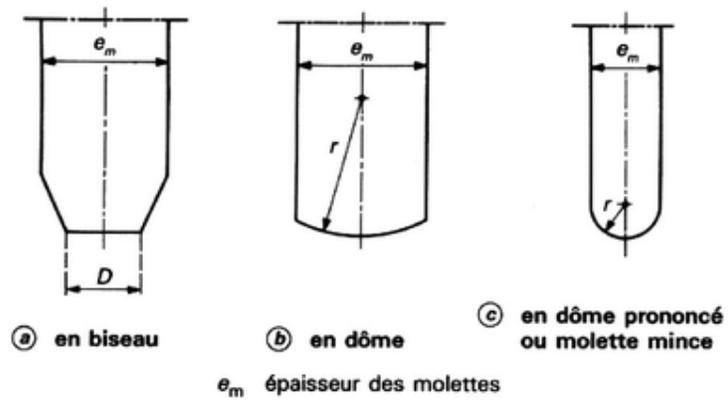


Figure 14 - Soudage à la molette : profils de molette

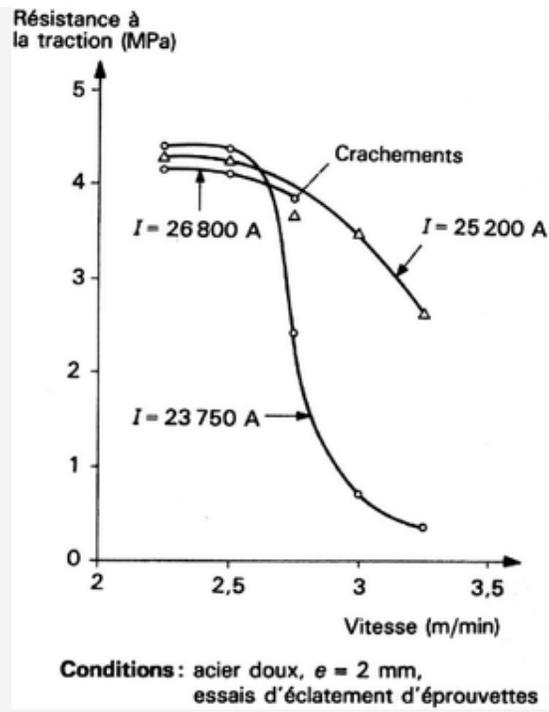


Figure 15 - Soudage à la molette : effets de la vitesse de soudage sur la résistance de la soudure

## **2.4.5- Caractéristiques des soudures à la molette**

Les critères relatifs à la qualité des soudures continues à la molette sont :

- **dimensionnels :**
  - largeur du cordon de soudure (fusion).
  - Pénétration.
  - empreinte des molettes en surface.
  - séparation des tôles.
  - positionnement par rapport aux bords des tôles.
  
- **métallurgiques :**
  - structure des différentes zones.
  - Dureté.
  - absence de défauts (porosités, criques).
  
- **mécaniques :**
  - résistance à la traction.
  - étanchéité sous pression.

## **2.5. SOUDAGE PAR BOSSAGES**

### **2.5.1- Principe**

Ce procédé est également appelé soudage par protubérances ou soudage par projections.

Il permet de réaliser des assemblages continus ou discontinus par superposition ; mais il se distingue du soudage par points ou à la molette en ce que la localisation du courant et de l'effort sur la zone de soudage n'est pas obtenue par les électrodes, mais par la géométrie des pièces à souder elles-mêmes. Il est, de plus, un procédé de soudage global.

La figure 16 donne trois exemples typiques d'assemblage par bossages ou s'y ramenant :

- a) soudage de deux tôles à plat. L'une des tôles a reçu préalablement par emboutissage un certain nombre de bossages qui vont servir à localiser courant et effort ;
- b) soudage d'une bride sur une plaque, sur toute la périphérie ; la soudure est continue et étanche et s'effectue par la fusion du chanfrein prévu dans ce but ;

- c ) soudage de deux fils en croix. C'est le cas intéressant où la localisation est naturelle et où les pièces ne doivent subir aucune préparation.

Dans tous les cas, le courant est amené aux deux pièces à souder au moyen de blocs en cuivre qui servent également à appliquer l'effort de soudage. Ces blocs en cuivre ont des formes adaptées à celles des pièces ; largement dimensionnés, ils sont peu sollicités et peu affectés par l'usure.

L'opération de soudage de deux pièces a un caractère global : un seul cycle de machine suffit pour effectuer l'ensemble des soudures prévues pour l'assemblage des deux pièces positionnées et maintenues par les blocs en cuivre qui deviennent ainsi de véritables outillages de soudage.

On retrouve dans ce cycle les mêmes phases précédemment examinées en soudage par points:

- l'accostage : les deux outillages se serrent sur les pièces préalablement positionnées ;
- le soudage : le courant passe et s'accompagne de l'affaissement des bossages ;
- le forgeage : à la fin duquel les outillages s'ouvrent.

Il faut alors passer à une autre pièce, de sorte que les machines à souder par bossages (figure 17), bien que similaires dans le principe aux machines à souder par points, ne comportent pas de marche *à la volée*, Il est cependant très facile de les équiper de dispositifs d'alimentation chargeant et déchargeant automatiquement les pièces, ce qui les ramène à ce fonctionnement.

### **2.5.2- Formation de la soudure**

La figure 18 représente un bossage type créé sur une tôle plate, qui va permettre d'examiner les phénomènes généraux du procédé. Lorsque les pièces sont en place et serrées entre les outillages, dès la fermeture du contacteur primaire, le courant traverse le bossage suivant les lignes de courant représentées. Il rencontre les différentes résistances de contact et celles dues à la résistivité des matières à souder. Mais ici, les résistances de contact électrodes-pièces n'ont plus aucune importance, car la densité de courant y est si faible qu'il ne s'y crée plus de chaleur utile, et les outillages n'ont plus, pour la même raison, aucun rôle thermique pendant la formation de la soudure.

La température s'élève dans le bossage et la chaleur diffuse dans la tôle plate où, par suite de la dissymétrie, elle n'intéresse pas un volume aussi important.

Très rapidement, sous l'effort, le bossage va s'écraser et les deux pièces vont se rapprocher jusqu'au contact.

L'expérience prouve que le courant et l'effort vont continuer à être localisés sur le bossage et sur lui seul.

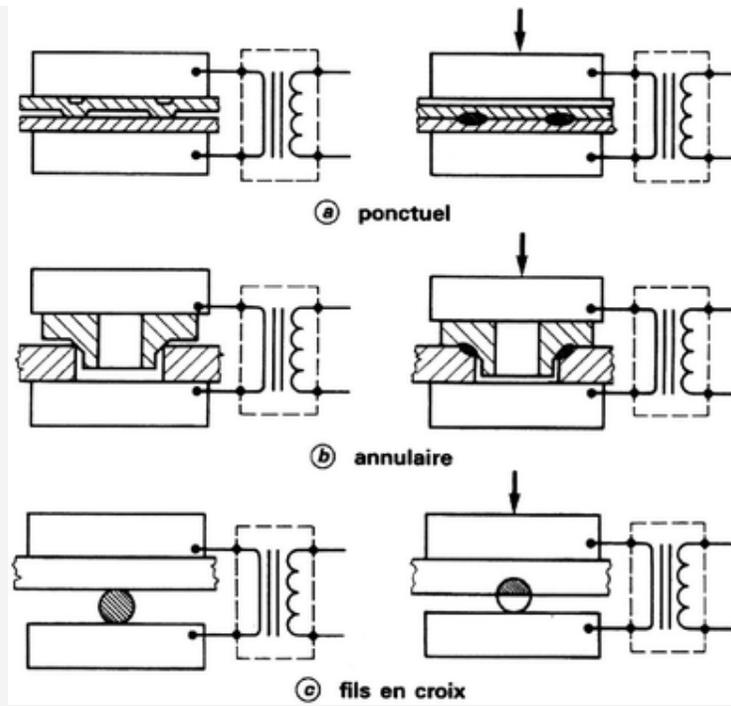


Figure 16 - Soudage par bossages : exemples typiques

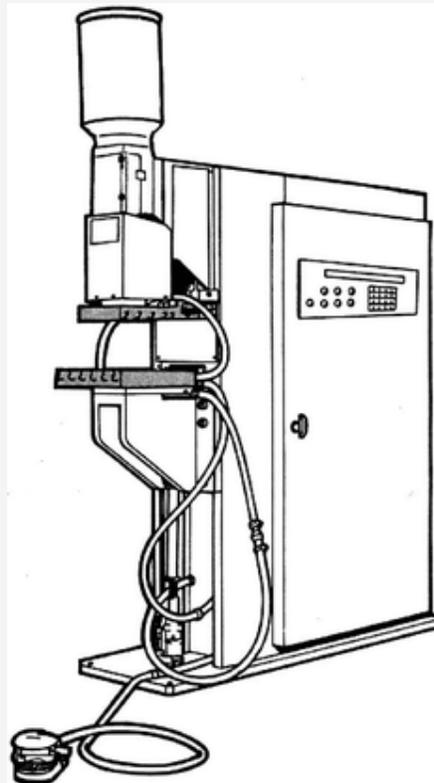


Figure 17 - Soudage par bossages : presse à souder équipée de plateaux rainurés

Bien que les *électrodes* soient plates et très larges, on constate alors que tout se passe comme en soudage par points : apparition d'une zone fondue se développant transversalement et à *cheval* sur le plan de joint, en vase clos, pour finalement atteindre, si le courant est suffisant, un diamètre équivalent à celui du bossage d'origine.

On arrête alors le passage du courant et l'on maintient l'effort pendant le refroidissement et la recristallisation qui l'accompagne. La coupe effectuée sur une telle soudure fait apparaître les mêmes aspects métallurgiques qu'un point de soudure.

Des phénomènes identiques se développent dans tous les autres cas d'application, tels le chanfrein de la bride ou les fils en croix, et l'on y retrouve les mêmes effets quant à l'équilibre des températures et l'affaissement en cours de chauffe.

On peut également étendre le raisonnement au cas fréquent d'une plaque comportant plusieurs bossages soudés simultanément, car il est facile d'obtenir entre eux une excellente répartition du courant et de l'effort. C'est là un des avantages du soudage par bossages. D'ailleurs, en contrepartie, il serait difficile de les réaliser successivement à cause de l'affaissement qui produirait diverses déformations des pièces. Cela devient ainsi une obligation et, par suite, dans certains types d'assemblages, une limitation. C'est en quoi le procédé doit être considéré comme *global*.

On se reportera, pour l'examen de chacun des paramètres, au paragraphe sur le soudage par points, se limitant ici à une étude comparative, avec lui, des avantages et des inconvénients.

### Comparaison avec le soudage par points

#### ▪ **Avantages :**

- meilleure fiabilité grâce au comportement des outillages qui ne sont pas sujets à usure ;
- possibilité, à épaisseur égale, de souder en un coup des sections plus importantes ;
- possibilité d'obtenir des zones fondues de formes très diverses et, en particulier, de réaliser des soudures annulaires étanches ;
- faculté de réaliser des assemblages sur pièces massives ;
- possibilité de réaliser des soudures en T, etc.

#### ▪ **Inconvénients :**

- impossibilité, sauf dans des cas très limités, de souder des alliages légers : l'absence de fusion pâteuse ne permet pas l'écrasement progressif et donne lieu à une expulsion de métal ;
- difficulté d'équilibrer la fusion dans certains cas ;
- limitation de la dimension des pièces qui ne permet plus, lorsqu'elle devient trop importante et que les bossages doivent être répartis, de réaliser une bonne répartition du courant ;

impossibilité de souder en même temps deux bossages situés sur deux plans non parallèles et faisant entre eux un angle inférieur à 90°.

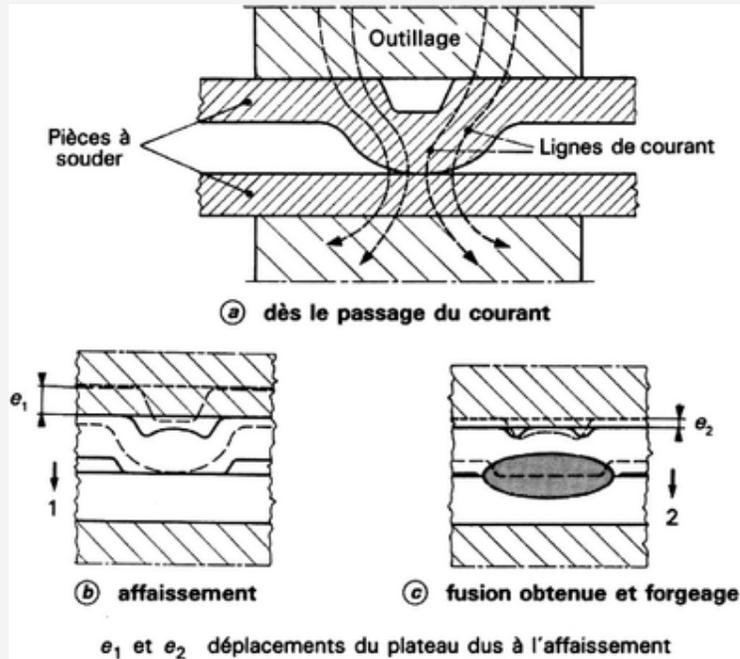


Figure 18 - Soudage par bossages : formation de la soudure

### 2.5.3 Caractéristiques des soudures par bossages

#### Critères et formes d'assemblage

On a beaucoup plus de liberté dans la mise en œuvre du soudage par bossages que dans le soudage par points.

Les critères de positionnement et les critères dimensionnels relèvent de cas d'espèce et dépendent plus des conditions de réalisation des bossages que de leur soudage. L'expérimentation sur échantillon devient indispensable dans les cas extrêmes.

Le soudage par bossages est le domaine des petits assemblages (figure 20) pouvant requérir des précisions mécaniques élevées que permettent de satisfaire les outillages de soudage.

Le soudage des fils en croix constitue un domaine important de ce procédé. Il s'étend depuis des diamètres de quelques dixièmes de millimètre jusqu'à 20 mm.

### Paramètres du soudage par bossages

Le tableau 3 donne les conditions de réglage pour le soudage par bossages (avec  $e$  épaisseur des tôles) et le soudage de fils en croix (avec  $\varnothing$  diamètre du fil).

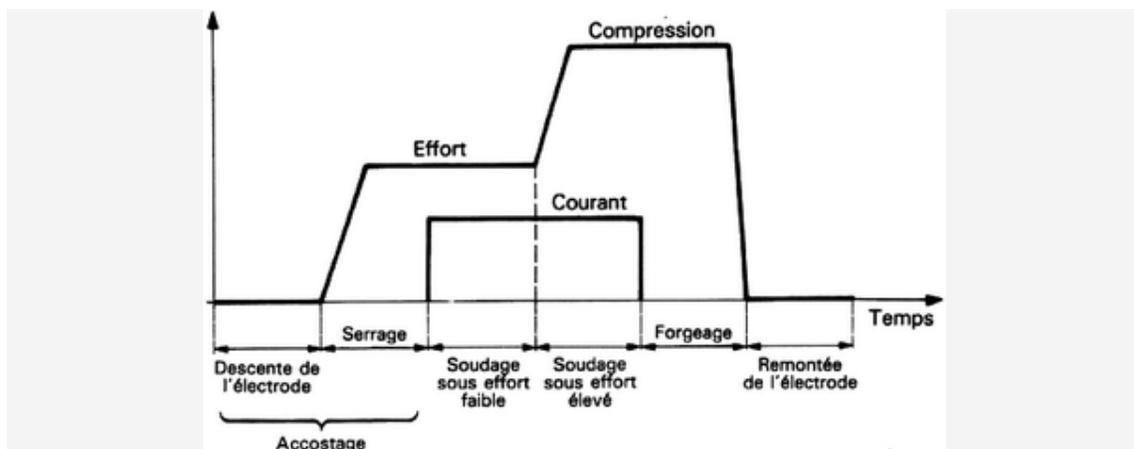


Figure 19 - Soudage par bossages : cycle

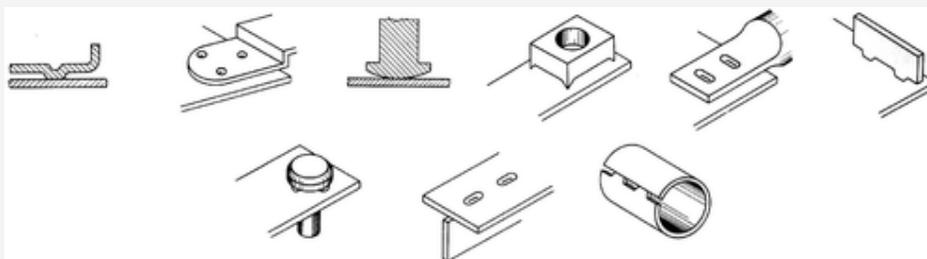
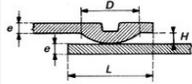


Figure 20 - Soudage par bossages : assemblages typiques

## Soudage par bossages : conditions de réglage

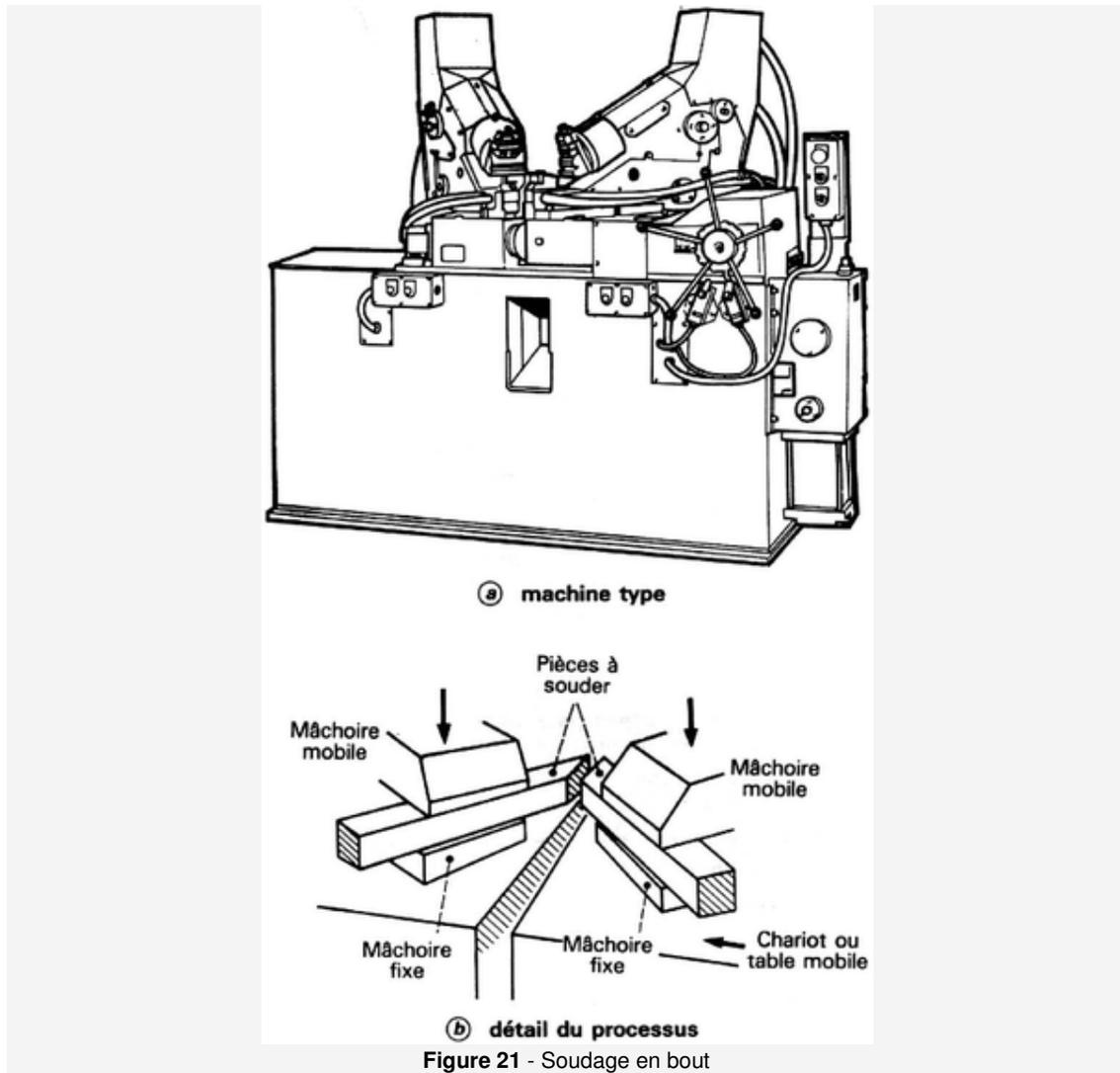
Aciers doux								Aciers inoxydables 18 / 8								Soudage de fils en croix			
e	D	H	L	Effort de pression	Intensité du courant	Temps de soudage	Ø du point soudé	e	D	H	L	Effort de pression	Intensité du courant	Temps de soudage	Ø du point soudé	Ø	Effort de pression	Intensité du courant	Temps de soudage
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(N)	(A)	(s)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(N)	(A)	(s)	(mm)	(mm)	(N)	(A)	(s)
0,5	1,75	0,5	4	1 150	4 800	0,16	3,5	0,5	1,75	0,5	4	2 000	4 000	0,16	3,5	1	600	600	0,04
0,8	2,5	0,6	5,5	1 850	6 700	0,24	4,3	0,8	2,5	0,6	5,5	3 200	5 600	0,24	4,3	2	1 000	1 200	0,08
1	3	0,7	7	2 300	8 000	0,26	4,5	1	3	0,7	7	4 000	6 600	0,26	4,5	3	1 400	2 000	0,12
1,5	4	0,9	9,5	3 500	11 000	0,36	5,7	1,5	4	0,9	9,5	6 000	9 000	0,36	5,7	4	2 000	2 900	0,16
2	4,75	1	11	4 650	13 000	0,42	7	2	4,75	1	11	8 000	11 000	0,42	7	6	2 800	5 000	0,30
2,5	5,5	1	12,5	5 800	14 500	0,46	9	2,5	5,5	1	12,5	10 000	12 500	0,46	9	8	3 800	7 500	0,42
3	7	1,5	17,5	7 000	16 500	0,48	11	3	7	1,5	17,5	12 000	14 000	0,48	11	12	6 000	14 000	0,74



## **2.6- SOUDAGE EN BOUT PAR ETINCELAGE**

### **2.6.1- Principe:**

Le procédé de soudage en bout, première forme du soudage par résistance, permet, comme son nom l'indique, de souder bout à bout des barres ou des profilés de même section droite ou des pièces ayant reçu une préparation les ramenant à ce cas. Sur la figure 21 est représentée une opération de soudage en bout. Les pièces sont placées dans des mâchoires en cuivre, dont l'une est fixée sur un chariot mobile en translation parallèlement à l'axe de soudage.



L'opérateur actionne la commande du cycle qui se déroule automatiquement de la façon suivante :

- avance et accostage : le chariot mobile entre en mouvement pour rapprocher les pièces qui viennent en contact sous un effort déterminé ;
- soudage : le courant passe, déclenché par la fermeture du contacteur primaire du circuit de puissance, et porte les parties en contact à la température de soudage ;
- forgeage ou maintien : exercé par l'effort du chariot mobile et à la fin duquel les mâchoires s'ouvrent en permettant le retour au repos du chariot.

Comme dans le cas général, ces différentes opérations sont temporisées. Il n'existe pas, dans les machines en bout, de marche à *la volée* semblable au soudage par points. Cependant, avec un dispositif de chargement et déchargement automatiques des pièces, on peut obtenir un fonctionnement similaire.

La description précédente concerne un mode opératoire qui se limite en pratique au soudage de pièces de très petites sections, ne dépassant pas quelques dizaines de millimètres carrés.

Lorsqu'il s'agit de pièces massives, pour lesquelles il n'est pas possible d'obtenir une portée parfaite des surfaces en regard, la répartition du courant très imparfaite ne permet pas d'engager directement un processus d'échauffement régulier et utilisable ; aussi a-t-on recours à un artifice, consistant à produire des étincelles de contact, dont l'intérêt est de créer un échauffement parfaitement réparti sans exiger de densité de courant exagérée. Le procédé est alors appelé, pour cette raison, soudage en bout par étincelage ou plus simplement soudage par étincelage et c'est sous cette forme qu'il est généralisé. Il permet de souder des sections de 10 000 mm<sup>2</sup>.

### **2.6.2- Formation de la soudure:**

---

La figure 22 représente, par une suite de graphiques, les phénomènes élémentaires du soudage par étincelage et leur répercussion sur l'intensité et la tension secondaires de la machine.

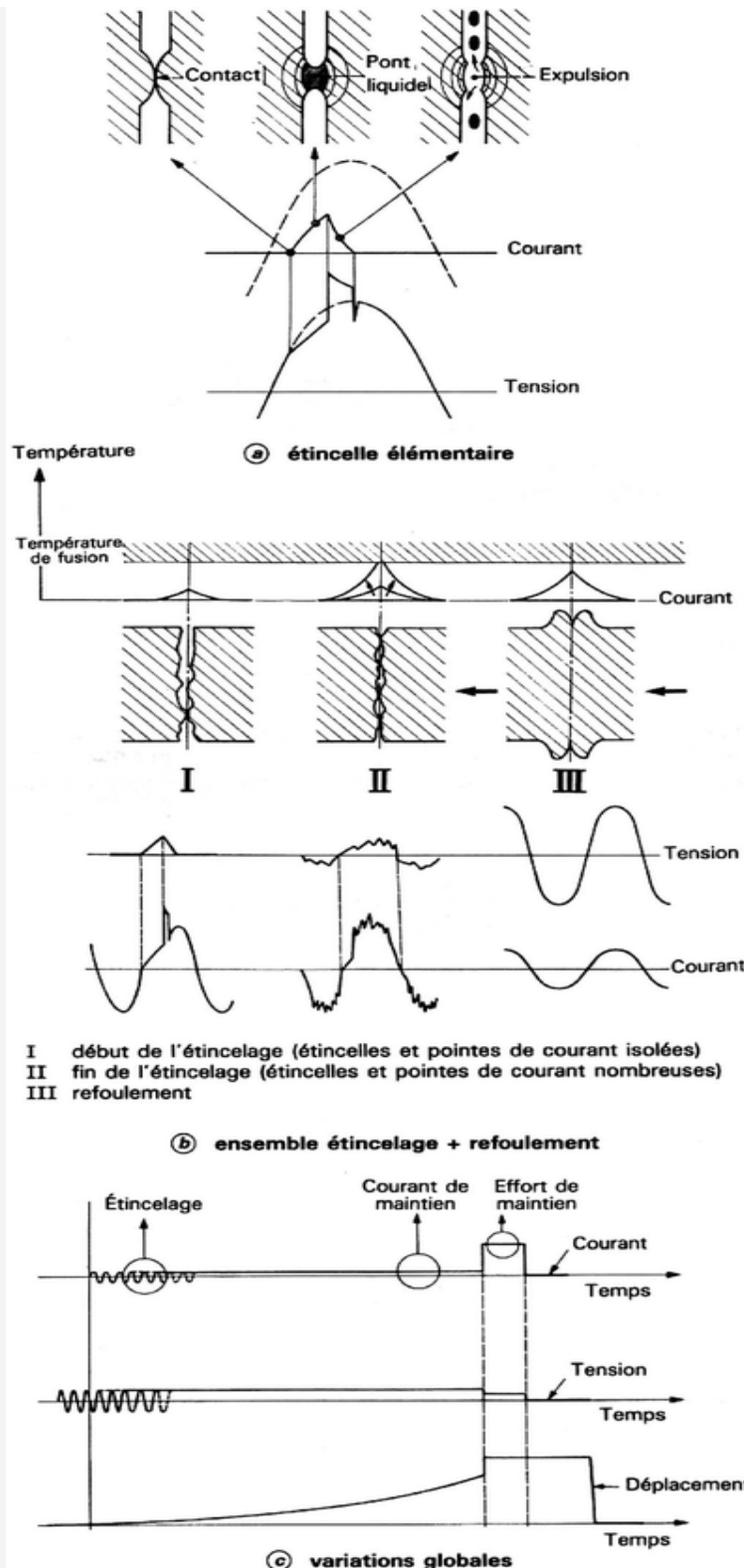


Figure 22 - Soudage en bout : formation de la soudure par étincelage en courant alternatif

Au départ du soudage, les deux faces sont écartées l'une de l'autre de sorte que, lorsque le contacteur primaire se ferme, il ne passe aucun courant et la tension à vide du générateur (transformateur) apparaît entre les extrémités des pièces. Cette tension est de l'ordre de quelques volts.

On actionne le système d'avance de la mâchoire mobile et les pièces viennent en contact par l'une de leurs aspérités, fermant alors la boucle secondaire où un courant s'établit. Ce courant a, au point de contact, une telle densité qu'il y crée une élévation très rapide de la température. Il se forme un petit pont liquide qui finit par exploser sous forme d'étincelles incandescentes.

Le contact électrique est rompu avec formation d'un minuscule arc.

Par l'avance continue de la mâchoire mobile, ce phénomène élémentaire, qui n'a duré que quelques millisecondes, se multiplie un peu partout dans l'interface, au gré de la formation de nouveaux contacts et avec une fréquence croissante, créant autant d'étincelles dans l'espace environnant. À la condition que la vitesse d'avance soit suffisante, il s'établit un régime stable dit *étincelage*, qui constitue une source de chaleur statistiquement répartie, fonctionnant à une température moyenne voisine de la température de fusion du matériau.

Les parties adjacentes s'échauffent alors progressivement par le flux de chaleur ainsi produit, suivant une loi globalement exponentielle.

Au bout d'un temps  $t_1$ , on applique brusquement sur la pièce mobile l'effort de forgeage, qui a pour effet :

- de rapprocher brutalement les deux pièces ;
- de stopper l'étincelage ;
- d'expulser vers l'extérieur une partie de la matière qui, à la température atteinte, flue sous la poussée en formant un bourrelet ;
- de fermer le circuit secondaire sur toute la section, le courant prenant alors son régime permanent avec une intensité élevée.

Au temps  $t_2$ , on interrompt le courant ; la zone affectée par la chaleur se refroidit, tandis que l'on maintient l'effort. La liaison est réalisée. Dans cette action appelée refoulement, le métal en fusion ayant subi l'action de l'air se trouve rejeté à l'extérieur, laissant une liaison métallurgiquement saine.

### **2.6.3- Caractéristiques des assemblages en bout:**

---

#### **Critères**

Les critères des soudures en bout sont les suivants :

- **géométriques** (figure 24) :
  - alignement angulaire des pièces,
  - décalage transversal,
  - importance du bourrelet,

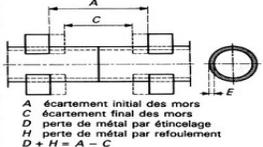
- déformation locale ;
- **métallurgiques :**
  - structure des différentes zones,
  - absence de défauts,
  - duretés (figure 25) ;
- **mécaniques :**
  - résistances à la traction et à la flexion.

## Applications

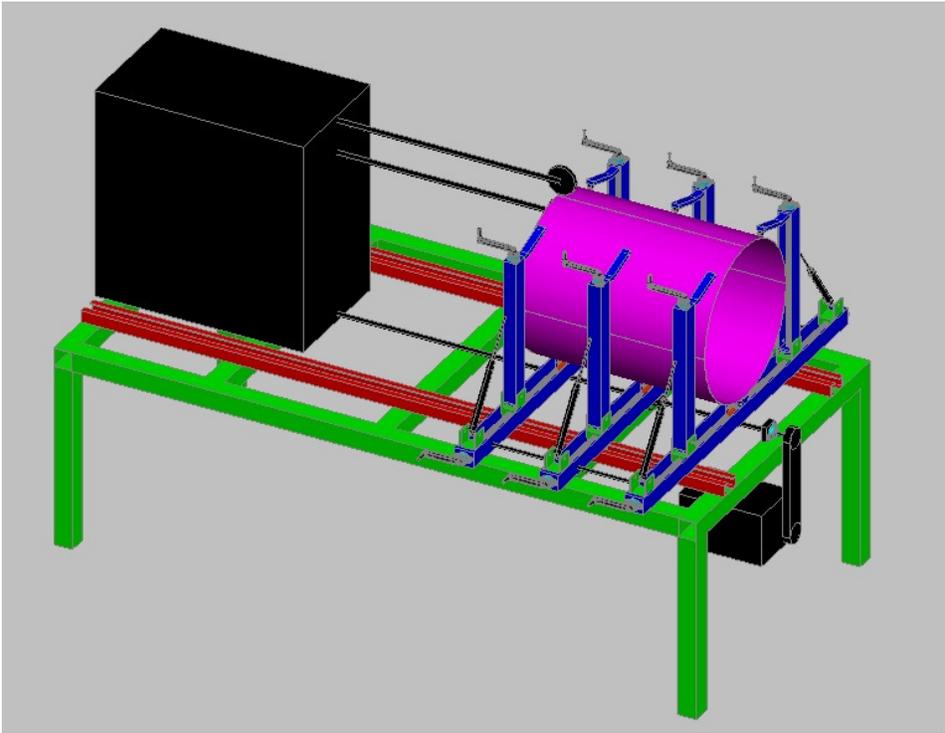
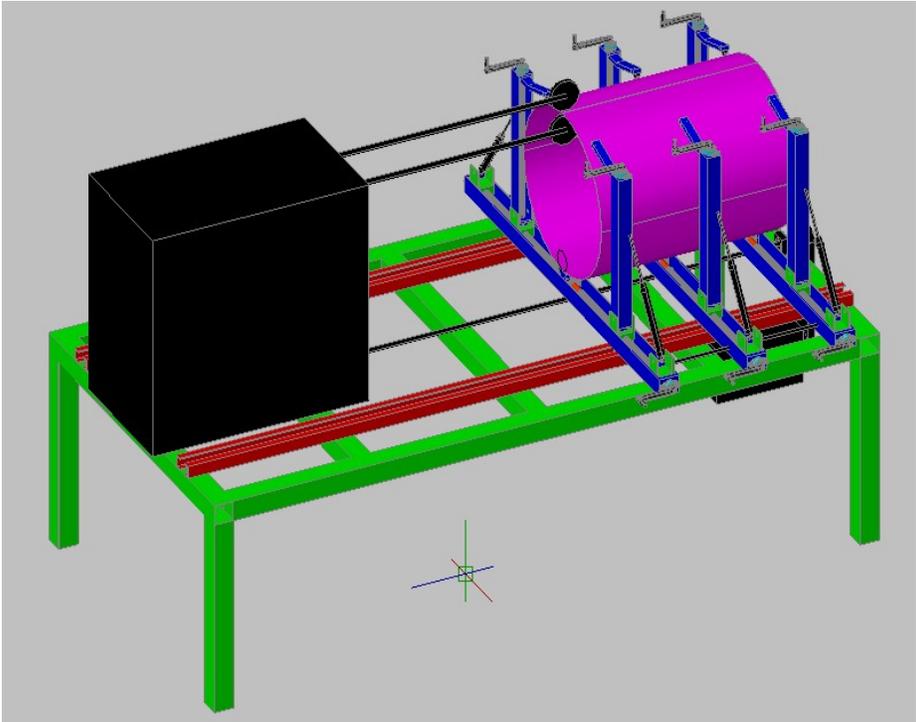
Le soudage en bout peut s'accommoder de toutes les formes de sections, dans la mesure où il est possible de mettre en œuvre des serrages et des amenées de courant satisfaisants (figure 26). Ainsi les profilés creux rencontrés en menuiserie métallique peuvent présenter des difficultés de ce point de vue.

Les pièces forgées à surface rugueuse peuvent nécessiter des usinages préalables.

## Soudage en bout : conditions de réglage

Aciers doux						 <p>A écartement initial des mors C écartement final des mors D perte de métal par étincelage H perte de métal par refoulement <math>D + H = A - C</math></p>					
Section (mm <sup>2</sup> )	Tension étincelage (V)	Courant (A)	Puissance branchement (kVA)	Puissance maximale (kVA)	Effort de refoulement (N)						
500	5,3	15 000	20	50	40 000						
1 000	6,2	25 000	40	120	80 000						
2 000	7,8	35 000	100	320	160 000						
4 000	10,3	47 500	200	600	320 000						
8 000	13,6	55 000	300	1 260	640 000						
Tubes ou feuillards						Barres rondes					
E (mm)	A (mm)	C (mm)	D (mm)	H (mm)	Temps d'étincelage (s)	Diamètre extérieur (mm)	A (mm)	C (mm)	D (mm)	H (mm)	Temps d'étincelage (s)
0,5	5,5	2,5	2,1	0,9	0,8	10	17,4	10,2	5,2	2	3,25
1	11	5	4,3	1,7	1,75	12	20	12	6	2	3,8
1,5	16	7,6	6,1	2,3	2,75	14	24	14	7,2	2,8	5
2	20	9	8	3	4	15	26	15	8	3	5,5
3	29	13,5	11,2	4,3	6,25	18	30	18	8,7	3,3	7,5
5	44	21,2	16,5	6,3	12	20	34	20,3	10,1	3,6	9

**CHAPITRE 3: MACHINE DE SOUDAGE A LA MOLETTE  
DES GAINES CIRCULAIRES**



### **3.1- But de la machine**

Le but de cette machine, est de simplifier la fabrication des gaines circulaires, donner un rendement plus efficace, augmenter la productivité, et enfin gagner le temps.

Au niveau technique, cette machine a pour but de minimiser les fuites de l'air, tel qu'on voit dans les gaines fabriquées traditionnellement, et soudées par points. La méthode de soudage utilisée dans notre machine est le soudage à la molette, qui est un genre du soudage par résistance. Cette méthode peut nous offrir une bonne qualité de soudure, continue ou presque continue, pour minimiser les fuites d'air.

### **3.2-Éléments principaux de la machine**

- Une table ou châssis
- Guides longitudinales
- Roulements
- Vis à billes
- Guides transversales
- Vis transversales
- Guides verticales
- Vis verticales
- Vérins
- Manivelles
- Moteur électrique
- Courroie
- Soudeuse à la molette.

### **3.3- Principe de fonctionnement**

Le but de cette machine est de fabriquer des gaines circulaires en séries. On commence par régler les guides verticales et les bras manuellement avec les manivelles, pour obtenir le diamètre de la gaine désiré. Il existe dans la guide transversale, une vis dentée contrairement des deux cotés, afin de fixer toujours le centre de la machine. En tournant la manivelle à droite ou à gauche, on peut augmenter ou diminuer la dimension de la gaine. Chaque guide doit être réglée indépendamment, pour pouvoir obtenir les tolérances demandées.

Les manivelles situées en haut des guides verticales permettent de fixer et maintenir la bonne position de la tôle enroulée, afin d'être bien soudée.

Les guides verticales, sont maintenues dans leurs positions verticales, grâce à des vérins choisis, qui ferment lorsque le cycle de soudage se termine, et s'ouvrent de nouveau après l'installation de la nouvelle tôle à souder, en gardant la même position et la même dimension de gaine.

#### Le soudage:

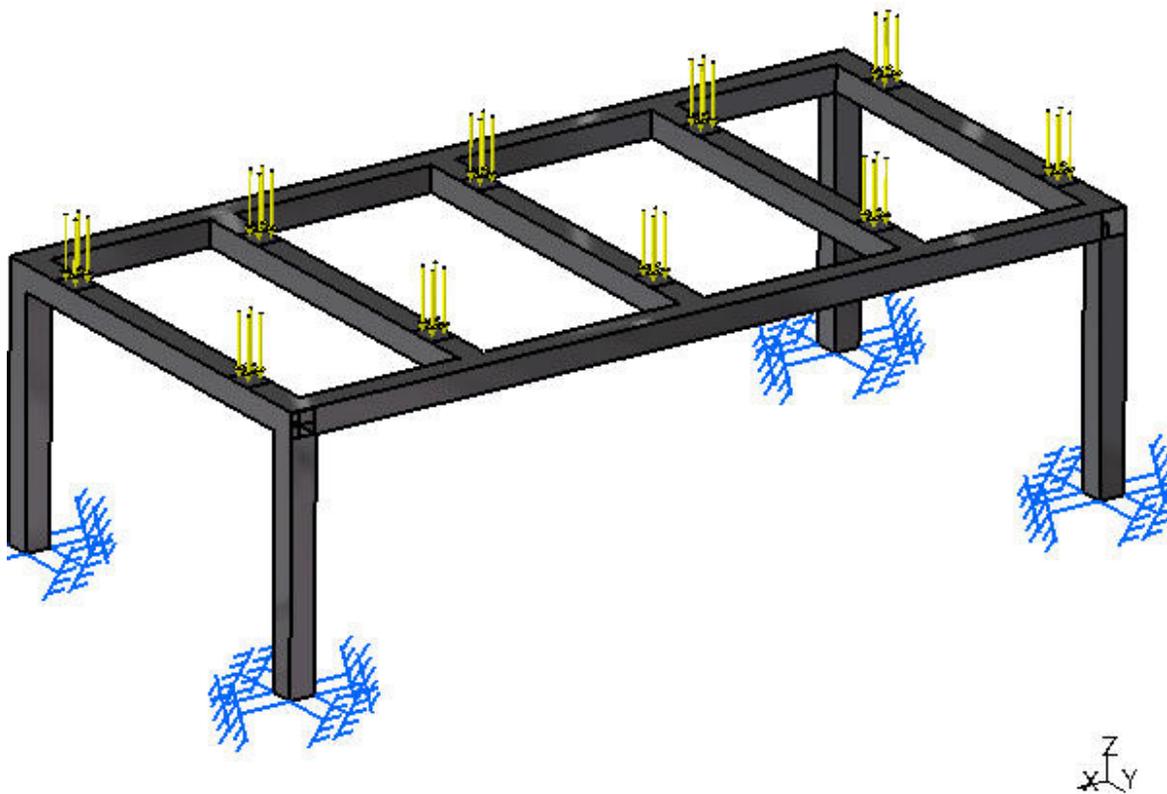
Une fois la tôle fixée sur la machine, on peut démarrer le moteur électrique, et les transformateurs de la soudeuse en même temps. Le moteur fait tourner une vis à bille grâce à un système poulie-courroie, de façon que l'écrou soit soudé à la partie mobile de la machine.

Le déplacement est guidé par des guidages longitudinaux, avec des roulements à billes.

Le moteur électrique travaille grâce à un variateur de fréquence, qui nous permet de préciser le nombre de tours du moteur et le sens de rotation. Ce système est muni d'un contrôleur, qui lui permet de retourner à sa position initiale, après avoir fini le soudage (un cycle).

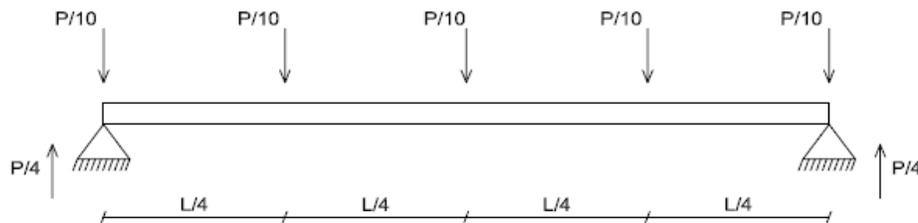
De nouveau, les vérins ferment et on obtient une gaine bien soudée.

### **3.4-Dimensionnement de la machine**



Soit "P" le poids porté par la table ; ce poids est distribué sur les poutres horizontales de la table en 10 points. On considère qu'en chaque point on a un effort de P/10.

La poutre est une poutre rectangulaire appuyée des deux extrémités.



« P » est la charge portée par la table, constituée des éléments suivants :

- 3 barres transversales de types « U », de longueur 2 m , de section 10 cm x 85 cm d'épaisseur 6 mm.

$$S = (0,085 \times 0,006) + (0,085 \times 0,006) + (0,088 \times 0,008) = 1,548 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$V = 1,548 \cdot 10^{-3} \times 2 = 3,096 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$\rho = \frac{m_1}{V} \rightarrow m_1 = \rho \times V = 3,096 \cdot 10^{-3} \times 7860 = 24 \text{ kg}$$

- 3 vis transversales, de longueur 2m et de diamètre 25mm

$$S = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi \times 25^2}{4} = 490,87 \text{ mm}^2 = 490,87 \text{ mm}^2 = 4,9 \cdot 10^{-4}$$

$$V = 4,9 \cdot 10^{-4} \times 2 = 9,8 \cdot 10^{-4}$$

$$M = \rho \times V = 7860 \text{ kg /m}^3 \times 9,8 \cdot 10^{-4}$$

$$M = 7,703 \text{ kg}$$

- 6 barres verticales de type "U", de longueur 75cm, de section 8cm x 7cm et d'épaisseur 6mm

$$S = (80 \times 6) + (64 \times 6) + (74 \times 6)$$

$$S = 1308 \text{ mm}^2$$

$$V = 1308 \times 750 = 9,81 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$M = \rho \times V = 7860 \text{ kg /m}^3 \times 9,81 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$M = 7,76 \text{ kg}$$

- 6 vis verticales, de longueur 75cm et de diamètre 25 mm

$$S = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi \times 25^2}{4} = 490,87 \text{ mm}^2 = 4,9 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$V = 4,9 \cdot 10^{-4} \times 0,75 = 3,68 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$M = \rho \times v = 7860 \text{ kg/m}^3 \times 3,68 \cdot 10^{-4}$$

$$M = 2,89 \text{ kg}$$

- Les pistons : on considère chaque piston de 3 kg.
- La masse de la plus grande conduite possible à souder avec notre machine est la conduite de diamètre 80 cm, de longueur 1 mètre.

La longueur de la tôle à enrouler est :

$$\pi \times d = \pi \times 80 = 251 \text{ cm}$$

La largeur est fixée de 1 mètre.

Selon les normes SMACNA, une conduite de diamètre 80 cm doit être d'épaisseur 1 mm.

Le volume de la tôle sera :

$$V = 2,51 \times 1 \times 0,001 = 2,51 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$\rho = \frac{m}{v} \rightarrow m = \rho \times v = 7860 \times 2,51 \cdot 10^{-3} = 19,72 \text{ kg}$$

- 4 poutres longitudinales portants les roulements de longueur 3,5m , de section 6cm x 3,3cm et d'épaisseur 6mm

$$S = (0.033 \times 0.006) + (0.033 \times 0.006) + (0.048 \times 0.006) = 6,84 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$V = S \times 3,4 = 2,3256 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$\rightarrow m = \rho \times v = 18,3 \text{ kg}$$

### **3.5-Calcul de la flèche de la poutre longitudinale**

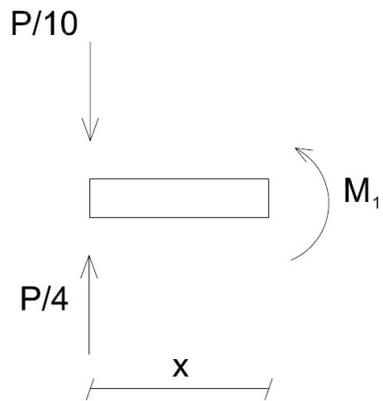
La masse portée par la table sera:

$$3 \times 24 + 3 \times 7,7 + 6 \times 7,76 + 6 \times 2,89 + 6 \times 3 + 19,72 + 4 \times 18,3 = 269$$

Alors la charge portée est de 270kg

$$\rightarrow P = 2700 \text{ N}$$

**1er cas:**  $0 \leq x_1 \leq \frac{L}{4}$



$$\sum M=0$$

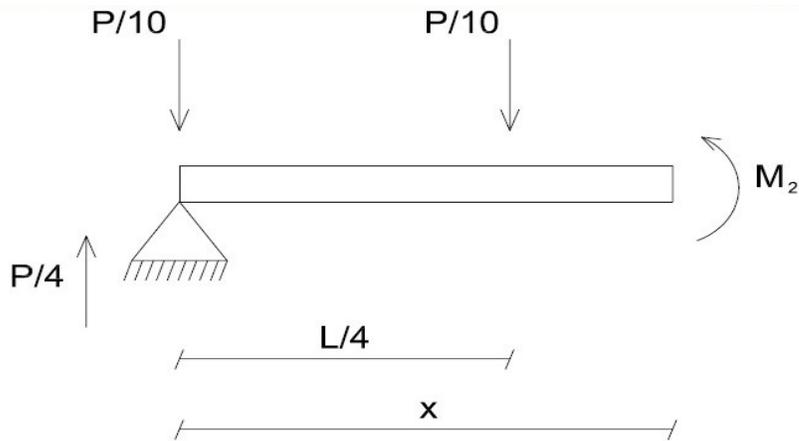
$$\rightarrow M_1 + \frac{P}{10} x_1 - \frac{P}{4} x_1 = 0$$

$$M_1 = \frac{P}{4} x_1 - \frac{P}{10} x_1 = \frac{3P}{20} x_1$$

$$EI \frac{d^2 v_1}{dx_1^2} = \frac{3P}{20} x_1 \rightarrow EI \frac{dv_1}{dx_1} = \frac{3P}{40} x_1^2 + C_1 \quad (1)$$

$$EI v_1 = \frac{P}{40} x_1^3 + C_1 x_1 + C_2 \quad (2)$$

**2eme cas:**  $\frac{L}{4} \leq x_2 \leq \frac{L}{2}$



$$\sum M=0$$

$$\rightarrow M_2 + \frac{P}{10} \left( x_2 - \frac{L}{4} \right) + \frac{P}{10} x_2 - \frac{P}{4} x_2 = 0$$

$$M_2 = \frac{P}{4} x_2 - \frac{P}{10} \left( x_2 - \frac{L}{4} \right) - \frac{P}{10} x_2$$

$$EI \frac{d^2 v_2}{dx_2^2} = \frac{1}{20} P x_2 + \frac{PL}{40}$$

$$EI \frac{dv_2}{dx_2} = \frac{1}{40} P x_2^2 + \frac{PL}{40} x_2 + C_3 \quad (3)$$

$$EI v_2 = \frac{1}{120} P x_2^3 + \frac{PL}{80} x_2^2 + C_3 x_2 + C_4 \quad (4)$$

### Conditions aux limites:

$$\text{Pour } x_1 = 0 \rightarrow v_1 = 0 \rightarrow C^2 = 0$$

$$\text{Pour } x_2 = \frac{L}{2} \rightarrow \frac{dv_2}{dx_2} = 0$$

$$\rightarrow \frac{1}{40} P \left( \frac{L}{2} \right)^2 + \frac{PL}{40} \left( \frac{L}{2} \right) + C_3 = 0$$

$$\rightarrow C_3 = -\frac{PL^2}{160} - \frac{PL^2}{80} = -\frac{3}{160} PL^2$$

**Conditions de continuité :**

$$v_1 \Big|_{x_1 = \frac{L}{4}} = v_2 \Big|_{x_2 = \frac{L}{4}}$$

$$\frac{P}{40} \left(\frac{L}{4}\right)^3 + C_1 \left(\frac{L}{4}\right) = \frac{1}{120} P \left(\frac{L}{4}\right)^3 + \frac{PL}{80} \left(\frac{L}{4}\right)^2 - \frac{3}{160} PL^2 \left(\frac{L}{4}\right) + C_4$$

$$C_4 = \frac{P}{40} \left(\frac{L}{4}\right)^3 + C_1 \left(\frac{L}{4}\right) - \frac{1}{120} P \left(\frac{L}{4}\right)^3 - \frac{PL}{80} \left(\frac{L}{4}\right)^2 + \frac{3}{160} PL^2 \left(\frac{L}{4}\right)$$

$$C_4 = \frac{PL^3}{2560} + C_1 \frac{L}{4} - \frac{PL^3}{7680} - \frac{PL^3}{1280} + \frac{3}{640} PL^3$$

$$C_4 = \frac{PL^3}{240} + C_1 \frac{L}{4}$$

$$\frac{dv_1}{dx_1} \Big|_{x_1 = \frac{L}{4}} = \frac{dv_2}{dx_2} \Big|_{x_2 = \frac{L}{4}}$$

$$\frac{3P}{40} \left(\frac{L}{4}\right)^2 + C_1 = \frac{1}{40} P \left(\frac{L}{4}\right)^2 + \frac{PL}{40} \left(\frac{L}{4}\right) + C_3$$

$$C_1 = \frac{PL^2}{640} - \frac{PL^2}{160} - \frac{3}{160} PL^2 - \frac{3}{160} PL^2$$

$$C_1 = -\frac{19}{640} PL^2$$

$$\rightarrow C_4 = \frac{PL^3}{240} - \frac{19}{640} PL^2 \cdot \frac{L}{4} = \frac{PL^3}{240} - \frac{19}{2560} PL^3$$

$$C_4 = -\frac{5}{1536} PL^3$$

$$\rightarrow C_1 = -\frac{19}{640} PL^2 ; C_2 = 0 ; C_3 = -\frac{3}{160} PL^2 ; C_4 = -\frac{5}{1536} PL^3$$

$$\rightarrow \text{El } v_1 = \frac{P}{40} x_1^3 + \left(-\frac{19}{640} PL^2\right) x$$

Application numérique;  $P = 2700 \text{ N}$  ;  $x_1 = 1,7 \text{ m}$  ;  $L = 3,4 \text{ m}$  ;  $E = 205\,000 \cdot 10^6 \text{ Pa}$  ;  $V_1 = -0,001 \text{ m}$

$$\rightarrow (-0,001) \cdot EI = \frac{2700}{40} \times (1,7)^3 - \left(\frac{19}{640} \times 2700 \times (3,4)^2\right) \times 1,7 = -1243,603125$$

$$EI = 1243603,125$$

$$I = 6,066 \cdot 10^{-6}$$

### **Section carré vide:**

$$I = \frac{A^4}{12} - \frac{a^4}{12} = \frac{0,1^4 - a^4}{12} = 6,066 \cdot 10^{-6}$$

$$0,1^4 - a^4 = 7,279 \cdot 10^{-5}$$

$$a^4 = 2,720 \cdot 10^{-5}$$

$$a = 0,0722 \text{ m}$$

$$\rightarrow e = \frac{A-a}{2} = \frac{0,1-0,072}{2} = \frac{0,027}{2}$$

$$e = 0,0135$$

Alors l'épaisseur des poutres de la table doit être plus grande que 5,5 mm.

### **3.6-vérification du flambage des pièces verticales de la table**

Si le poids calculé porté par la table est de 2700 N, on considère que cette charge est partagée également sur les poutres verticales; donc chaque poutre est soumise à une charge de 675 N.

En tenant compte du poids de la table portée, on considère la charge de 1000 N sur chaque poutre.

$$\text{Formule de flambage: } F = \frac{\Pi^2 EI}{lk^2}$$

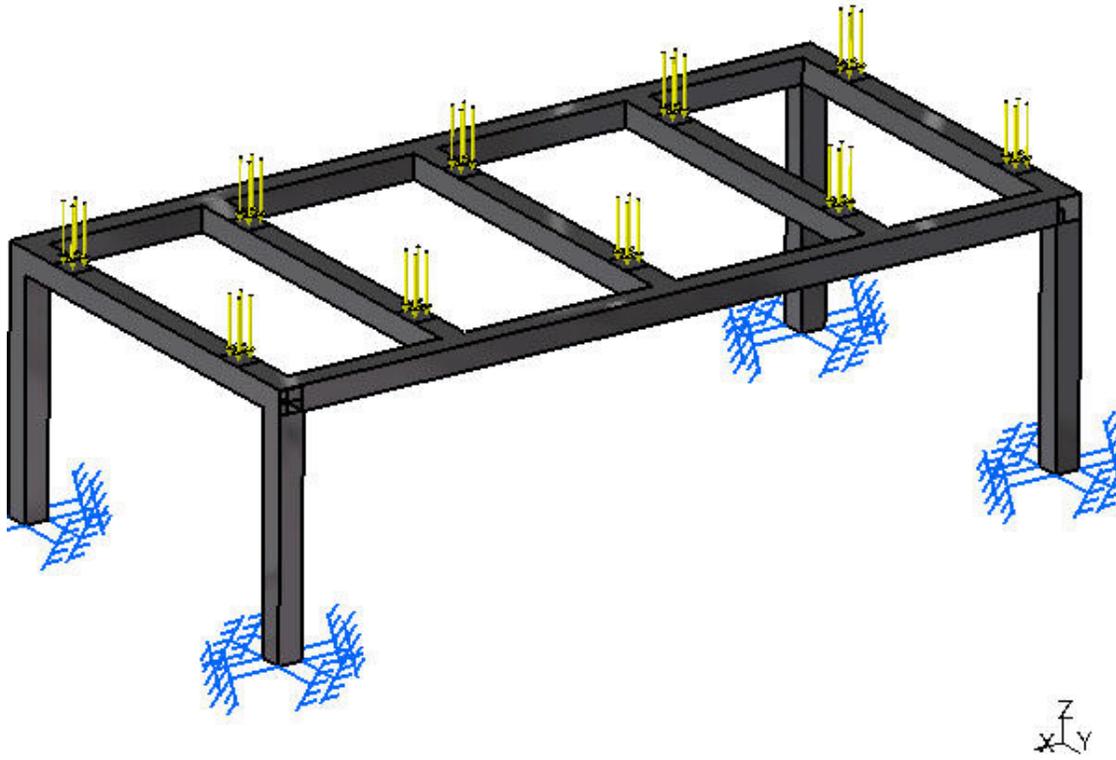
La poutre est encastree-libre ,  $Lk = 2 \times L = 2 \times 0,95 = 1,9$

$$I = 3,1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$\rightarrow F = \frac{\pi^2 \times 205000 \cdot 10^6 \times 3.1 \cdot 10^{-6}}{1.9^2}$$
$$F = 1737433 \text{ N}$$

Donc la poutre vérifie les conditions de flambage.

### 3.7-Vérification de la flèche sur le logiciel « CATIA »



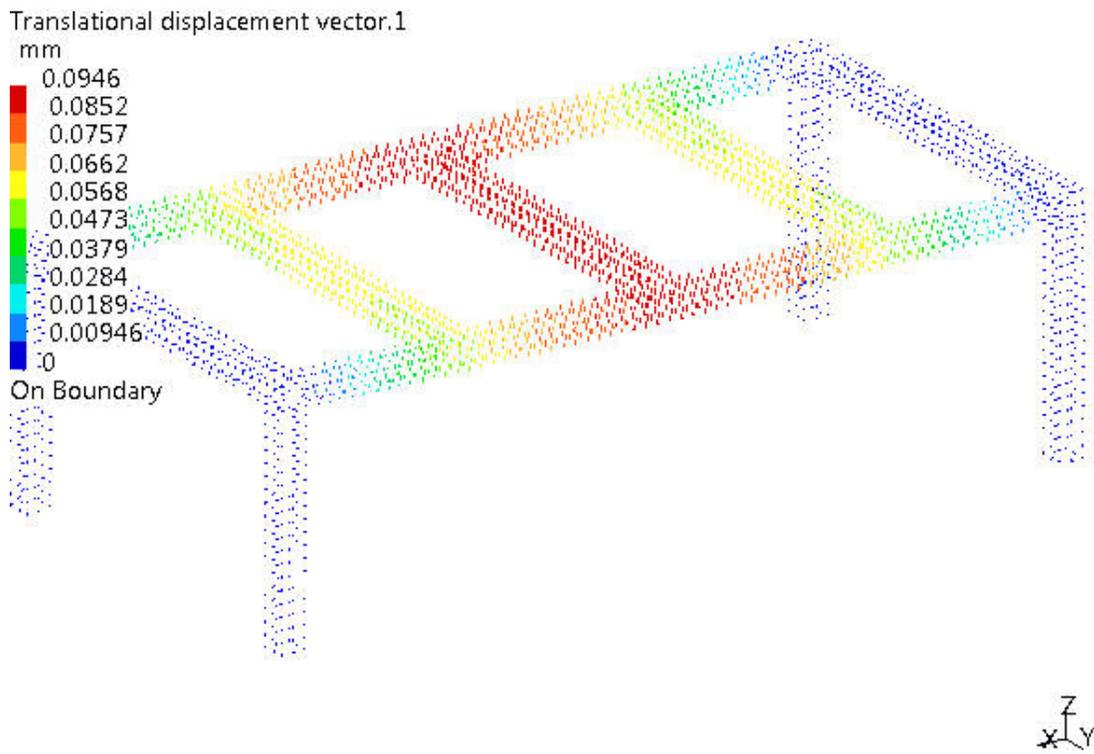


Figure 5

2D elements: : Components: : All

On deformed mesh ---- On boundary ---- Over all the model

**Static Case Solution.1 - Von Mises Stress (nodal values).1**

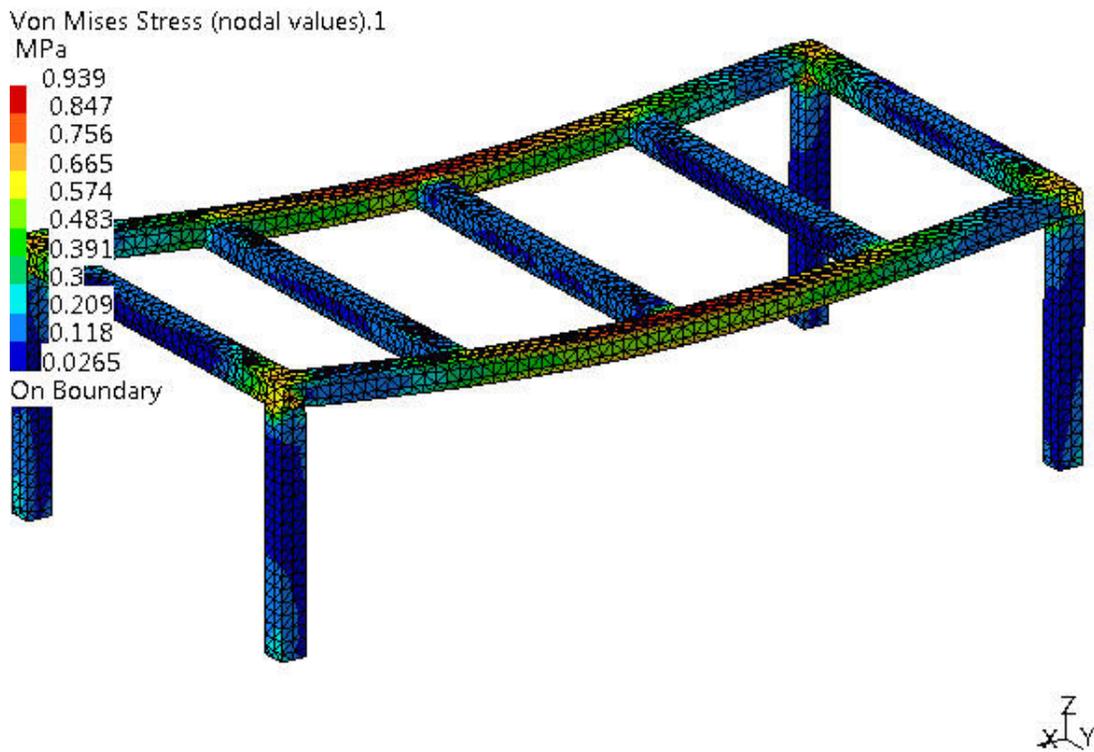


Figure 6

2D elements: Components: : All, Layer: : Upper

On deformed mesh ---- On boundary ---- Over all the model

### Global Sensors

Sensor Name	Sensor Value
Energy	0.012J

En comparant nos résultats avec ceux du « CATIA » en, on remarque que les deux résultats sont acceptables. On a pris 2122 nœuds ce qui nous donne une grande précision des résultats.

### 3.8-Vérification du calcul du flambement sur le logiciel « CATIA »

## Static Case

### Boundary Conditions

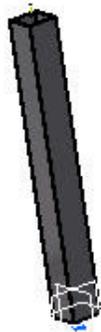


Figure 1

#### **STRUCTURE Computation**

Number of nodes	: 1584
Number of elements	: 768
Number of D.O.F.	: 4752
Number of Contact relations	: 0
Number of Kinematic relations	: 0

## Static Case Solution.1 - Deformed Mesh.2



Figure 2

On deformed mesh ---- On boundary ---- Over all the model

## Static Case Solution.1 - Von Mises Stress (nodal values).2

Translational displacement vector.1  
mm

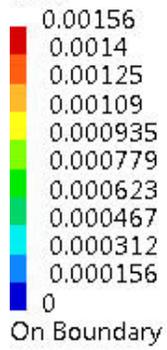


Figure 4

3D elements: : Components: : All

On deformed mesh ---- On boundary ---- Over all the model

### Static Case Solution.1 - Deformed Mesh.1

Stress principal tensor symbol.1  
MPa

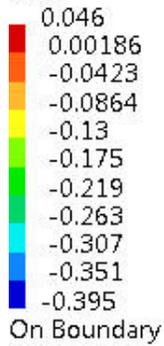


Figure 7

3D elements: : Components: : All

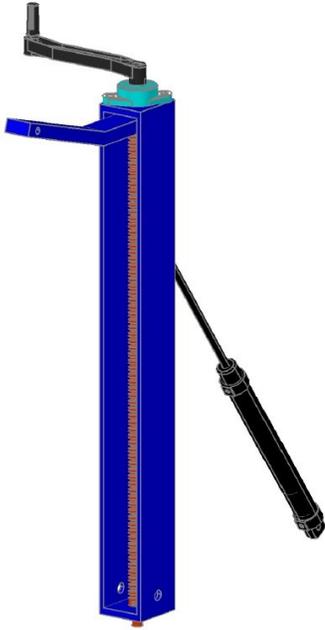
On deformed mesh ---- On boundary ---- Over all the model

### Global Sensors

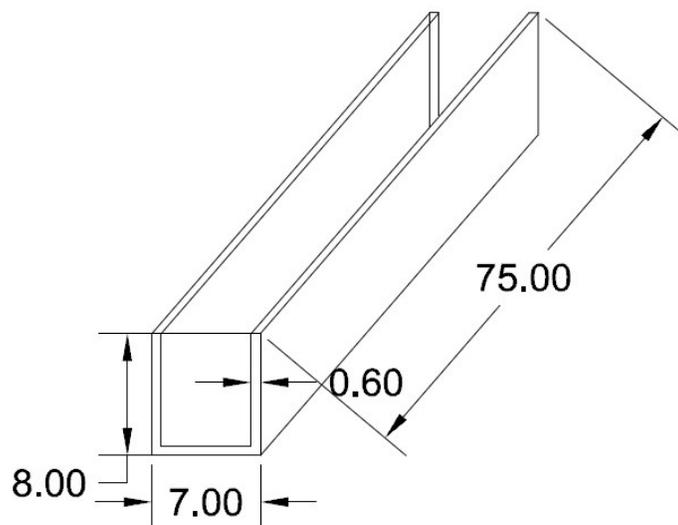
Sensor Name	Sensor Value
Energy	5.199e-004J

En comparant avec les résultats de « CATIA » nous pouvons dire que les dimensions choisies pour la table sont bien déterminées, et supporteront des charges additionnelles, peut être, un poids humain, lors d'une maintenance.

### 3.9-Calcul des Vérins :



### Assemblage



### Calculons la section

$$S = (80 \times 6) + (64 \times 6) + (74 \times 6)$$

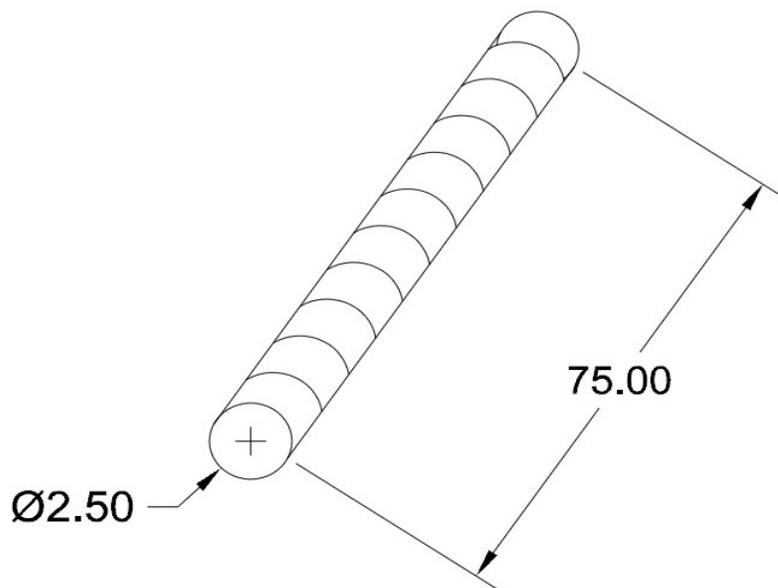
$$S = 1308 \text{ mm}^2$$

$$V = 1308 \times 750 = 9,81 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$M = \rho \times v = 7860 \text{ kg /m}^3 \times 9,81 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$M = 7,76 \text{ kg}$$

-Vis Verticale :



$$S = \frac{\Pi d^2}{4} = \frac{\Pi \times 2,5^2}{4} = 490,87 \text{ mm}^2 = 490,87 \text{ mm}^2 = 4,9 \cdot 10^{-4}$$

$$V = 4,9 \cdot 10^{-4} \times 0,75 = 3,68 \cdot 10^{-4}$$

$$M = \rho \times v = 7860 \text{ kg /m}^3 \times 3,68 \cdot 10^{-4}$$

$$M = 2,89 \text{ kg}$$

$$\rightarrow M \text{ assemblage} = m_u + m_v = 7,76 + 2,89 = 10,65 \text{ kg}$$

Soit 11 kg et supposons que tout le poids de l'assemblage s'appuie sur le piston, en prenant le cas critique.

Prenons la pression du ballon 6 bars.

a) On calcule d'abord l'énergie cinétique à dissiper:

$$E_c = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

J'ai choisi une vitesse de piston de 0,5 m/s

$$E_c = \frac{1}{2} \times 11 \times (0,5)^2$$

$$E_c = 1,375 \text{ J}$$

b) Taux de charge:

Le taux de charge usuel est de 0,5 c'est à dire que le vérin va travailler à 50 % de ses capacités.

$$F \text{ nécessaire} = \frac{11}{0,5} = 22 \text{ daN}$$

La course de vérin est fonction de la longueur de déplacement désirée. Ici j'ai besoin d'une course de 16 cm.

Pour calculer le diamètre D de l'alésage, il faut d'abord calculer la section S ,avec F(nécessaire) et la pression p de l'air comprimé:

$$S = \frac{F \text{ nécessaire}}{p}$$

La section du vérin devra être au moins égale à:

$$S = \frac{F \text{ nécessaire}}{p} = \frac{22}{6} = 3,67 \text{ cm}^2$$

On calcule de diamètre:

$$S = \pi \frac{D^2}{4}$$

$$\rightarrow D = \sqrt{\frac{4 \times S}{\pi}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 3,67}{\pi}}$$

$$D = 2,16 \text{ cm}$$

Le diamètre D nécessaire est alors D = 21,6 mm.

Il faut donc choisir le diamètre parmi les diamètres normalisés:

Récapitulatif

Fonction	Version	Ø de piston [mm]	Gouge [mm]	Course variable <sup>1)</sup> [mm]	Tige de piston					
					Traversants S 2	Prolongs K 8	Filetage extérieur			Taraudage intérieur K 3
							Prolongé K 2	Raccord K 6	Filetage spécial K 5	
A double effet	Type de base avec détection de position (corps de vérin en acier inoxydable)									
	DSNU 	8,10	30, 25, 40, 50,	1	1... 100	■	■	■	■	■
		12,16	80, 100, 125,		1... 200					
		20	160, 200, 250,		1... 320					
		25	300, 320, 400,		1... 500					
		400								
	Type de base avec ou sans détection de position (corps de vérin en aluminium)									
	DSNUP 	16	25, 50, 100	2						
		20								
		25								
Amortissement										
DSNU-Q 	12,16	-	5	160	■	■	■	■	■	
	20	-	5	200						
	25	-	5	250						
Raccordement transversal de l'air comprimé										
DSNU-MQ 	8,10	-	1	100	-	■	■	■	■	
	12,16	-	1	200						
	20	-	1	320						
	25	-	1	500						
Raccordement axial de l'air comprimé										
DSNU-MA 	8,10	-	1	100	-	■	■	■	■	
	12,16	-	1	200						
	20	-	1	320						
	25	-	1	500						
Fixation directe										
DSNU-MH 	8,10	-	1	100	-	■	■	■	■	
	12,16	-	1	200						
	20	-	1	320						
	25	-	1	500						
Type de base sans détection de position										
DSN 	8,10	30, 25, 40, 50,	1	1... 100	■	-	-	-	-	
	12,16	80, 100, 125,		1... 200						
	20	160, 200, 250,		1... 320						
	25	300, 320, 400,		1... 500						
	500									

1) Dans le cas des vérins à détection de position, une course nominale de 10 mm est recommandée pour une utilisation sûre.

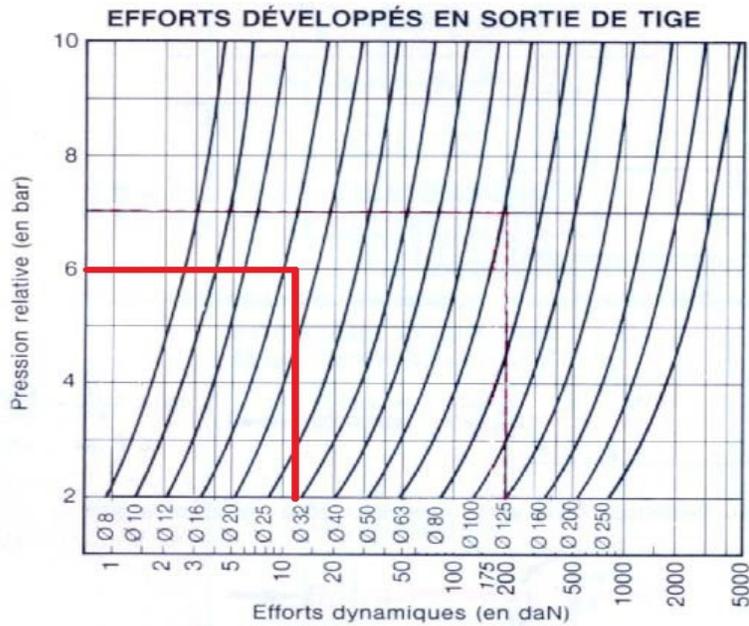
2) Courbes relatives sur demande.

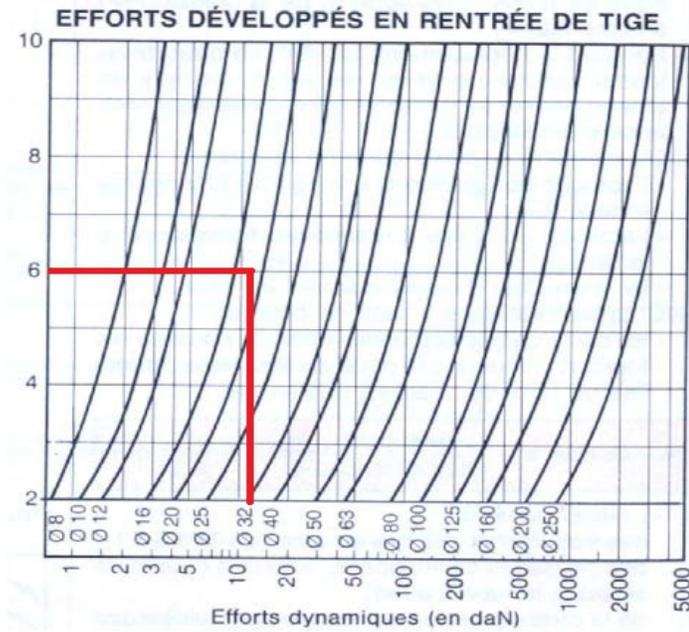
D vérin (mm)	8	10	12	16	20	25	32	40
D tige (mm)	4	4	6	6	10	12	12	18

Dans notre cas, on choisit un diamètre égal à 25 mm, ce qui nous donnera un taux de charge:

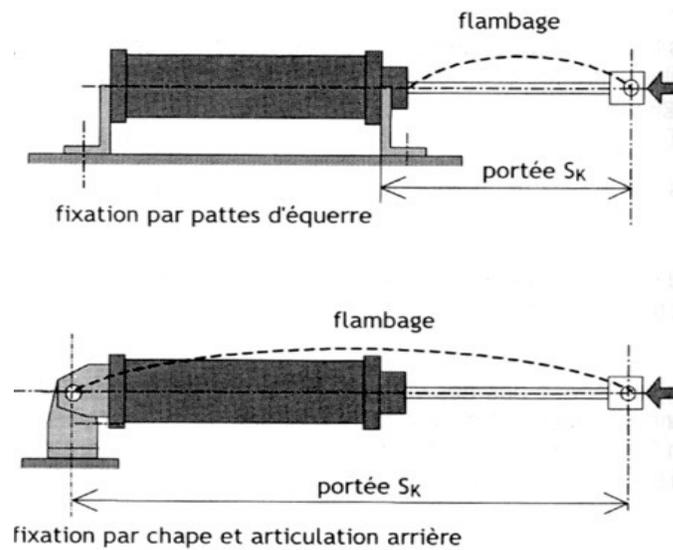
$$t = \frac{F}{P \times S} = \frac{11}{6 \times \pi \times \frac{(2,5)^2}{4}} = \frac{11}{29,45} = 0,37$$

Vérifions notre calcul par l'utilisation des abaques du constructeur donnant les efforts dynamiques développés par le vérin en fonction de son diamètre et de la pression relative.





Etude du Flambement de la tige du vérin:



La charge critique de flambage théorique est donnée par la formule d'Euler:

$$F = \frac{\pi^2 EI}{lk^2}$$

$lk$  = est la longueur de flambement de la poutre.

Le facteur  $l_k$  représente une longueur équivalente à celle d'une poutre rotulée ;  $l_k = 1 \times L$ , longueur de la poutre.

$l_k = 60$  cm.

la tige du vérin est en acier fortement alliés, ou acier inoxydable,

d'où on a:  $E = 205\,000$  Mpa (N/mm<sup>2</sup>)

La tige est de diamètre 12 mm

$$\rightarrow I = \frac{\pi D^4}{64} = \frac{\pi \times (12)^4}{64} = 1017,87$$

$$\rightarrow F = \frac{\pi^2 \times 205\,000 \times 1017,87}{(600)^2} = 5720,6 \text{ N}$$

Or la charge maximale qu'on a est de 110 N, alors le vérin choisi vérifie la condition du flambage.

### **3.10-Vis à billes**

Afin de minimiser les frottements entre la vis longitudinale et la partie mobile de la machine, nous décidons d'utiliser une vis à bille, où l'écrou est soudé avec la partie mobile, et la vis est actionnée à l'aide d'un moteur électrique et un système poulies-courroie.

Les avantages de la vis à billes :

- Efficacité mécanique max. de 98 % comparé à 48 % max. pour la vis trapézoïdale
- Importante efficacité de renversement (jusqu'à 85 %) pour la conversion d'un mouvement longitudinal en mouvement de rotation
- Puissance motrice plus faible nécessaire en raison du rendement important
- Grande longévité grâce au frottement par roulement sans usure, au faible auto-échauffement et à la faible consommation de lubrifiant
- Pas d'effets stick-slip (pas de grippage)
- Positionnement très précis grâce à des écrous sans jeu à l'inversion de marche
- Possibilité de grandes vitesses de translation



## Type d'ensemble

## Type de recirculation



SD/B0  
SDS/BDS



Interne, par pions  
Acier inox en option<sup>1)</sup>



SH  
SHS



Externe, par tube Intégré  
Acier inox en option<sup>2)</sup>



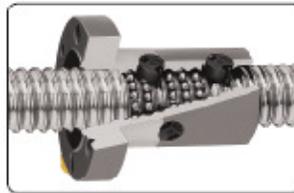
SX/BX



Interne, par pions



SNQBND/PND



Interne, par pions, Norme DIN

Pour optimiser au mieux notre installation, nous préférons une attention particulière sur certains paramètres incontournables devant guider notre choix, tels que les conditions de fonctionnement (la charge, la vitesse, les accélérations, cycles, environnement, etc.), la durée de vie souhaitée, la précision, la rigidité.

### **Charge dynamique de base (Ca)**

Utilisée pour le calcul de la durée de vie des vis. C'est la charge axiale constante pour laquelle la durée nominale (ISO) de l'ensemble considère atteint 106 révolutions sous certaines conditions d'application: charge axiale pure et centrée, constante en intensité et direction.

### **Durée nominale L10**

C'est le nombre de tours (ou l'équivalent en heures de fonctionnement à vitesse constante) qu'un ensemble peut effectuer avant l'apparition de signes de fatigue du métal sur la surface de roulement (écaillage) de l'un des composants. S'agissant d'un phénomène de fatigue, il s'avère, comme pour les roulements, que des ensembles identiques, fonctionnant dans les mêmes conditions, n'ont pas la même durée de vie, d'où la notion de durée nominale.

C'est, conformément aux recommandations de l'ISO, la durée atteinte ou dépassée par 90 % d'une population suffisante de vis apparemment identiques (L10), fonctionnant dans les mêmes conditions optimisées (conditions d'alignement, d'application de charge axiale pure et centrée, vitesse, accélération, lubrification, température et propreté).

### **Durée de service**

C'est la durée réelle atteinte par une vis donnée avant qu'elle ne soit hors d'usage. La défaillance d'une vis n'est pas uniquement due à la fatigue au roulement (écaillage), mais également à l'usure du système de recirculation, à la corrosion, à la pollution et plus généralement à la perte des caractéristiques fonctionnelles exigées pour l'application.

Il est présumé que l'expérience acquise avec des machines similaires permet de sélectionner les vis de façon à obtenir les durées de service adéquates.

Par ailleurs, les autres exigences structurelles concernant par exemple la tenue des attachements de l'écrou et des embouts de vis, doivent être prises en compte lors du dimensionnement des ensembles en fonction des sollicitations envisagées. Le calcul L10 ne peut être considéré que dans le cas d'une charge moyenne équivalente  $\leq$  à 60 % de la capacité dynamique de la vis sélectionnée et d'une course supérieure à 4 fois le pas.

### **Charge dynamique équivalente**

Les lois de la dynamique permettent de calculer la charge qui agit sur un écrou à condition de connaître les efforts extérieurs (par ex. les forces dérivées de la puissance transmise, du travail effectué, force d'inertie de rotation et translation du système). Il est nécessaire de ramener ces efforts à une charge axiale pure correspondant aux conditions de définition de la charge dynamique de base.

Les charges radiales et les moments de déversement doivent être repris par les dispositifs de guidage. La plus grande attention doit être apportée à ces facteurs dès la conception, car ces charges parasites nuisent considérablement à la durée de vie et aux performances attendues des ensembles (rendement, rigidité, bruit).

## **Vitesse limite acceptable**

Il existe une vitesse limite à laquelle une vis peut fonctionner de manière fiable. Elle correspond généralement à la vitesse admissible par le système de recirculation de l'écrou. Elle est caractérisée par le produit: nombre de tours <sup>TM</sup> diamètre nominal de la vis (en mm). Les valeurs limites indiquées correspondent à des vitesses de pointe admissibles, pendant une courte période, pour des ensembles fonctionnant dans des conditions optimisées (alignement, faibles charge extérieure et pré charge, lubrification contrôlée). L'utilisation continue à cette limite peut conduire à une dégradation prématurée du mécanisme de l'écrou par rapport à la durée de vie calculée.

### **Vitesse maximale du système vis/écrou (vitesse maximale admissible en pointe)**

Avec recirculation par pions composites (SH/SHS - SD/SDS/BD/BDS - SX/BX - SN/BN/PN - SND/BND/PND):  $n \cdot d_0 < 50\,000$

Avec recirculation par les faces (SL/TL-SLD/ TLD):  
 $n \cdot d_0 < 90\,000$

Si  $n \cdot d_0 > 50\,000$  ou  $90\,000$  respectivement. avec

$n$  = nombre de tours par minute [tr/min]

$d_0$  = diamètre nominal de la vis [mm]

L'accélération maximum autorisée est de  $4\,000 \text{ rad/s}^2$

## **Précautions**

Une vitesse élevée, associée à une charge importante, nécessite un couple moteur important et conduit à une durée de vie nominale relativement courte.

Une charge axiale minimale ou une légère pré charge est nécessaire pour éviter les glissements internes lors d'accélération/ décélérations élevées, au moment de l'inversion de sens par exemple. La valeur de pré charge des ensembles à grande vitesse doit être basée sur la valeur minimale nécessaire à l'entraînement des éléments roulants.

Une pré charge trop élevée risque de conduire à des températures d'échauffement interne non acceptables.

Diamètre nominal	Pas (à droite)	Ecroû Charges de base dynam. stat.		Nombre de circuits de billes	Jeu max.	Jeu réduit sur demande	Couple à vide moyen	Inertie	Graisse	Poids	Vis Masse		Inertie	Graisse	Désignation
$d_0$	$P_h$	$C_a$	$C_{oa}$				$T_{pr}$				kg/m	kgmm <sup>2</sup> /m	cm <sup>3</sup> /m		
mm	mm	kN		-	mm		Nm	kgmm <sup>2</sup>	cm <sup>3</sup>	kg	kg/m	kgmm <sup>2</sup> /m	cm <sup>3</sup> /m	-	
20	5	14,5	24,4	4	0,1	0,05	0,1	60	1,3	0,24	2	85	2,7		SX/BX 20x5 R
25	5	19,4	37,8	5	0,1	0,05	0,17	125	2,5	0,39	3,3	224	3,4		SX/BX 25x5 R
	10	25,8	43,7	4	0,12	0,08	0,23	135	4,6	0,4	3,2	255	3,2		SX/BX 25x10 R
32	5	22,1	50,5	5	0,1	0,05	0,25	230	2,6	0,48	5,6	641	4,4		SX/BX 32x5 R
	10	28,9	55,7	4	0,12	0,08	0,32	400	5,9	0,77	5,6	639	3,7		SX/BX 32x10 R
40	5	24,1	63,2	5	0,1	0,05	0,34	390	3,3	0,58	9	1 639	5,6		SX/BX 40x5 R
	10	63,6	127,1	5	0,12	0,08	0,64	840	12,4	1,25	8,4	1 437	5		SX/BX 40x10 R
	40	25,1	72,9	2	0,1	0,05	0,64	1 200	14,4	1,6	8,1	1 330	5,2		SX/BX 40x40 R
50	10	81,9	189,1	6	0,12	0,08	1,02	2 400	19,9	2,4	13,6	3 736	6,3		SX/BX 50x10 R
63	10	91,7	243,5	6	0,12	0,08	1,44	4 620	25,4	3,1	22	9 913	8,1		SX/BX 63x10 R

### 3.11-Calcul de la flèche de la vis à bille

Nous choisissons le diamètre de la vis de 32 mm avec un pas de 5 mm, et calculons la flèche maximale à son milieu, tel que la vis ne porte que son propre poids.

On considère la vis comme une poutre de section circulaire, encastrée des deux extrémités, et soumise à une force uniformément répartie ;

Le poids total de la vis :

$$S = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi \times 30^2}{4} = 706,85 \text{ mm}^2$$

$$S = 7,068.10^{-4} \text{ m}^2$$

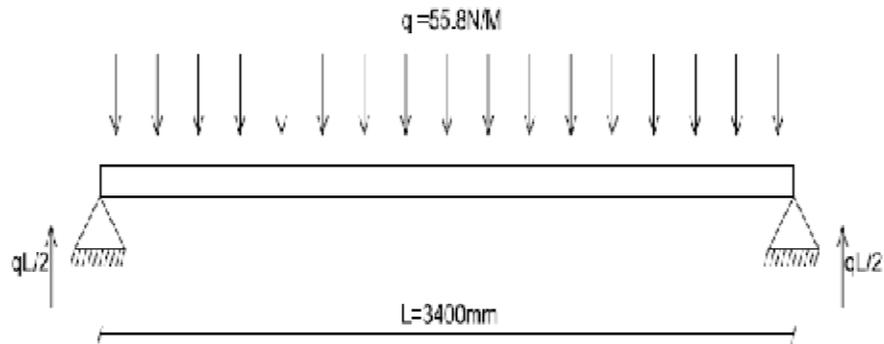
$$V = 7,068.10^{-4} \times 3,4 = 2,4.10^{-3} \text{ m}^3$$

$$\rightarrow m = \rho \times v = 7860 \times 2,4.10^{-3} = 18,9 \approx 19 \text{ kg}$$

→ la masse linéique de la vis sera :

$$m_l = \frac{19 \text{ kg}}{3,4 \text{ m}} = 5,58 \text{ kg/m}$$

$$\rightarrow Fa = 55,8 \text{ N/m}$$



$$\sum M/A = 0 \rightarrow R_B L - \frac{qL^2}{2} = 0 \rightarrow \mathbf{R_B = \frac{qL^2}{2L} = \frac{qL}{2} = R_A}$$

$$\sum M = 0 \rightarrow M_f + qx \cdot \frac{x}{2} - R_A \cdot x = 0$$

$$M_f = R_A \cdot x - \frac{qx^2}{2}$$

$$M_f = \frac{qL}{2} \cdot x - \frac{qx^2}{2}$$

$$EIv'' = \frac{qL}{2} \cdot x - \frac{qx^2}{2}$$

$$\rightarrow EIv' = \frac{qL}{4} x^2 - \frac{qx^3}{6} + C_1$$

$$\text{Pour } x = \frac{L}{2} \rightarrow v' = 0$$

$$\rightarrow \frac{qL}{4} \left(\frac{L^2}{4}\right) - \frac{q}{6} \cdot \frac{L^3}{8} + C_1 = 0$$

$$\rightarrow \frac{qL^3}{16} - \frac{qL^3}{48} + C_1 = 0$$

$$\rightarrow \mathbf{C_1 = -\frac{qL^3}{24}}$$

$$Elv = \frac{qL}{2} x^3 - \frac{q}{24} x^4 + C_1 x + C_2$$

Pour  $x = 0 \rightarrow v = 0$

$$\rightarrow C_2 = 0$$

$$\rightarrow Elv = \frac{qL}{12} x^3 - \frac{qx^4}{24} - \frac{qL^3}{24} \cdot x$$

Pour  $x = \frac{L}{2}$

$$Elv = \frac{qLL^3}{12 \cdot 8} - \frac{q}{24} x \frac{L^4}{16} - \frac{qL^3 x L}{24 x 2}$$

$$Elv = \frac{qL^4}{96} - \frac{qL^4}{384} - \frac{qL^4}{48}$$

$$V = \frac{-5qL^4}{384 EI}$$

### **Application numérique:**

$E = 205\,000 \text{ MPa}$

$$I = \frac{\Pi d^4}{64} = 5.147 \times 10^{-8}$$

$$V = \frac{-5 \times 55,8 \times (3,4)^4}{384 \times E \times I}$$

$V = -0.0092 \text{ m} = -9.2 \text{ mm}$

$V < L / 1000$

Donc la flèche n'est négligeable devant la longueur de la vis, cependant comme l'écrou est soudé à la partie mobile de la machine, alors la flèche n'affecte pas la rotation de la vis ni la translation de l'écrou.

N.B. : Pour le critère  $V < L / 200$  le résultat est acceptable, sinon le choix de  $D = 40 \text{ mm}$  sera imposée.

### Calcul de la durée de vie de la vis à billes

on détermine alors la durée de vie L10, à partir de la formule suivante:

$$L10 = \left[ \frac{Ca}{Fm} \right]^3$$

Avec  $Ca = 22,1 \text{ KN}$

$Fm = \text{Force moyenne} = 2500 \text{ N}$

$$L10 = \left[ \frac{22,1 \times 10^3}{2500} \right]^3 = 691 \text{ millions de tours.}$$

On obtient la durée de vie de la vis à billes L10H en heures de fonctionnement, d'après la formule suivante:

$$L10H = \frac{L10 \cdot 10^6}{60 \cdot N} \text{ avec } N = \text{vitesse de rotation en tr/min.}$$

$$L10H = \frac{691 \times 10^6}{60 \times 460} = 25036 \text{ heures de fonctionnement.}$$

### 3.12- Calcul de la flèche des électrodes (les molettes)

Pour prendre le cas critique, d'après les normes de fabrication des gaines, la tôle utilisée pour la fabrication d'une gaine circulaire de diamètre 80 cm, doit être d'épaisseur 1mm (SMACNA). Et d'après le tableau des conditions de réglage pour le sondage à la molette, on peut déduire que l'effet de pression demandé pour l'épaisseur de 1 mm est 4000 N. Alors on considère l'électrode comme une poutre en acier encastree-libre avec une tête en cuivre, l'effort de 4000 N sera pris sur son extrémité (modèle choisit).

#### Calculs RDM

$$Mf = - F \cdot x$$

$$\rightarrow EI \frac{d^2v}{dx^2} = - F x$$

$$\rightarrow \frac{EI}{F} \frac{dv}{dx} = - \frac{x^2}{2} + K_1$$

$$\rightarrow \frac{EI}{F} v = - \frac{x^3}{6} + K_1 x + K_2$$

**Conditions aux limites :**

$$\text{Pour } x = L \rightarrow v = 0 \rightarrow -\frac{L^3}{6} + K_1L + K_2 = 0$$

$$K_2 = \frac{L^3}{6} - K_1L$$

$$\text{Pour } x = L \rightarrow \frac{dv}{dx} = 0 \rightarrow -\frac{L^2}{2} + K_1 = 0 \rightarrow K_1 = \frac{L^2}{2}$$

$$\text{Et alors } K_2 = \frac{L^3}{6} - \frac{L^3}{2}$$

$$K_2 = -\frac{L^3}{3}$$

$$\rightarrow V = -\frac{FL^3}{3EI}$$

L'électrode est acceptable pour une flèche maximale de 2 cm

$$E = 205\,000 \text{ MPa}$$

$$I = \frac{\Pi d^4}{64}$$

$$\rightarrow -20 = \frac{-4000 \times (1050)^3}{3 \times 205\,000 \times I}$$

$$\rightarrow I = \frac{-4000 \times (1050)^3}{-20 \times 3 \times 205\,000}$$

$$\rightarrow I = 376463,4146$$

$$I = \frac{\Pi d^4}{64} \rightarrow d^4 = \frac{I \times 64}{\Pi} = \frac{376463,4146 \times 64}{\Pi}$$

$$d^4 = 7669249,706$$

$$\rightarrow d^2 = \sqrt{d^4} = 2769,34$$

$$d = \sqrt{d^2} = 52,62 \text{ mm}$$

On choisit alors une électrode de 55 mm de diamètre.

### 3.13-Choix du moteur électrique

Vitesse de déplacement pièces/molettes doit être réglable entre 2,3 m/min et 1,9 m/min

Pas = 5 mm --> 1 tour --> 5mm

2,3 m/min --> 2300 mm/min

$$V = 2300 \text{ mm/min}$$

$$N_1 = \frac{V_1}{P} = 460 \text{ tr/min}$$

$$N_2 = \frac{V_2}{P} = \frac{2100}{5} \text{ tr/min} = 420 \text{ tr/min}$$

$$N_3 = \frac{V_3}{P} = \frac{1900}{5} \text{ tr/min} = 380 \text{ tr/min}$$

Si poulie est de diamètre 10 cm -->  $V = W \times R$

$$W = \frac{460 \times 2\pi}{6} = 48,1 \text{ rad/s}$$

La charge à déplacer est:

$$24 \text{ kg} \times 3 + 10,65 \times 6 + 3 \times 6 + 19,72 \text{ kg} + 23,14 = 196,76 \text{ kg}$$

Supposons donc une charge de 250 kg,

→ La charge à déplacer = 2500 Newtons

Vis à bille Ø 32 avec un pas de 5 mm soit 0,005 mètre.

• Couple:  $C \times 2\pi = F \times \text{pas}$

→  $C = (F \times \text{pas}) / 2\pi$

$$C = \frac{2500 \times 0,005}{2\pi}$$

$$\text{Donc } C = 1,989 \text{ N.m}$$

Pour tenir compte de l'accélération dynamique:

Vitesse maximale choisie : 2,3 m/min = 0,038 m/s

Temps: 0,1 sec

$$V = a t \rightarrow a = \frac{V}{t} = \frac{0,038 \text{ m/s}}{0,1 \text{ sec}} = 0,383 \text{ m/s}^2$$

$$\text{Force} = M \times a = 250 \times 0,383 = 95,75 \text{ N}$$

On obtient un nouveau couple:

$$C = ((2500 + 95,75) \times 0,005) / 2\pi = 2,065 \text{ N.m}$$

Le couple

- Puissance moteur:

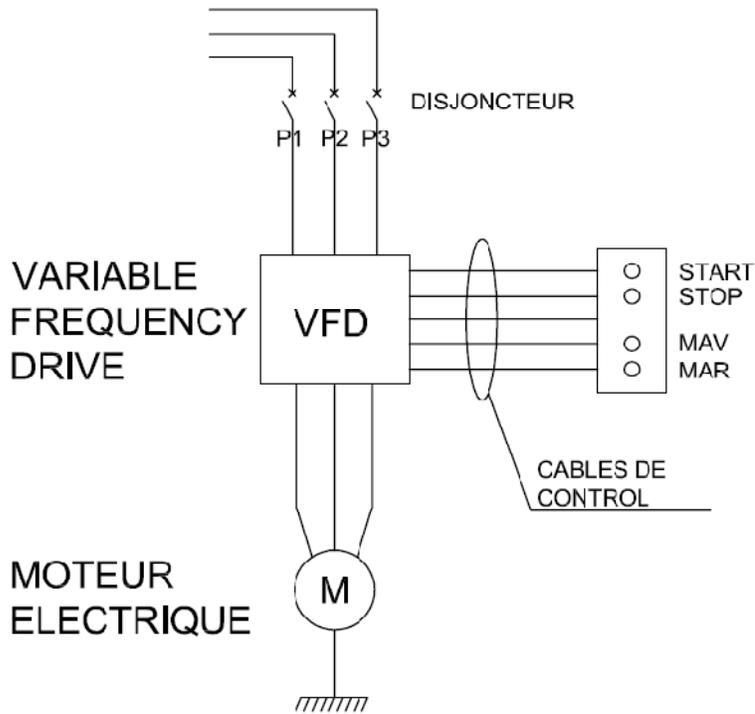
$$P = C \times W$$

$$W = \frac{\pi \times N}{30} = \frac{\pi \times 460}{30} = 48,17 \text{ rad/s}$$

$$\text{Donc } P = 2,065 \times 48,17 = 99,50 \text{ w}$$

Il nous faut donc une puissance minimale de 99,50 w

On choisit alors un moteur électrique 150 W de puissance, pour prendre en considération les frottements aux points de soudage, et de vitesse de rotation variable entre 380 tr/min et 460 tr/min.



L'utilisation du **VFD « Variable Frequency Drive »** nous permet de préciser la vitesse de rotation que nous désirons, et la direction de marche. On peut lire directement sur le VFD la vitesse de rotation du moteur.

Dans notre exemple, pour une tôle de 0,5mm,  $N=460$  tr/min

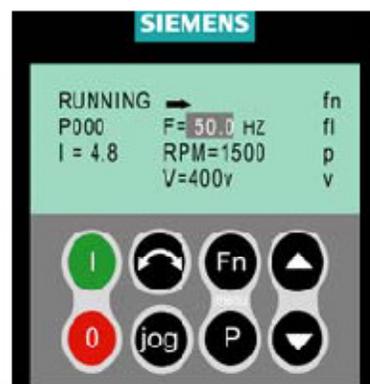
Pour une tôle de 0,8mm,  $N=420$  tr/min

Pour une tôle de 1mm,  $N=380$  tr/min



BOP

Basic Operator Panel



AOP

Advanced Operator Panel

### 3.14-Choix de la courroie

Donnée:  $P = 120 \text{ w}$   $N = 460 \text{ tr/min}$

On adopte un  $K_s$  de 1,3 pour l'installation.

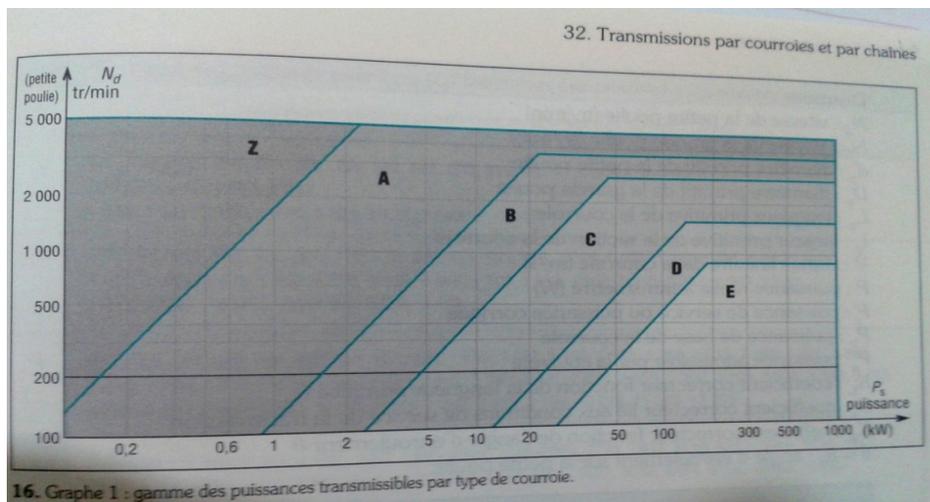
$$P_s = P \times K_s = 120 \times 1,3 = 156 \text{ w}$$

On détermine  $K_s$  d'après le graphe suivant, le type des courroies:

#### 1. Valeur du coefficient de service $K_s$

	service léger 0 à 6 h/jour	service normal 6 à 16 h/jour	service dur 16 à 24 h/jour	service très dur en continu
transmission uniforme sans à-coups	1,0	1,2	1,4	1,6
transmission avec légers à-coups et chocs modérés	1,1	1,3	1,5	1,8
transmission avec à-coups et chocs élevés *	1,2	1,4	1,6	2,0

Les courroies sélectionnés sont alors de type Z



La poulie sélectionnée est de 10 cm de diamètre, et  $N = 460 \text{ tr/min}$

Le rapport de vitesse est 1.

→ La vitesse linéaire de la courroie est donnée par la formule suivante:

$$V = \frac{\pi N}{30} \times \frac{d}{2} = \frac{\pi \times 460 \times 0,10}{60} = 2,4 \text{ m/s}$$

L'entraxe doit être choisie sous la condition :  $d_2 < C < 3(d_2 + d_1)$

$$10 < C < 60$$

On choisit  $C \approx 50 \text{ cm}$

Calculons alors la longueur primitive de la courroie, d'après la formule suivante:

$$L \approx 2.C + \pi \left[ \frac{D+d}{2} \right] + \frac{(D-d)^2}{4C}$$

Avec  $D = d = 10 \text{ cm}$

$$\rightarrow L \approx 2 \times 50 + \pi \left( \frac{20}{2} \right)$$

$$L \approx 131,41 \text{ cm}$$

Puissance de la base de la courroie, avec  $d_p = 100$  et  $V = 2,4$ ,

4. Puissance de base $P_b$ en kW des courroies trapézoïdales classiques													
type courroie	diamètre primitif	vitesse linéaire $V$ de la courroie (m/s)					type courroie	diamètre primitif	vitesse linéaire $V$ de la courroie (m/s)				
		5	10	15	20	25			5	10	15	20	25
Z	50	0,45	0,72	0,85	-	-	C	180	3,92	6,10	7,33	8,32	-
	60	0,62	1,05	1,35	-	-		210	4,59	7,38	9,40	10,86	11,76
	70	0,73	1,29	1,70	1,94	-		240	4,99	8,31	10,82	12,75	14,14
	80	0,83	1,48	1,97	2,30	2,41		280	5,50	9,27	12,26	14,70	16,50
	90	0,90	1,61	2,18	2,58	2,76		320	5,83	9,96	13,34	16,10	18,29
	100	0,95	1,72	2,37	2,80	3,04		360	6,14	10,56	14,16	17,19	19,69
	110	1,00	1,82	2,48	2,99	3,27		430	6,55	11,25	15,32	18,68	21,43
A	85	1,25	2,04	2,66	3,01	-	D	290	8,92	13,44	15,95	16,80	-
	100	1,42	2,37	3,12	3,99	4,10		320	9,84	15,41	18,90	20,74	20,92
	115	1,55	2,64	3,52	4,21	4,73		360	10,94	17,50	22,07	24,96	26,19
	130	1,65	2,85	4,04	4,60	5,22		400	11,80	19,20	24,61	28,33	30,42
	150	1,75	3,03	4,10	4,80	5,72		460	12,78	21,18	27,55	32,29	34,37
	170	1,82	3,19	4,33	5,00	6,10		520	13,58	22,71	29,85	35,35	39,20
	190	1,87	3,30	4,54	5,55	6,39		580	14,16	23,96	31,64	37,76	42,80
B	120	2,11	3,23	4,23	4,80	-	E	440	10,97	18,85	24,69	28,33	29,44
	140	2,35	3,95	5,02	5,83	6,37		480	11,89	20,65	27,39	31,92	33,91
	160	2,57	4,03	5,61	6,63	7,37		520	12,62	22,15	29,63	34,95	37,68
	180	2,72	4,39	6,09	7,24	8,14		600	13,84	24,57	33,28	39,86	43,75
	200	2,81	4,81	6,42	7,71	8,75		700	14,94	27,26	36,66	44,28	49,35
	220	2,92	4,89	6,73	8,13	9,24		800	15,77	28,50	39,18	47,60	53,56
	250	3,01	5,06	6,89	8,64	8,85		950	16,82	30,40	42,00	51,40	59,13

Les puissances  $P_b$  indiquées sont des moyennes et peuvent varier sensiblement d'un fabricant à l'autre (consulter leurs catalogues pour des renseignements plus détaillés)

D'après ce tableau de la puissance de base  $P_b$  est: 0,95 KN

La puissance admissible de la courroie sera:

$$P_a = P_b \cdot k_2 \cdot k_o$$

$$\theta = 180^\circ - 2 \sin^{-1} \left[ \frac{D_p - d_p}{2a} \right] = 180^\circ$$

Avec  $L_p = 1314 \text{ mm}$

$$\rightarrow K_L = 0,98, K_o = 1$$

$$\rightarrow P_a = 0.95 \times 0,98 \times 1 = 0,931 \text{ Kw}$$

La longueur de la courroie choisie sera: 1325 mm, type z.

L'entraxe final sera:

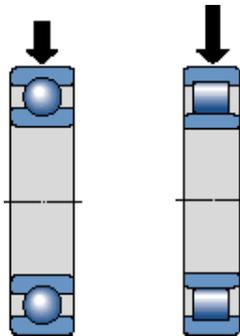
$$2C = L - \pi \left[ \frac{200}{2} \right] = 1325 - 314,15 = 1010,84$$

$$C = 505,4 \text{ mm}$$

### 3.15-Choix du roulement

La charge portée par les roulements est la même que la charge à déplacer sur la table. On l'a estimé de 250 kgm partagée sur 12 roulements ; c'est à dire que chaque roulement porte une charge de 21 kg.

Dans notre cas, la charge est une charge radiale seulement (pure), la vitesse de propagation de la partie mobile doit être au maximum 0,033 m/s ou 2 m/min, on peut alors utiliser des roulements à billes à contact radial.



La location du roulement sera dans une barre en "U" , le diamètre extérieur maximal ne doit pas dépasser 48 mm.

Supposons le diamètre extérieur de 47 mm

La vitesse linéaire étant 0,33 m/s

La vitesse de rotation du roulement sera:

$$\frac{0,33}{2\pi R} = \frac{0,33}{2\pi \times 0,047} = 1,12 \text{ tr/s}$$

$$\rightarrow N = 67,05 \text{ tr/min}$$

D'après les catalogues des roulements "SKF" (voir annexe), on a trouvé un roulement, de dimensions d'encombrement:

$$d = 17 \text{ mm}, D = 47 \text{ mm}, B = 19 \text{ mm}$$

La charge dynamique de ce roulement est:  $C = 13,5 \text{ KN}$

la charge équivalente "P" exercée sur le roulement est la charge radiale égale à 210 N = 0,21 KN

on détermine alors la durée de vie L10, à partir de la formule suivante:

$$L_{10} = \left[\frac{C}{P}\right]^n \text{ avec } n = 3 \text{ pour les roulements à billes.}$$

$$L_{10} = \left[\frac{13,5}{0,21}\right]^3 = 265670,55 \text{ millions de tours.}$$

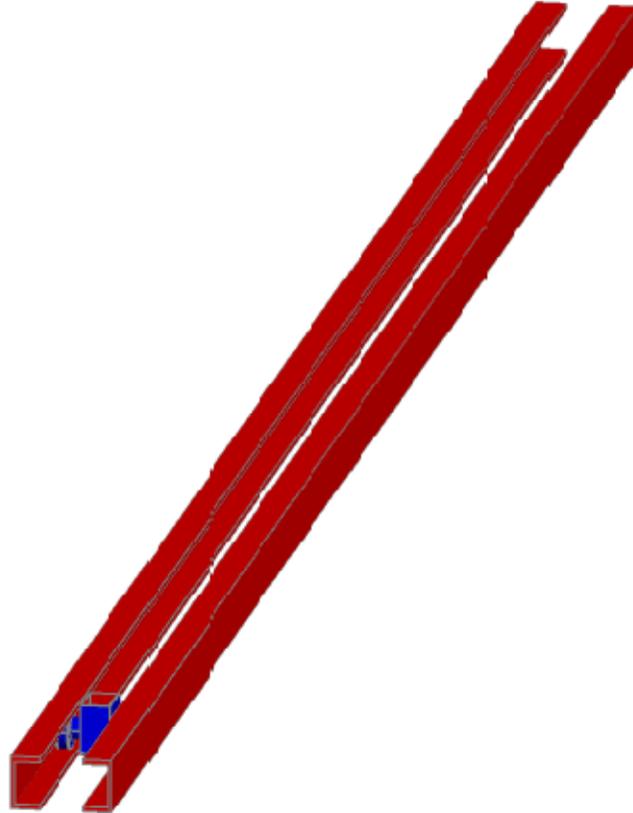
On obtient la durée de vie du roulement L10H en heures de fonctionnement, d'après la formule suivante:

$$L_{10H} = \frac{L_{10} \cdot 10^6}{60 \cdot N} \text{ avec } N = \text{vitesse de rotation en tr/min.}$$

$$L_{10H} = \frac{265670,55 \times 10^6}{60 \times 67,05} = 66037919,46 \text{ heures de fonctionnement.}$$

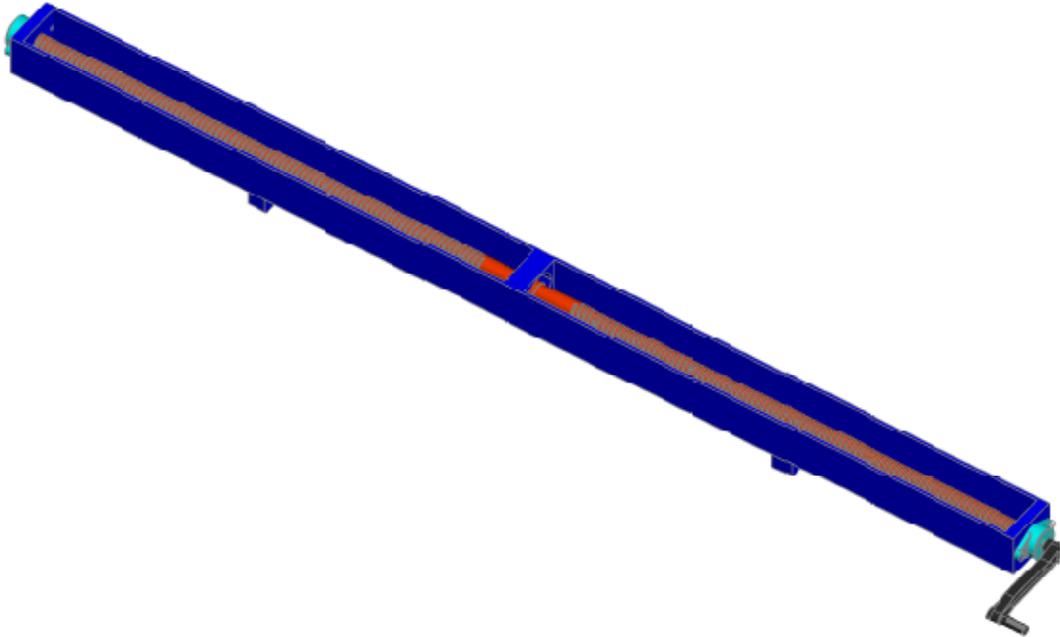
## 3.16 GUIDAGES

### Les guidages longitudinaux



Ce type de guidage est utilisé pour le déplacement de la partie mobile de la machine. On a fixé dedans des roulements portant la charge à déplacer. On a choisit les railles de dimensions 600 mm x 330 mm et d'épaisseur 6 mm

## Les guidages transversaux



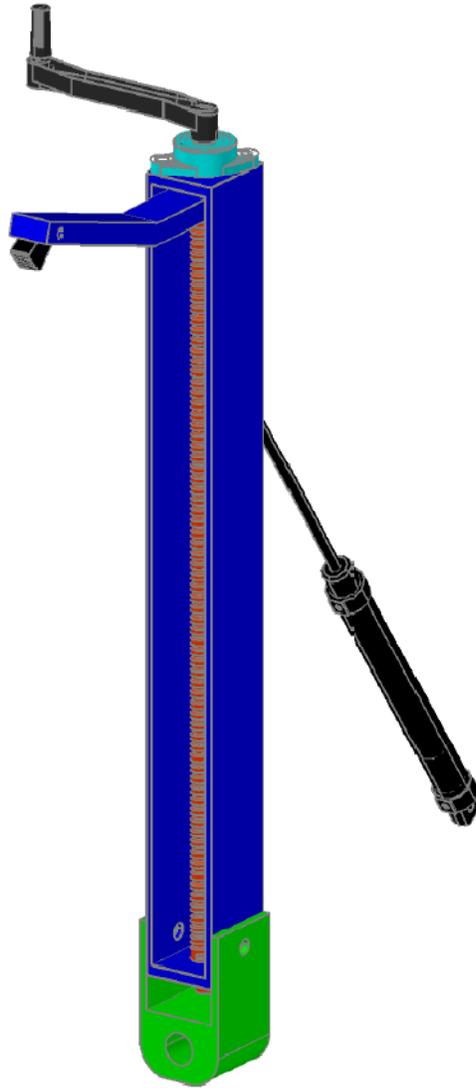
Ce type de guidage de section « U » est utilisé pour régler la dimension de la gaine demandée. On a utilisé trois guidages de ce type pour fixer la gaine en trois points. Il existe dedans une vis filetée de directions contraires des deux cotés, afin de fixer toujours le centre de la machine. En tournant la manivelle à droite ou à gauche, on peut augmenter ou diminuer la dimension de la gaine. Chaque guide doit être réglée indépendamment, pour pouvoir obtenir les tolérances demandées.

La vis est fixée avec des roulements pour réduire les frottements et pour faciliter le travail avec la manivelle.

Les roulements sont fixés dans des logements sur les extrémités des guidages. (voir annexe)

On a choisit les dimensions de la poutre en « U » de 100 mm x 85 mm et d'épaisseur 6 mm, la vis filetée de diamètre 25 mm

## Les guidages verticaux



Ce type de guidage est identique à celui utilisé pour les guidages transversaux. Il fonctionne de la même façon avec la manivelle et la vis filetée. Son rôle est la fixation de la dimension de la gaine par les bras qui se déplacent verticalement.

## **CHAPITRE 4: NORMES DE SECURITE ET PRECAUTIONS GENERALES A ADOPTER**

### **GENERALITES**

1. Les opérateurs de la machine doivent avoir reçu une formation adéquate.
2. L'entretien et les réparations ne peuvent être effectuées que par du personnel qualifié.
3. Avant toute opération de maintenance ou de réparation, l'alimentation en air comprimé doit être coupée et dépressurisée.
4. Les électrodes, bras, ainsi que les autres conducteurs secondaires peuvent atteindre une température très élevée et rester chauds très longtemps après l'arrêt de la machine. Attention risque de sérieuses brûlures.
5. Il est nécessaire d'assurer une maintenance préventive régulière.

### **ELECTRICITE**

1. S'assurer que l'unité soit branchée au raccordement de terre et que le raccordement vers la terre du câble d'alimentation soit en bon état.
3. Il faut éviter que l'opérateur touche les parties métalliques à souder sans protections ou avec des vêtements humides.
4. Il faut éviter d'être en contact avec la pièce à souder.
5. Ne pas effectuer des points de soudure en milieux très humides ou sur sol mouillé.
7. Eteindre l'unité avant de remplacer les électrodes.
8. Avant d'effectuer tout contrôle ou entretien éteindre et déconnecter l'unité directement au niveau de la prise secteur.

### **PROTECTION DES YEUX ET DU CORPS**

1. Pendant la soudure, l'opérateur doit se protéger des projections éventuelles de métal en fusion par le port de vêtements de protection, tels que : gants en cuir, tablier en cuir, souliers de sécurité, masques ou lunettes de protection. De même, lors des opérations de ponçage ou de martèlement, l'opérateur devra se protéger les yeux.
2. Le serrage de la pince peut atteindre 500 DaN. Tenir toutes les parties du corps éloignées des éléments mobiles pour éviter tout risque de pincement.
3. Ne porter ni bagues, ni montre ni bijoux conducteurs de courant car ils peuvent occasionner de graves brûlures.
4. Tous les panneaux de protection doivent être en bon état et maintenus en place.

## **FUMÉES ET GAZ**

La soudure provoquant l'émission de fumées toxiques et de poussières métalliques nuisibles, le travail doit être réalisé dans des locaux ventilés ou équipés d'aspirateurs de fumées.

Le matériel à souder doit être dégraissé et nettoyé afin de limiter l'émission de gaz toxiques pendant la soudure.

## **INCENDIE**

1. Veiller à ce que les étincelles ne provoquent pas d'incendie, notamment à proximité de matériaux inflammables.
2. S'assurer que les extincteurs sont à proximité de l'opérateur.
3. Placer l'appareil dans un local muni d'aspirateurs d'air.
5. Ne pas souder en atmosphère chargée de gaz inflammables ou de vapeurs de carburants.

## **LUBRIFICATION DES GUIDAGES**

## **Conclusion**

Notre projet consiste en une conception d'une machine à souder, produisant des gaines de ventilations circulaires, en utilisant la méthode de soudage à la molette. Le travail demandé était consacré et focalisé sur la partie mécanique, en faisant des calculs de structure de la table fixe, et des calculs mécaniques pour les différents éléments de la machine : vérins, vis à billes, roues, courroie, roulements, moteur, etc.

Notre machine sera un bon choix pour les usines de fabrication des gaines de ventilation, surtout pour celles qui travaillent en grandes séries. Le gain de temps est un facteur très important dans l'industrie, et ce facteur est l'un des buts de notre étude, un autre but du travail effectué, c'est l'économie de la main d'œuvre et des couts de fabrication.

Le projet peut être suivi d'une étude d'automatisation complète contrôlée de la machine (capteurs, systèmes de contrôles, programmation des cycles de travail, etc.)

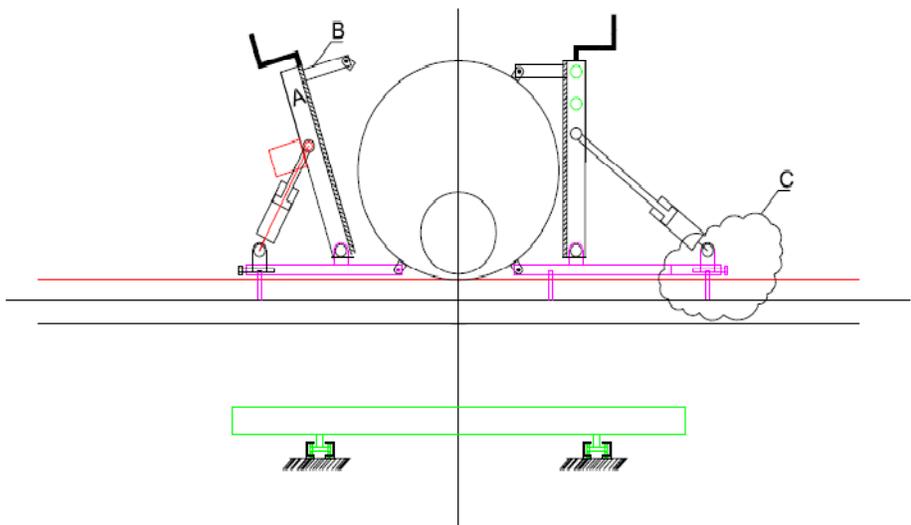
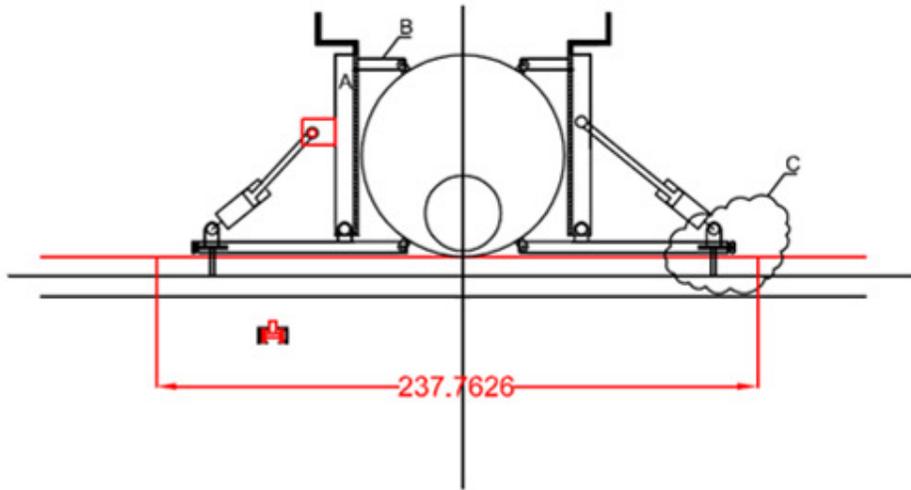
# **BIBLIOGRAPHIE**

- Jean-louis Fanchon, *guide des sciences et technologies industrielles*, éd. AFNOR, 1996
- SMACNA, *Duct construction standards*, fifth edition, 1976
- Festo Didactic GmbH & Co., D-73770 Denkendorf, 2000
- <http://www.alnor.pl/assets/files/katalogi-grupy/FR/02-SPIRAL-FR.pdf>
- <http://www.hubcityinc.com/documents/6m-IndustrialLineMountedBearings.pdf>
- <http://ventilation.ventsys.net/IMG/pdf/gaine-conduit-ventilation.pdf>
- <http://paillard.claude.free.fr/triodes/soudage/soudage.html>
- <http://www.gys.fr/pdf/manual/fr/019881.pdf>
- <http://edpi.free.fr/site/documents/construction/soudure/soudage.pdf>

# Annexes

# Annexe1

## Dessins et conception



# Annexe 2

## Notions de calcul de la vis à billes

D Information produits

### Formules de calcul

Durée nominale

$$L_{10} = \left( \frac{L_a}{F_m} \right)^3$$

Charge dynamique

$$C_{req} = F_m (L_{10})^{1/3}$$

avec

$L_{10}$  = durée nominale (millions de tours)

$L_a$  = charge dynamique de base [N]

$C_{req}$  = charge dynamique requise [N]

$F_m$  = force moyenne [N]

Force moyenne

$$F_m = \frac{(F_1^3 L_1 + F_2^3 L_2 + F_3^3 L_3 + \dots)^{1/3}}{(L_1 + L_2 + L_3 + \dots)^{1/3}}$$

avec

$L_n$  = durée de la période n (→ fig. 12)

$F_n$  = charge pendant la période n (→ fig. 12)

$$F_m = \frac{F_{min} + 2F_{max}}{3}$$

avec

$F_{min}$  = charge minimum (→ diagram. 2)

$F_{max}$  = charge maximum (→ diagram. 2)

Vitesse critique de la vis sans facteur de sécurité

$$n_c = 49 \times 10^6 \frac{l_1 d_2}{l^2}$$

avec

$n_c$  = vitesse critique [rpm]

$d_2$  = diamètre à fond de filet [mm]

$l$  = longueur libre, ou distance entre les deux paliers [mm]

$f_1$  = facteur du type de montage

0,9 ●● — encastré, libre

3,8 ●● — encastré, appui simple

5,6 ●● — encastré, encastré

Note: Un facteur de 0,8 est généralement recommandé

Vitesse maximale du système vis/écrou (vitesse maximale admissible en pointe)

Avec recirculation par pions composites (SH/SHS - SD/SDS/B3/BDS - SX/BX - SN/BN/PN - SND/BN3/PND):

$n d_0 < 50\,000$

Avec recirculation par les faces (SL/TL - SLD/TLD):

$n d_0 < 90\,000$

Si  $n d_0 > 50\,000$  ou  $90\,000$  respectivement, consulter SKF.

avec

$n$  = nombre de tours par minute [tr/min]

$d_0$  = diamètre nominal de la vis [mm]

L'accélération maximum autorisée est de  $4\,000 \text{ rad/s}^2$

Force de flambage avec coefficient de sécurité de 3 inclus

$$F_c = \frac{34 \times 10^3 f_3 d_2^4}{l^2}$$

avec

$F_c$  = force de flambage [N]

$d_2$  = diamètre à fond de filet [mm]

$l$  = longueur libre, ou distance entre les deux paliers [mm]

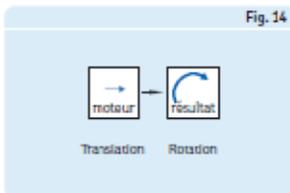
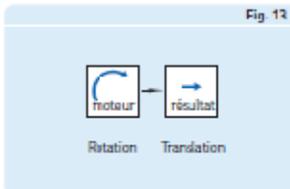
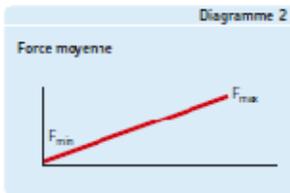
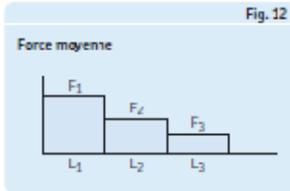
$f_3$  = facteur du type de montage

0,25 ●● — encastré, libre

1 ●● — appui simple, appui simple

2 ●● — encastré, appui simple

4 ●● — encastré, encastré



## A Recommandations pour la sélection

### 2 Le frottement interne du système vis/écrou, des roulements et des quidaques associés

D'une manière générale, les couples dus aux charges externes et aux inerties (a) sont prépondérants par rapport aux couples de frottement (b).

Le coefficient de frottement interne des vis au démarrage  $\mu_s$  est considéré comme pouvant atteindre 2 fois le coefficient de frottement en rotation  $\mu$ , pour des conditions d'utilisation normales.

### Jeu axial / précharge

Les vis SKF sont disponibles en différentes versions de jeu axial. Le jeu axial standard est destiné aux vis de transport, dans des applications où le produit n'est pas soumis à des vibrations, fortes accélérations, avec une précision sous charge non critique (ex: le type SN).

Le jeu réduit (ex: SN avec jeu réduit) et l'élimination de jeu par augmentation du diamètre des billes (ex: le type BN) sont proposés pour augmenter la précision de l'ensemble (→ fig. 2).

Pour une rigidité optimale, des écrous avec précharge interne sont recommandés, ex: type PN (→ fig. 3). En effet, les écrous préchargés sont soumis à une déformation élastique bien moins importante que les écrous non préchargés. Il convient donc de

les utiliser si l'on souhaite améliorer la précision de positionnement sous charge.

La précharge est l'effort appliqué à l'ensemble des deux moitiés d'écrou, soit pour les rapprocher soit pour les éloigner d'une certaine distance, afin d'en supprimer le jeu et d'améliorer la rigidité. Le couple de frottement correspondant permet de caractériser la précharge lors du réglage (voir "couple à vide"). Il dépend du type d'écrou et du mode de précharge (rigide ou élastique).

### Rigidité axiale statique d'un ensemble

C'est le rapport entre la charge axiale externe appliquée et le déplacement axial de la face d'appui de l'écrou par rapport à l'extrémité fixe de la vis. L'inverse de la rigidité globale d'un montage est égal à la somme des inverses des rigidités individuelles de chaque composant (vis, écrou assemblé, roulements supports, boîtiers supports).

$$\frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_s} + \frac{1}{R_n} + \frac{1}{R_v}$$

De ce fait, la rigidité globale d'un système est toujours plus petite que la plus petite des rigidités individuelles.

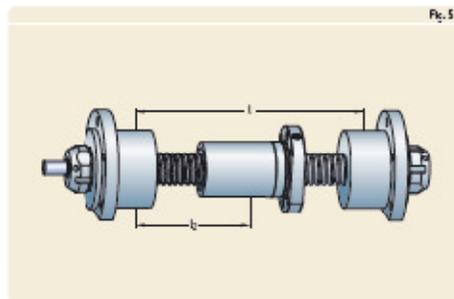
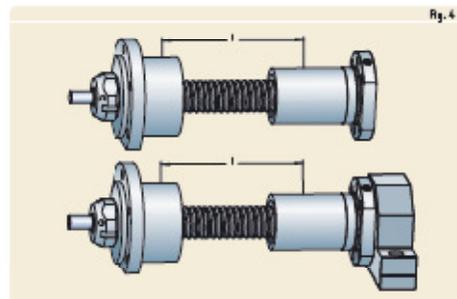
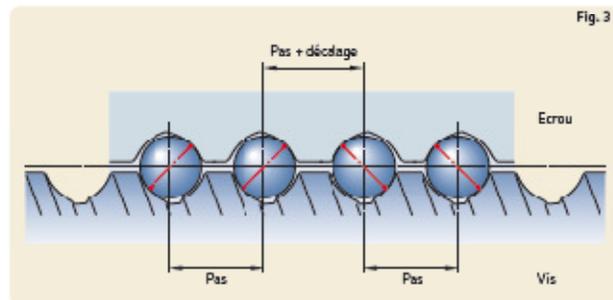
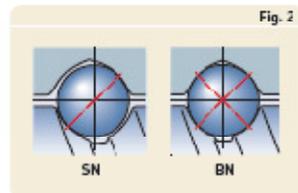
### Rigidité de l'écrou

Dans un écrou préchargé, le jeu est d'abord éliminé. L'addition d'une précharge interne réduit les déformations élastiques hertziennes supplémentaires entre éléments roulants et pistes sous l'action d'une charge externe et augmente donc la rigidité du système.

Les résultats des calculs de déformations théoriques entre éléments roulants et pistes doivent être majorés pour tenir compte des imprécisions d'exécution et de la répartition des charges entre les contacts, ainsi que de l'élasticité du corps d'écrou et de la portion de vis correspondante.

Les valeurs de rigidité données dans les catalogues de vis SKF sont des valeurs pratiques ne concernant que l'écrou assemblé.

Elles correspondent aux valeurs de précharge standard sélectionnées par SKF et à une charge extérieure égale au double de la valeur de précharge.



### Déformation élastique de la vis

Elle est proportionnelle à sa longueur et inversement proportionnelle au carré de son diamètre à fond de filet.

Compte tenu de l'importance relative de la déformation de la vis (voir rigidité globale), une augmentation exagérée de la précharge interne de l'écrou ou des roulements n'entraîne donc qu'un faible gain relatif de rigidité, et n'est pas recommandée (augmentation du couple et de l'échauffement).

Il est déconseillé de choisir une valeur de précharge supérieure à celle indiquée dans le catalogue.

En conséquence, la valeur de précharge donnée dans le catalogue pour chaque dimension est optimum et il ne faut pas aller au-delà.

Encastré, libre ou encastré, appui simple

$$R_s = 165 \frac{d_p^2}{l} \quad (\rightarrow \text{fig. 4})$$

Encastré, encastré

$$R_s = \frac{165 d_p^2 l}{l_1(l-l_2)} \quad (\rightarrow \text{fig. 5})$$

Avec:

$R_s$  = Rigidité de la vis [N/μm]

Pour les valeurs de  $d_p$ , se référer aux pages produits.

### Flambage de la vis

La charge de flambage doit être vérifiée si la vis doit supporter une charge en compression (dynamique ou à l'arrêt).

<sup>1)</sup> SKF est à votre disposition pour évaluer les valeurs en fonction des conditions réelles de service.

Les formules d'Euler sont utilisées pour calculer la charge maxi admissible au flambage, en utilisant un coefficient de sécurité de 3 à 5 selon l'application.

Les conditions d'encastrement aux extrémités sont déterminantes pour les facteurs applicables aux formules d'Euler.

Le diamètre à fond de filet est utilisé pour mener les calculs dans le cas de vis de section constante. Pour les vis présentant des variations de section dans la longueur de flambage, les calculs sont plus complexes <sup>1)</sup>.

### Précision d'exécution

D'une manière usuelle, la précision d'exécution mentionnée dans la désignation définit la précision du pas: ( $\rightarrow$  page 14) – (ex. G5–G7...).

Les paramètres autres que la précision de pas correspondent à nos standards internes (généralement cadrés sur la "classe 7" de l'ISO).

Si vous désirez des tolérances particulières (par exemple de classe 5), veuillez le spécifier au moment de l'offre ou de la commande.

### Vis roulées de précision

Grâce à l'utilisation de machines de haute technicité à une parfaite maîtrise du procédé de roulage à froid et à une grande connaissance de la métallurgie, les ensembles SKF ont une précision et des niveaux de performances comparables aux vis rectifiées à un prix moins élevé ( $\rightarrow$  Diagramme 1).

### Matière/dureté

Les vis standard sont en acier trempé par induction.

Les écrous sont en acier trempé à cœur (100 Cr–NFA 35.565 ou équivalent pour les diamètres  $\geq 20$  et en acier au carbone pour les diamètres  $< 20$ ).

La dureté aux points de contact est de 56–60 HRC, suivant diamètre, pour les vis standard. Elle peut être de 50 à 58 HRC pour les aciers inoxydables, suivant le type. Les capacités de charge données dans le catalogue s'appliquent seulement aux vis en acier standard.

### Nombre de circuits de billes

Un écrou est caractérisé par le nombre de tours de billes qui supportent la charge.

Celui-ci varie en fonction du type de produit et de la combinaison diamètre/pas.

Il est défini par le nombre de circuits et leur type.

### Pions de recirculation des billes dans les écrous

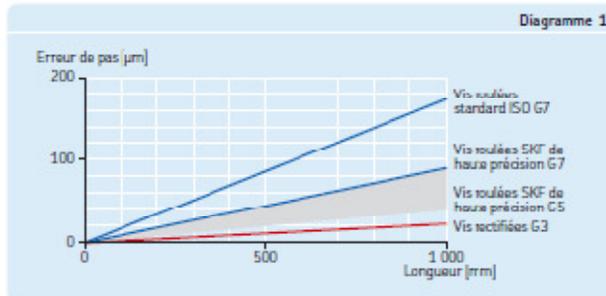
Les pions de recirculation, dans les versions standard, sont des pions composite permettant d'augmenter la précision d'exécution et la douceur de fonctionnement.

Pour des applications particulièrement difficiles ou nécessitant une fonction de sécurité renforcée (applications verticales par exemple ou autres à nous préciser), il convient d'envisager une version pions acier. Nous consulter.

### Environnement

Nos produits ne sont pas prévus pour être utilisés en atmosphère explosive. De ce fait, nous déclinons toute responsabilité pour une utilisation dans ce domaine.

Diagramme 1



## Annexe 3

# Documents pour VFD (VARIABLE FREQUENCY DRIVE)

### 3.2 Operator panels for MICROMASTER

MICROMASTER drive units can be optionally equipped with a BOP (Basic Operator Panel) or AOP (Advanced Operator Panel). The AOP distinguishes itself as a result of a plain text display which simplifies operator control, diagnostics as well as also commissioning (start-up).

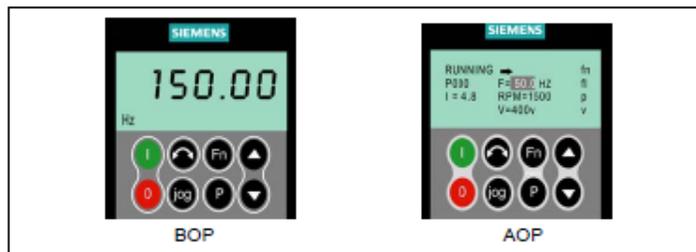


Fig. 3-14 Operator panels

#### 3.2.1 Description of the BOP (Basic Operator Panel)

The BOP, available as option, allows drive inverter parameters to be accessed. In this case, the Status Display Panel (SDP) must be removed and the BOP either inserted or connected in the door of a cabinet using a special mounting kit (Operator panel door mounting set) (refer to the Attachment A).

Parameter values can be changed using the BOP. This allows the MICROMASTER drive unit to be set-up for a particular application. In addition to the keys (refer to Section 3.2.3), it includes a 5-digit LCD display on which the parameter numbers rxxxx and Pxxxx, parameter values, parameter units (e.g. [A], [V], [Hz], [s]), alarm Axxxx or fault messages Fxxxx as well as setpoints and actual values.

#### NOTE

- Contrary to the AOP, for the BOP, parameters do not have to be set or taken into consideration when establishing the communications between the BOP and drive inverter.
- A BOP does not have a local memory. This means that it is not possible to save a parameter set on the BOP.

### 3.2.2 Description of the AOP (Advanced Operator Panel)

An AOP (this is available as option) has the following additional functions with respect to a BOP:

- Multi-language and multi-line plain text display
- Units are additionally displayed, such as [Nm], [°C], etc.
- Active parameters, fault messages, etc. are explained
- Diagnostics menu to support troubleshooting
- The main menu is directly called by simultaneously pressing keys Fn and P
- Timer with 3 switching operations per entry
- Up to 10 parameter sets can be downloaded / saved
- Communications between an AOP and MICROMASTER are realized using the USS protocol. An AOP can be connected to the BOP link (RS 232) as well as to the COM link interface (RS 485) of the drive inverter.
- Multi-point capable coupling to control (open-loop) and visualize up to 31 MICROMASTER drive inverters. The USS bus must, in this case, be configured and parameterized via the drive inverter terminals of the COM link interface.

Please refer to Sections 3.2.3, 3.2.4 and the AOP Manual for additional details.

---

#### NOTE

- Contrary to the BOP, for the AOP, the communications parameters of the particular interface must be taken into account.
  - When inserting / connecting to the drive inverter, the AOP automatically changes the parameter P2012 (USS-PZD length) to 4 corresponding to the interface.

COM link:	P2012[0]
BOP link:	P2012[1]
  - For DriveMonitor, the default value for the USS-PZD length is set to 2. This results in a conflict if the AOP and the DriveMonitor are operated, alternating, at the same interface.

Remedy: Increase the USS-PZD length to 4.
-

### 3.2.3 Keys and their functions on the operator panel (BOP / AOP)

Operator panel/key	Function	Effects
	Status display	The LCD indicates the settings which the drive inverter is presently using.
	Start motor	The drive inverter is started by pressing the key. This key is de-activated in the default setting. Parameter P0700 or P0719 should be changed as follows to activate the key: BOP: P0700 = 1 or P0719 = 10 ... 16 AOP: P0700 = 4 or P0719 = 40 ... 46 on the ROP link P0700 = 5 or P0719 = 50 ... 56 on the COM link
	Stop motor	OFF1 When this key is pressed, the motor comes to a standstill with the selected ramp-down time. It is de-activated in the default setting; to activate → refer to the "Start motor" key. OFF2 The motor coasts down to a standstill by pressing the key twice (or pressing once for a longer period of time). This function is always activated.
	Direction reversal	To reverse the direction of rotation of the motor, press this key. The opposing direction is displayed using the minus character (-) or by the flashing decimal point. In the default setting this function is de-activated; to activate it → refer to the "Start motor" key.
	Jog motor	In the "Ready to power-on" state, when this key is pressed, the motor starts and rotates with the pre-set jog frequency. The motor stops when the key is released. When the motor is rotating, this key has no effect.
	Functions	This key can be used to display additional information. If you press the key during operation, independent of the particular parameter, for two seconds, then the following data is displayed: 1. Voltage of the DC current link (designated by d – units V). 2. Output current (A) 3. Output frequency (Hz) 4. Output voltage (designated by o – units V). 5. The value, selected in P0035 (if P0035 is configured so that one of the above pieces of data is displayed (1 to 4), then the associated value is not re-displayed). The displays mentioned above are run-through one after the other by pressing again. <b>Step function</b> Starting from any parameter (XXXX or PXXXX), if the key Fn is briefly pressed, then a jump is immediately made to r0000. You can then, when required, change an additional parameter. After returning to r0000, when key Fn is pressed, then the system returns to the starting point. <b>Acknowledgement</b> If alarm and fault messages are present, then these can be acknowledged by pressing key Fn.
	Parameter access	Parameters can be accessed by pressing this key.
	Increase value	When this key is pressed, the displayed value is increased.
	Reduce value	When this key is pressed, the displayed value is decreased.
	AOP menu	Calls the AOP menu prompting (this is only available for AOP).

Fig. 3-15 Operator panel keys

### 3.2.4 Changing parameters using the operator panel

The way that parameter P0719 can be changed will now be described; please use this description as a basis when setting all of the other parameters using the BOP.

#### Changing P0004 – parameter filter function

Step	Result on the display
1 Press  In order to access the parameter	r0000
2 Press  until P0004 is displayed	P0004
3 Press  In order to reach the parameter value level	0
4 Press  or  In order to obtain the required value	7
5 Press  to acknowledge the value and to save the value	P0004
6 The user can only see the command parameters.	

#### Changing an indexed parameter P0719 – selecting the command/frequency setpoint

Step	Result on the display
1 Press  In order to access the parameter	r0000
2 Press  until P0719 is displayed	P0719
3 Press  In order to reach the parameter value	r0000
4 Press  In order to display the currently set value	0
5 Press  or  In order to obtain the required value	12
6 Press  to acknowledge the value and to save the value	P0719
7 Press  until r0000 is displayed	r0000
8 Press  In order to return to the operating display (the display which the customer has defined)	

Fig. 3-16 Changing parameters using the BOP

#### NOTE

The BOP sometimes display **buSY** when changing parameter values. This means that the drive inverter is presently handling another higher-priority task.

### 3.5.2 Motor circuit

In order to ensure a straightforward, successful commissioning, it is important that the circuit connection in the motor terminal box (refer to Fig. 3-23) matches the rated motor voltage entered in P0304 or the rated motor current P0305.

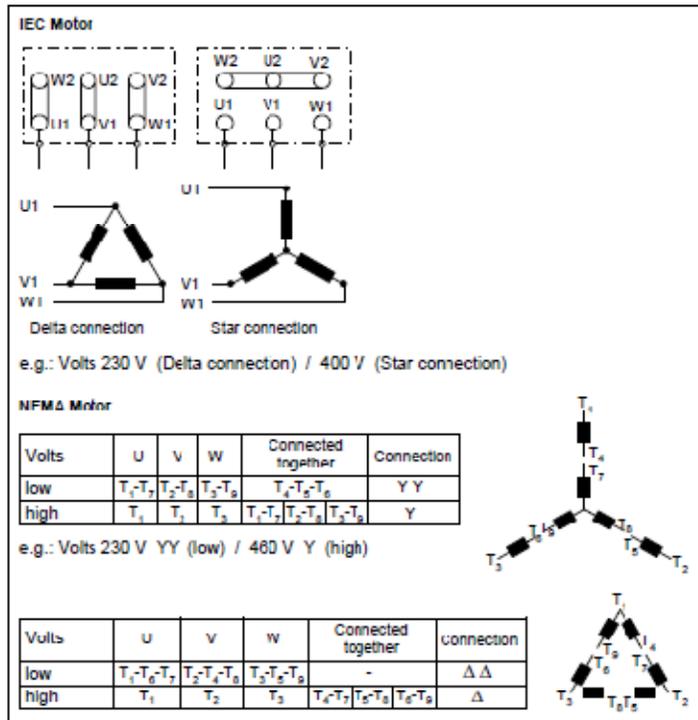


Fig. 3-23 Motor terminal box

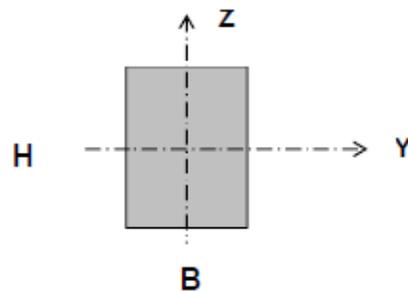
## Annexe 4

### FORMULES GEOMETRIQUES

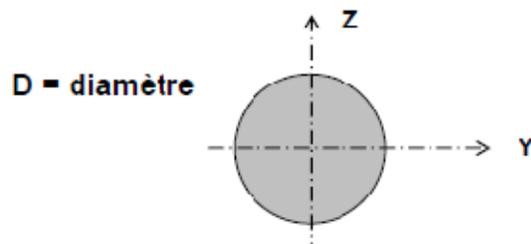
L'inertie propre de surfaces élémentaires par rapport à un axe est donnée ci-dessous .

**Rectangle ou carré :**

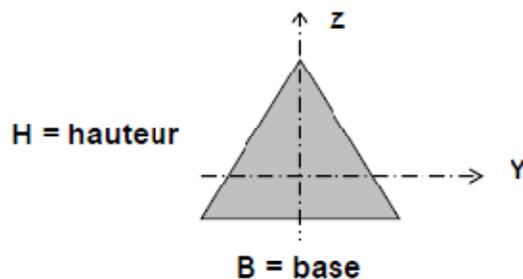
$$I_{\text{propre } y} = B * H^3 / 12$$
$$I_{\text{propre } z} = H * B^3 / 12$$



**Cercle :**  $I_{\text{propre } y} = I_{\text{propre } z} = \Pi * D^4 / 64$



**Triangle :**  $I_{\text{propre } y} = B * H^3 / 36$



Pour d'autres formes élémentaires voir le formulaire annexé

Konstruktions-Formeln

Formules géométriques

<p><b>Parallelogramm</b></p>	<p><b>Parallélogramme</b></p> $A = c \cdot h$ $h = \sqrt{b^2 - c^2}$ $z_s = \frac{h}{2}$ $I_y = \frac{a \cdot h^3}{12}$	<p><b>Kreis</b></p>	<p><b>Cercle</b></p> $A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 0,7854 \cdot d^2$ $U = \pi \cdot d$ $I_y = \frac{\pi \cdot d^4}{64}$
<p><b>Trapez</b></p>	<p><b>Trapèze</b></p> $A = \frac{a+b}{2} \cdot h$ $z_s = \frac{h}{3} \cdot \frac{a+2b}{a+b}$ $I_y = \frac{h^3}{36} \cdot \frac{a^2 + b^2 + 4ab}{a+b}$	<p><b>Halbkreis</b></p>	<p><b>Demi-cercle</b></p> $A = \frac{\pi \cdot r^2}{2}$ $y_s = \frac{4 \cdot r}{3\pi} = 0,4214 \cdot r$ $I_y = \frac{\pi \cdot r^4}{128}$ $I_z = r^4 \left( \frac{\pi}{32} - \frac{8}{9\pi} \right)$
<p><b>Ellipse</b></p>	<p><b>Ellipse</b></p> $A = \pi \cdot a \cdot b$ $U = \pi \cdot a \cdot b \cdot \left( 2 + \frac{3}{2} \sqrt{\frac{a^2 + b^2}{a^2 \cdot b^2}} \right)$ $I_y = \pi \cdot a \cdot \frac{b^3}{4}$	<p><b>Kreisausschnitt</b></p>	<p><b>Secteur circulaire</b></p> $A = \frac{b \cdot r}{2} = \frac{\alpha \cdot r^2}{2}$ $b = \alpha \cdot r \quad c = 2 \cdot r \cdot \sin \alpha / 2$ $y_s = \frac{2r \cdot c}{3b} = \frac{4r}{3} \cdot \frac{\sin \alpha / 2}{\alpha}$ $I_y = \frac{r^4}{8} (\alpha \cdot \sin \alpha)$ $I_z = \frac{r^4}{8} (\alpha + \sin \alpha)$
<p><b>Parabelabschnitt</b></p>	<p><b>Segment de parabole</b></p> $A = \frac{2}{3} \cdot b \cdot h$ $z_s = \frac{3}{5} \cdot h$ $I_y = \frac{3}{175} \cdot b \cdot h^3$ $I_x = \frac{1}{30} \cdot h \cdot b^3$	<p><b>Kreisabschnitt</b></p>	<p><b>Segment de cercle</b></p> $A = \frac{r^2}{2} (\alpha - \sin \alpha)$ $b = \alpha \cdot r \quad c = 2 \cdot r \cdot \sin \alpha / 2$ $h = r (1 - \cos \alpha / 2)$ $y_s = \frac{c^3}{12A}$ $I_y = \frac{r^4}{48} (6\alpha - 8 \sin \alpha + \sin 2\alpha)$
<p><b>Halber Parabelabschnitt</b></p>	<p><b>Demi-segment de parab.</b></p> $A = \frac{2}{3} \cdot b \cdot h$ $y_s = \frac{3}{8} \cdot b \quad z_s = \frac{2}{5} \cdot h$ $I_y = \frac{8}{175} \cdot b \cdot h^3$ $I_z = \frac{19}{480} \cdot h \cdot b^3$	<p><b>Kreisring</b></p>	<p><b>Couronne</b></p> $A = \pi (R^2 - r^2)$ $I_y = \frac{\pi (R^4 - r^4)}{4}$
<p><b>Parabel</b> Geometrische Eigenschaften</p>	<p><b>Paraboles</b> Propriétés géométriques</p> <p>Tangenten Tangentes</p> <p>Zwischenpunkte Points intermédiaires</p>	<p><b>Kreisringausschnitt</b></p>	<p><b>Secteur de couronne</b></p> $A = \frac{B+b}{2} \cdot s$ $B = \alpha \cdot R \quad b = \alpha \cdot r$ $y_s = \frac{4}{3} \cdot \frac{R^2 + Rr + r^2}{R+r} \cdot \frac{\sin \alpha / 2}{\alpha}$ $I_y = \frac{(R^4 - r^4)}{8} (\alpha - \sin \alpha)$

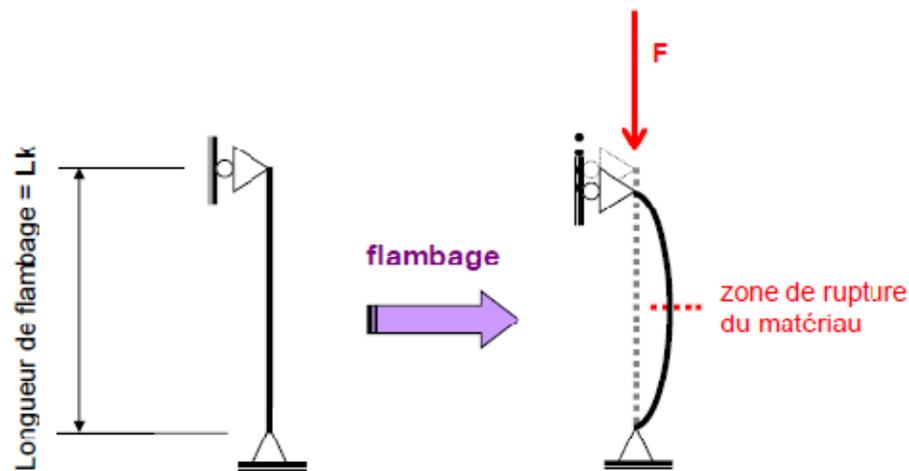
A Fläche / Aire  
 U Umfang / Périmètre  
 S Schwerpunkt / Centre de gravité  
 α in Radian (360° = 2π [rad]) / en radians (360° = 2π [rad])  
 I Trägheitsmoment / Moment d'inertie

## Annexe 5

# CALCUL FLAMBAGE

### 6. BARRES COMPRIMÉES

Lorsqu'un élément de structure est soumis à un effort de compression, celui-ci peut se "dérober" ou rompre sous l'effort par un phénomène d'instabilité appelé "**flambage**". Ce phénomène est dangereux car il peut survenir brusquement.



Le phénomène du flambage a été décrit par le mathématicien originaire de Bâle **Léonhard Euler 1707 - 1783**. Celui-ci a déterminé la **valeur théorique** pour laquelle une barre se dérober sous un effort de compression. Cette valeur, appelée **charge critique d'Euler**, est égale à la valeur suivante:

$$\text{Charge critique} = \frac{\pi^2 * E * \text{Inertie}}{\text{longueur de flambage}^2}$$



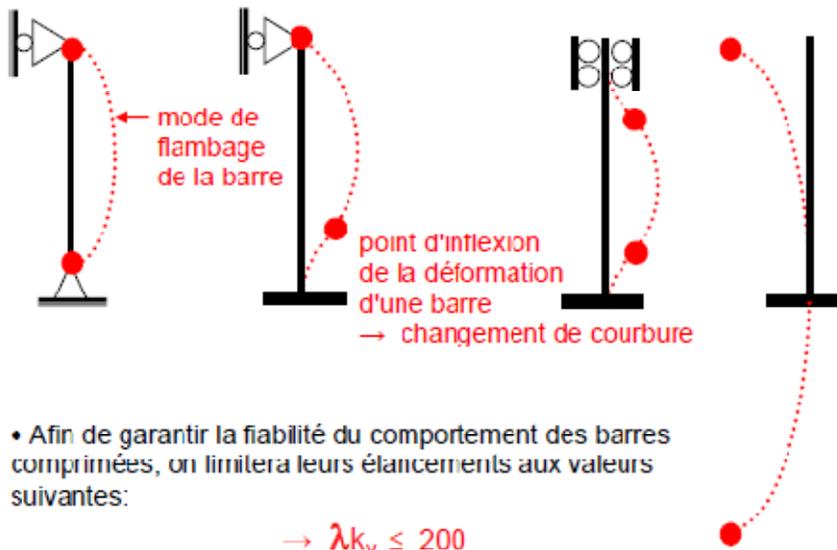
## Remarques générales sur l'utilisation des formules

- Plus l'élanement d'une colonne est grand, plus la contrainte de flambage sera faible. Dès lors, pour entrer dans l'abaque et déterminer la contrainte de flambage, il s'agira de déterminer l'élanement maximal d'une barre par rapport aux axes d'inertie Y et Z

$$\left. \begin{array}{l} \rightarrow \lambda_{ky} = Lk / i_y \\ \rightarrow \lambda_{kz} = Lk / i_z \end{array} \right\} \rightarrow \text{on prendra la valeur maximale}$$

- La longueur de flambage d'une barre est directement influencée par les types d'appuis qui maintiennent la barre en place. Selon les types d'appuis, on aura les longueurs de flambage suivantes:

$$Lk = L_{\text{barre}} \quad Lk = 0.7 * L_{\text{barre}} \quad Lk = 0.5 * L_{\text{barre}} \quad Lk = 2 * L_{\text{barre}}$$



- Afin de garantir la fiabilité du comportement des barres comprimées, on limitera leurs élanements aux valeurs suivantes:

$$\rightarrow \lambda_{ky} \leq 200$$

$$\rightarrow \lambda_{kz} \leq 200$$

## Annexe 6

### Propriétés mécaniques des certains matériaux

*Référence : Daniel GAY, Jacques GAMBELIN, "Dimensionnement des structures", édition Hermès 1999*

#### *Aciers et fontes:*

Nuances normalisées	Module d'élasticité E	Coefficient de Poisson	Masse volumique	Résistance à la rupture à la traction Rr	Limite élastique à la traction Re
	(Mpa)	(sans Dim)	(Kg/m3)	(MPa)	(MPa)
<i>Aciers d'usage général - structures minces (tôles et profilés)</i>					
S 235	205000	0.3	7800	340	235
S335	205000	0.3	7800	490	355
<i>Aciers de construction mécanique</i>					
E295	205000	0.3	7800	470	295
S355	205000	0.3	7800	490	355
<i>Aciers faiblement alliés (aucun élément d'addition ne dépasse 5% en masse)</i>					
34 Cr Mo 4	205000	0.3	7800	700 à 1100	450 à 750
36 Ni Cr Mo 16	205000	0.3	7800	1000 à 1750	800 à 1250
<i>Aciers fortement alliés (acier inoxydable)</i>					
X 2 Cr Ni 19-11	205000	0.3	7800	440 à 640	185

<i>Fonte à graphite sphéroïdal</i>					
FGS 400-15	165000	0.3	7200	400	250

**Métaux non ferreux:**

Nuances normalisées	Module d'élasticité E (Mpa)	Coefficient de Poisson (sans Dim)	Masse volumique (Kg/m3)	Résistance à la rupture à la traction Rr (MPa)	Limite élastique à la traction Re (MPa)
<i>Alliages d'aluminium</i>					
EN AW - 2017	70000	0.3	2800	470	295
A - S13	70000	0.3	2800	250	100
A - G 6	70000	0.3	2800	180	100
<i>Alliages de cuivre</i>					
	125000	0.3	8800	470	295
<i>Alliages de titane</i>					
T - A 6 V	105000	0.3	4400	1250	1110
<i>Alliages de magnésium</i>					
G - A 9 Z	44000	0.3	1800	170	90

*Référence : S LAROZE, J.J. BARREAU, "Mécanique des structures", édition Masson 1988*

Nuances normalisées	Module d'élasticité E (Mpa)	Coefficient de Poisson (sansDim)	Masse volumique (Kg/m3)	Coefficient de Dilatation (*10-6) (1/°K)	Conductivité Thermique (W/m°K)	Capacité Calorique volumique (MJ/m3°K)	Limite élastique à la traction Re (MPa)
Fer	210000	0.285	7850	12.5	71.1	3.65	200

Acier 45SCD6	220000	0.285	7850	13	50	3.58	1450
Acier Inox	220000	0.29	7850	15	35	3.74	200
Fonte	100000	0.29	7100	11	58	3.83	200
Titane	110000	0.33	4500	8.5	16.7	2.35	260
TA 6 V	105000	0.34	4400	8	7.2	2.3	870
Alumium	67500	0.34	2700	24	209	2.39	30
AU 4 G	74000	0.33	2800	22.6	159	2.69	240
AU 2 GN	73000	0.34	2750	22	159	2.64	400
Zicral AZ8GU	72000	0.35	2800	23.5	135	2.7	210
Cuivre	100000	0.34	8930	16.5	393	3.43	40
Laiton UZ40	92000	0.33	8400	20.8	121	3.16	180
Bronze	106000	0.35	8800	17.5	47	3.1	126
Bronze Bérylium	130000	0.34	8250	17	47	3.45	175
Bérylium	294000	0.05	1850	12.3	160	1.88	60
Magnésium	45000	0.34	1740	27	160	1.88	60
Plomb	16700	0.44	11350	29.1	33	1.42	1.4
Plexiglas	2900	0.4	1800	81	0.18	1.62	80
Verre	6000	0.25	2600	6	0.98	2.18	50
PVC	3500	0.3	1400	65	0.2	1.46	35

# Annexe 7

## PALIERES DES ROULEMENTS

HUB CITY INDUSTRIALLINE™ BEARING UNITS



### FEATURES INDEX BALL BEARING FLANGE BLOCKS & FLANGE CARTRIDGES

SERIES	RATING TABLES	OUTLINE DIMENSIONS	SHAFT LOCKING	BEARING LUBRICATION	FLANGE STYLE	HOUSING MATERIAL	SHAFT SIZE RANGE	INTERCHANGE REFERENCE
FB100	Page M-12	Page M-10	Setscrew	Non-Relube	3-Hole	HUB-ALLOY*	1/2 - 1-7/16	Page M-36
FB110	Page M-12	Page M-10	Setscrew	Non-Relube	2-Hole	HUB-ALLOY*	1/2 - 1-7/16	Page M-36
FB150	Page M-12	Page M-11	Setscrew	Relube	3-Hole	HUB-ALLOY*	1/2 - 1-7/16	Page M-36
FB 160	Page M-12	Page M-11	Setscrew	Relube	2-Hole	HUB-ALLOY*	1/2 - 1-7/16	Page M-36
FB220	Page M-12	Page M-20	Eccentric Collar	Relube	4-Hole	Cast Iron	1/2 - 2-7/16	Page M-38
FB220HW	Page M-12	Page M-21	Eccentric Collar	Relube	4-Hole	HUB-ALLOY*	3/4 - 2-7/16	Page M-38
FB230	Page M-12	Page M-20	Eccentric Collar	Relube	2-Hole	Cast Iron	1/2 - 2-3/16	Page M-38
FB230HW	Page M-12	Page M-21	Eccentric Collar	Relube	2-Hole	HUB-ALLOY*	3/4 - 2-7/16	Page M-38
FB250	Page M-12	Page M-22	Setscrew	Relube	4-Hole	Cast Iron	1/2 - 2-15/16	Page M-38
FB250HW	Page M-12	Page M-23	Setscrew	Relube	4-Hole	HUB-ALLOY*	5/8 - 2-7/16	Page M-38
FB260	Page M-12	Page M-22	Setscrew	Relube	2-Hole	Cast Iron	1/2 - 2-3/16	Page M-38
FB260HW	Page M-12	Page M-23	Setscrew	Relube	2-Hole	HUB-ALLOY*	5/8 - 2-7/16	Page M-38
FB350	Page M-31	Page M-32	Setscrew	Relube	4-Hole	Cast Iron	1 - 3-1/2	Page M-40
FB350H	Page M-31	Page M-33	Setscrew	Relube	4-Hole	HUB-ALLOY*	1 - 3-1/2	Page M-40
FC350	Page M-31	Page M-34	Setscrew	Relube	4-Hole Piloted	Cast Iron	1-1/4 - 3-1/2	Page M-40

† DIMENSIONS SHOWN ARE FOR REFERENCE ONLY.

### BALL BEARING TAKE-UP UNITS

SERIES	RATING TABLES	OUTLINE DIMENSIONS	SHAFT LOCKING	BEARING LUBRICATION	SLOT WIDTH	HOUSING MATERIAL	SHAFT SIZE RANGE	INTERCHANGE REFERENCE
TU220	Page M-12	Page M-24	Eccentric Collar	Relube	Standard	HUB-ALLOY*	1/2 - 2-7/16	--
TU220W	Page M-12	Page M-25	Eccentric Collar	Relube	Standard	HUB-ALLOY*	3/4 - 2-7/16	--
TU250	Page M-12	Page M-24	Setscrew	Relube	Standard	HUB-ALLOY*	1/2 - 2-7/16	--
TU250W	Page M-12	Page M-25	Setscrew	Relube	Standard	HUB-ALLOY*	5/8 - 2-7/16	--
WSTU220	Page M-12	Page M-26	Eccentric Collar	Relube	Wide Slot	HUB-ALLOY*	3/4 - 2-7/16	Page M-39
WSTU250	Page M-12	Page M-26	Setscrew	Relube	Wide Slot	HUB-ALLOY*	3/4 - 2-7/16	Page M-39
TU350	Page M-31	Page M-34	Setscrew	Relube	Standard*	HUB-ALLOY*	1-7/16 - 3	--

\* WIDE SLOT UNITS AVAILABLE ON MADE-TO-ORDER BASIS.

CALL: (605) 225-0360 • FAX: (605) 225-0567

M-5

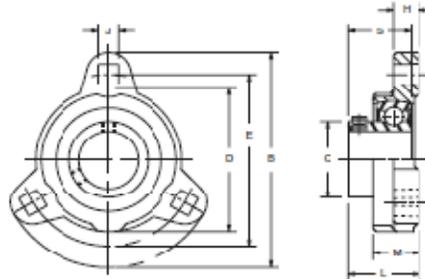


## HUB-ALLOY® FLANGE BLOCKS

SERIES FB100, FB110

### FB100 THREE-HOLE FLANGE BLOCK

- Non-relube type. Pre-lubricated at factory
- Setscrew locking
- Self-aligning replaceable bearing
- Nitrile rubber seals with steel trash guard
- Precision bored high strength HUB-ALLOY™ housing

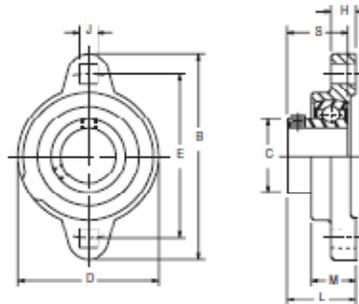


SHAFT SIZE	DIMENSIONS										WT. LBS.
	B	C	D	E	H	J	L	M	S		
1/2, 5/8	3 3/16	.053	1 15/16	2 1/2	27/64	9/32	1 1/16	3/4	.886	.6	
3/4	3-9/16	1.110	2-1/4	2-13/16	7/16	11/32	1-5/32	25/32	1.004	.8	
7/8, 15/16, 1	3-3/4	1.328	2-1/2	3	7/16	11/32	1-13/64	25/32	1.071	.8	
1-1/8, 1-3/16, 1-1/4S	4-7/16	1.563	2-15/16	3-9/16	15/32	13/32	1-11/32	27/32	1.220	1.1	
1-1/4, 1-3/8, 1-7/16	4-13/16	1.815	3-3/8	3-15/16	1/2	13/32	1-1/2	29/32	1.378	1.7	

PART NUMBERS ARE SPECIFIED BY "FB100" AND BORE SIZE; EXAMPLE: FB100 X 1/2. † HOLES ARE CAST. SOME VARIATION MAY BE EXPECTED. FOR LOAD RATINGS, SEE PAGE M-12. FOR COMPARISON CHARTS, SEE PAGE M-36. FOR REPLACEMENT INSERTS USE B250 BEARING INSERTS, SEE PAGE M-29.

### FB110 TWO-HOLE FLANGE BLOCK

- Non-relube type. Pre-lubricated at factory
- Setscrew locking
- Self-aligning replaceable bearing
- Nitrile rubber seals with steel trash guard
- Precision bored high strength HUB-ALLOY™ housing



SHAFT SIZE	DIMENSIONS										WT. LBS.
	B	C	D	E	H	J	L	M	S		
1/2, 5/8	3-3/16	.053	1-15/16	2-1/2	27/64	9/32	1-1/16	3/4	.886	.6	
3/4	3-9/16	1.110	2-1/4	2-13/16	7/16	11/32	1-5/32	25/32	1.004	.8	
7/8, 15/16, 1	3-3/4	1.328	2-1/2	3	7/16	11/32	1-13/64	25/32	1.071	.8	
1-1/8, 1-3/16, 1-1/4S	4-7/16	1.563	2-15/16	3-9/16	15/32	13/32	1-11/32	27/32	1.220	1.1	
1-1/4, 1-3/8, 1-7/16	4-13/16	1.815	3-3/8	3-15/16	1/2	13/32	1-1/2	29/32	1.378	1.5	

PART NUMBERS ARE SPECIFIED BY "FB110" AND BORE SIZE; EXAMPLE: FB110 X 1/2. † HOLES ARE CAST. SOME VARIATION MAY BE EXPECTED. FOR LOAD RATINGS, SEE PAGE M-12. FOR COMPARISON CHARTS, SEE PAGE M-36. FOR REPLACEMENT INSERTS USE B250 BEARING INSERTS, SEE PAGE M-29.

† DIMENSIONS SHOWN ARE FOR REFERENCE ONLY. CERTIFIED PRINTS ARE AVAILABLE UPON REQUEST

**M-10** CALL: (605) 225-0360 • FAX: (605) 225-0567

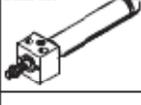
# Annexe 8

## VERINS

Vérins normalisés DSNU/DSNUP/DSN, ISO 6432

Récapitulatif

FESTO

Fonction	Version	Ø de piston [mm]	Course [mm]	Course variable <sup>1)</sup> [mm]	Tige de piston							
					Traver- sante S 2	Prolon- gée K 8	Filetage extérieur			Tou- rage intérieur K 3		
							Prolongé K 2	Raccourci K 6	Filetage spécial K 5			
À double effet	<b>Type de base avec détection de position (corps de vérin en acier inoxydable)</b>											
		DSNI	8, 10	30, 25, 40, 50, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 300, 320, 400, 500	1 ... 100 1 ... 200 1 ... 320 1 ... 500	■	■	■	■	■	■	
		<b>Type de base avec ou sans détection de position (corps de vérin en aluminium)</b>										
			DSNUP	1, 6	75, 50, 100	2)	-	-	-	-	-	-
				20								
				25								
	<b>Anti-rotation</b>											
		DSNI-Q	12, 16	-	5 ... 160	■	■	■	■	■	■	
			20	-	5 ... 200							
			25	-	5 ... 250							
<b>Raccordement transversal de l'air comprimé</b>												
	DSNI-MQ	8, 10	-	1 ... 100	-	■	■	■	■	■		
		12, 16	-	1 ... 200								
		20	-	1 ... 320								
		25	-	1 ... 500								
<b>Raccordement axial de l'air comprimé</b>												
	DSNI-MA	8, 10	-	1 ... 100	-	■	■	■	■	■		
		12, 16	-	1 ... 200								
		20	-	1 ... 320								
		25	-	1 ... 500								
<b>Fixation directe</b>												
	DSNI-MH	8, 10	-	1 ... 100	-	■	■	■	■	■		
		12, 16	-	1 ... 200								
		20	-	1 ... 320								
		25	-	1 ... 500								
<b>Type de base sans détection de position</b>												
	DSN	8, 10	30, 25, 40, 50, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 300, 320, 400, 500	1 ... 100 1 ... 200 1 ... 320 1 ... 500	■	-	-	-	-	-		

1) Dans le cas des vérins à détection de position, une course minimale de 10 mm est nécessaire pour une détection sûre.

2) Courses variables sur demande

# Vérins normalisés DSNU, ISO 6432



Riche de données techniques

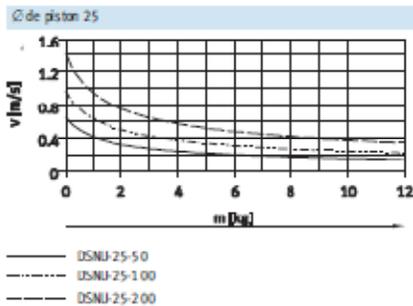
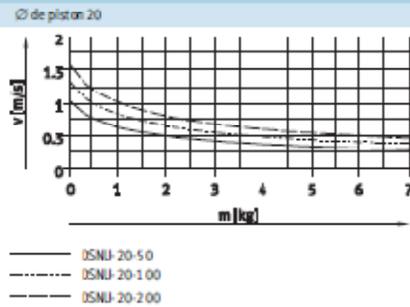
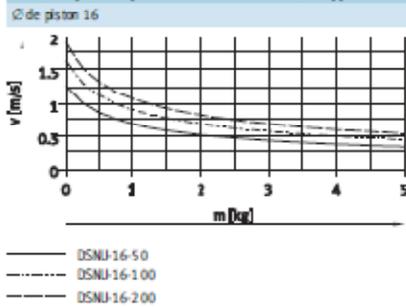
Vitesses [mm/s]			
Ø de piston	16	20	25
Vitesse sans effet de broutage, à l'horizontale, sans charge, sous 6 bars	S10 10 ... 100		
Vitesse minimale, à la sortie	S11 2,7	5,3	<1 <sup>1)</sup>
Vitesse minimale, à l'entrée	S11 3,2	4,7	<1 <sup>1)</sup>

1) Les valeurs inférieures à 1 mm/s n'ont pas été appliquées

Force (N) et énergie d'impact (J)						
Ø de piston	8	10	12	16	20	25
Pression théorique sous 6 bar, sans charge	30	47	68	171	185	795
Pression théorique sous 6 bar, réel	23	40	51	104	158	247
Énergie d'impact aux fins de course pour l'amortissement P1)	0,03	0,05	0,07	0,15	0,20	0,30

1) À une température ambiante de 20 °C, les valeurs indiquées fonctionnent à 50 %.

Vitesse de piston moyenne  $v$  en fonction de la masse supplémentaire  $m$  en liaison avec l'amortissement PPS



Nota  
Vitesse de piston moyenne  
= Course/Durée de déplacement

Nota  
Logiciel de conception pour amortissement P → ProTune  
Autres diagrammes sur l'amortissement PPS → [www.festo.fr](http://www.festo.fr)  
Logiciel de conception pour amortissement PPV → ProTune

