DILATATION

1 Dilatation des SOLIDES

1_A Dilatation linéique

1_{A1}.température et allongement

a- mise en évidence

Une augmentation de température entraîne une *augmentation de longueur* d'un objet.

Exemple :tige d'aluminium

$\theta_0 = 20°C$ $\ell_0 = 2{,}000\,000$ m

$\theta = 50°C$ $\ell = 2{,}001\,344$ m Allongement $\Delta\ell = \ell - \ell_0 = 0{,}001\,344$ m pour une tige de 2 m et pour une élévation de température de $\Delta\theta = \theta - \theta_0 = 30°C$

$\theta_0 = 20°C$ $\ell_0 = 1{,}000\,000$ m

$\theta = 50°C$ $\ell = 1{,}000\,672$ m Allongement égal à 0,000 672 m pour une tige de 1 m et pour une élévation de température de 30°C (30K)

$\theta_0 = 20°C$ $\ell_0 = 1{,}000\,000$ m

$\theta = 21°C$ $\ell = 1{,}000\,022\,4$ m Allongement égal à 0,000 022 4 m pour une tige de 1 m et pour une élévation de température de 1°C (1 K)

b- coefficient de dilatation linéique

$2{,}24.10^{-5}$ m/m/K (**$2{,}24.10^{-5}$ K^{-1}**) représente le **coefficient de dilatation linéique α_L** de l'aluminium

(*son allongement d'une* ***unité de longueur****…***cm, dm, m****…pour une élévation de température de 1 K).*

$$\alpha_L = \frac{\frac{\Delta\ell}{\ell_0}}{\Delta\theta}$$

c- loi

$$\Delta\ell = \ell - \ell_0$$

$$\ell = \ell_0 + \Delta\ell = \ell_0 + \alpha_L . \ell_0 . \Delta\theta$$

$$\boxed{\ell = \ell_0 . (1 + \alpha_L . \Delta\theta)} \qquad \boxed{\Delta\ell = \alpha_L . \ell_0 . \Delta\theta}$$

$\Delta\ell$: allongement ; $\Delta\theta$: élévation de température, ; $(1 + \alpha_L.\Delta\theta)$: binôme de dilatation

matériau	Zn	Al	Cu	Fe	acier fonte	laiton	plomb	invar	verre	pyrex
$\alpha_L.10^{-5}$ (K^{-1})	2,9	**2,24**	1,6	1,17	1,2	1,9	0,3	0,12	0,7	0,3

- acier : alliage Fe-C laiton : alliage Cu-Zn invar : alliage Ni-Fe

- la différence entre les coefficients de dilatation du pyrex et du verre explique pourquoi le refroidissement brutal permet au pyrex de mieux résister à de tels chocs thermiques.

matériau	PEhD	PTFE	PP	PVC	asphalte	béton	bois	brique
$\alpha_L.10^{-5}$	10 à 20	18	15	4 à 10	4 à 6	1 à 3	0,65	0,56 à 0,63

Exercice 1 :
Détermination du coefficient de dilatation linéique de l'alliage qui constitue une barre métallique.

a) Donner l'expression littérale du coefficient α_L en fonction de $\ell_0, \ell, \theta_0 et \theta$.

b) Application numérique : θ_0 = 0°C, θ = 100°C, ℓ_0 =1,0000 m, ℓ = 1,0015 m.

Exercice 2 :
Une barre d'acier a une longueur égale à 20,0012 m à 20°C.

a) Calculer sa longueur à 40°C.

b) Quel est l'écart de température $\Delta\theta$ pour que la barre ait une longueur égale à 20,0050 m ?
En déduire la température de la barre.

1_{A2}.contraction

Contraction : c'est l'inverse de la dilatation

$$\ell_0 = \frac{\ell}{1+\alpha_L.\Delta\theta}$$

Exercice 3 :
Une roue de diamètre D égal à 1,70 m est cerclée d'acier avec un cercle porté à 900°C.

(périmètre d'un cercle de diamètre D = 2R, R étant son rayon : $\ell = \pi$D = 2πR).

Quel sera son diamètre après refroidissement à 20°C ?...(le refroidissement se traduit par une **contraction**)

1_{A3}.remarques

a) α_L représente en réalité le coefficient moyen de dilatation linéique.

b) l'allongement d'une tige peut être obtenu aussi par ***étirement*** en utilisant la formule :

1_{A4}.étirement

formule de Robert Hooke : $\Delta\ell = \dfrac{F.\ell}{E.S}$

F : action mécanique en newton (N)

ℓ : longueur de la tige en mètre(m)

E : module d'Young ou module d'élasticité en pascals (Pa), sa valeur dépend des forces intermoléculaires

S : section de la tige en mètre-carré (m^2)

Exercice 4 :
Calculer l'allongement d'une barre d'acier de diamètre égal à un centimètre, de longueur égale à deux mètres et soumise à une force d'intensité égale à cinquante newtons.

($E = 21.10^{10}$ Pa)

1_{A5}.tour Eiffel

Exercice 5 :
La tour Eiffel…*considérée comme une tige d'acier*…a une hauteur de 300,0 m à 20°C

a) De 20°C à 40°C, quel phénomène subit la tour Eiffel ?
Même question entre 20°C et -10°C.

b) Calculer sa variation de hauteur entre -10°C et 40°C, après avoir calculé sa hauteur à 40°C et sa hauteur à -10°C.

1_{A6}.autre exercice

•Exercice 6 :
Deux tiges métalliques A et B ont la même longueur égale à 40,000 cm à 0°C.
A 20°C l'une a un allongement égal à 0,048 mm de plus que l'autre et mises bout à bout elles ont une longueur totale égale à 80,041 6 cm.

Calculer les coefficients de dilatation linéique de chaque tige…*après avoir établi un système de deux équations à deux inconnues.*

1_{A7}.dilatation et physiciens

J. Gravesande 1688-1742, physicien hollandais.
R. Hooke 1635-1703, astronome et physicien anglais.
Young 1773-1829, physicien anglais.

1_B Dilatation surfacique - Dilatation volumique

1_{B1}.mise en évidence

Le changement de longueur est accompagné d'un changement…de surface…et de volume.

Exemple : plaque d'aluminium

L'accroissement de surface d'une plaque de surface égale à 1 m^2 à 20°C qui subit une élévation de température de 1K est d'environ $4{,}48.10^{-5}$ m^2 ($2.\alpha_L$).

1_{B2}.coefficients et lois

a- surface

$\Delta S = \boldsymbol{\alpha}_S.S_0.\Delta\theta$ $\qquad$ $S = S_0 + \Delta S = S_0 + \boldsymbol{\alpha}_S.S_0.\Delta\theta = S_0.(1 + \boldsymbol{\alpha}_S.\Delta\theta)$ avec

$\boldsymbol{\alpha}_S = 2.\boldsymbol{\alpha}_L$

$\boldsymbol{\alpha}_S$: coefficient de dilatation surfacique
ΔS : accroissement de surface
$\Delta\theta$: élévation de température

b- volume

$\Delta V = \boldsymbol{\alpha}_V.V_0.\Delta\theta$ $\qquad$ $V = V_0 + \Delta V = V_0 + \boldsymbol{\alpha}_V.V_0.\Delta\theta = V_0.(1 + \boldsymbol{\alpha}_V.\Delta\theta)$ avec

$\boldsymbol{\alpha}_V = 3.\boldsymbol{\alpha}_L$

$\boldsymbol{\alpha}_V$: coefficient de dilatation volumique
ΔV : accroissement de volume
$\Delta\theta$: élévation de température

1_{B3}.solide plein et solide creux

Un solide creux se dilate de la même façon qu'un solide plein de même volume et de même nature.
(anneaux de Jacob Gravesande)

•Exercice 7 :

Démontrer que $\alpha_S = 2.\ \alpha_L$ en utilisant une surface carrée…*dont le côté se dilate* $\ell = \ell_0.(1+\alpha_L.\Delta\theta)$
De même démontrer que $\alpha_V = 3.\ \alpha_L$ en utilisant un cube…*dont l'arête se dilate.*

Exercice 8 :
La glace d'une vitrine est un rectangle de 4,00 m sur 2,50 m à 15°C.
Calculer l'accroissement de surface qui accompagne une élévation de température de 15°C à 35°C

Exercice 9 :
Une plaque d'égout en fonte (disque) a un diamètre D égal à 0,50 m à 20°C.
Calculer sa surface à 43°C.

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

Exercice 10 :
Une sphère en laiton de diamètre D égal à 2,00 cm à 0°C est chauffée jusqu'à 100°C.
a) Calculer l'accroissement de sa surface ΔS et l'accroissement de son volume ΔV.

($S = 4\pi.R^2 = \pi.D^{2)}$…R : rayon de la sphère et $V = \frac{4}{3}\pi.R^3 = \frac{1}{6}\pi.D^3$)

Exprimer les résultats en cm², mm², cm³ et mm³.

b) Calculer sa surface et son volume à 100°C.

Exercice 11 :

Rondin de bois (cylindre) de diamètre égal à 30,0 cm et de longueur égale à 1,500 m à 10°C.

a) Calculer sa surface latérale et son volume à 10°C.

$$(S = \pi.D.\ell = 2\pi.R.\ell) \text{ et } (V = \pi.R^2.\ell)$$

b) Calculer sa surface et son volume à 40°C.

Exercice 12 :

Une citerne d'acier a une contenance de 1000 L (1000 litres) à 20°C.

Calculer sa variation de contenance entre -30°C et 40°C, après avoir calculé son volume à 40°C et son volume à -30°C.

Exercice 13 :

Citer quelques applications de la dilatation des solides…*utiles* ou *néfastes*.

2 Dilatation des FLUIDES

2_A Dilatation volumique

2_{A1}.mise en évidence et lois

Une augmentation de température entraîne une *augmentation du volume* du liquide ou du gaz.

$$\Delta V = \boldsymbol{\alpha}.V_0.\Delta\theta$$

$$V = V_0 + \Delta V = V_0 + \boldsymbol{\alpha}.V_0.\Delta\theta = V_0.(1 + \boldsymbol{\alpha}.\Delta\theta) = V$$

α : coefficient de dilatation volumique

ΔV : accroissement de volume

Δθ : élévation de température

Liquide	pentane	éther	alcool	glycérine	eau	mercure
$\alpha .10^{-3}(K^{-1})$	1,6	1,5	1,12	0,5	0,207	0,182

2_{A2}.gaz

$$\alpha = \frac{1}{273{,}15} = 0{,}003\,661\ K^{-1}$$

C'est la même valeur pour **tous les gaz …***dont les propriétés se rapprochent de celles des gaz parfaits* * (dilatation isobare à pression constante).

*: *dans un gaz parfait, les molécules n'exercent aucune inter action entre elles (elles ne se repoussent pas , elles ne s'attirent pas), en dehors des chocs élastiques ; aucune énergie n'est ainsi dissipée…ce n'est bien sûr qu'un modèle.*

2_{A3}.liquides et solides

En moyenne les liquides se dilatent dix fois plus que les solides.

Exercice 14 :

Un récipient cylindrique « supposé pratiquement indilatable » contient du mercure.

(V = S.h ; la section est « supposée » constante)

La hauteur de mercure est égale à 16,00 cm à 20°C.

Calculer la nouvelle hauteur à 100°C.

Exercice 15 :

A la pression atmosphérique, un récipient « supposé pratiquement indilatable » contient de l'air, son

volume est égal à 22,4 L à 0°C.
Calculer son volume à 80°C.

2B Dilatation du récipient…aussi !

•Exercice 16 :
Un récipient ouvert en verre ordinaire est complètement rempli de mercure à 0°C.
Sachant que la masse de mercure est égale à 680 g, calculer le volume de mercure qui s'écoule hors du récipient quand la température de l'ensemble verre-liquide s'élève de 0°C à 100°C.
($\rho_{mercure}$ = 13,6 g.cm^{-3})

••Exercice 17 :
Un petit ballon de verre dont le col est effilé à son extrémité a une capacité égale à 100 cm^3 à 0°C et contient 1346,4 g de mercure.
a) A quelle température le mercure emplit-il le ballon ?
) On porte le ballon à 100°C. Quel est le volume de mercure écoulé ?
c) Etablir les formules générales donnant en fonction de la température le volume de mercure écoulé.

Exercice 18 :
Citer quelques applications de la dilatation des fluides.

3 Extraits BTS

t.p 1991

Données :
g = 9,8 m.s^{-2}
Crochet suspendu à un mince câble d'acier de longueur ℓ = 2,5 m et de masse négligeable.
θ_1 = 10°C et θ_2 = 30°C
Coefficient de dilatation linéaire de l'acier : 1,2.10^{-5} K^{-1}.

Une bourrasque de vent déplace le système par rapport à la verticale et la maintient en équilibre.
Le vent cesse brusquement.
On assimile le système [câble – crochet] à un pendule simple.
Ce dernier se met en mouvement.
La période des oscillations de faible amplitude peut se mettre sous la forme :

$$T = 2\pi.\sqrt{\frac{\ell}{g}}$$

1- Calculer sa valeur numérique.
Les oscillations précédentes avaient lieu à une température ambiante θ_1.
La température s'élève à la température θ_2.
On n'envisage que la dilatation linéaire du câble.
2- a- Quelle est la nouvelle période des oscillations ?
b- Quelle incertitude relative commet-on en affirmant que la période des oscillations n'a pas variée ?
Etude des contraintes mécaniques dans les bétons armés

Etudes des contraintes mécaniques dans les bétons armés

Une barre d'acier de section S = 10^{-4} m^2 appartient à un ferraillage, est soumise à des variations de température de -10°C en hiver jusqu'à 30°C en été.
En supposant qu'à 15°C sa longueur est ℓ_{15} = 10 m.
1- De quelle longueur se dilate la barre lorsque sa température passe de +15°C à 30°C ?
2- Quelle est la force exercée, notée $F_{30,}$ par cette barre d'acier qui passe d'une température de 15°C à 30°C si on l'empêche de se dilater ?
3- Quelle est la pression, notée $P_{30,}$ correspondante qui s'exerce sur la section de la barre d'acier.
4- Comparer cette pression à la pression atmosphérique : P_{atm}.

5- En déduire l'utilité des joints de dilatation que l'on utilise dans le bâtiment, sachant que le coefficient de dilatation du béton est de même ordre que celui de l'acier.

<u>Données :</u>

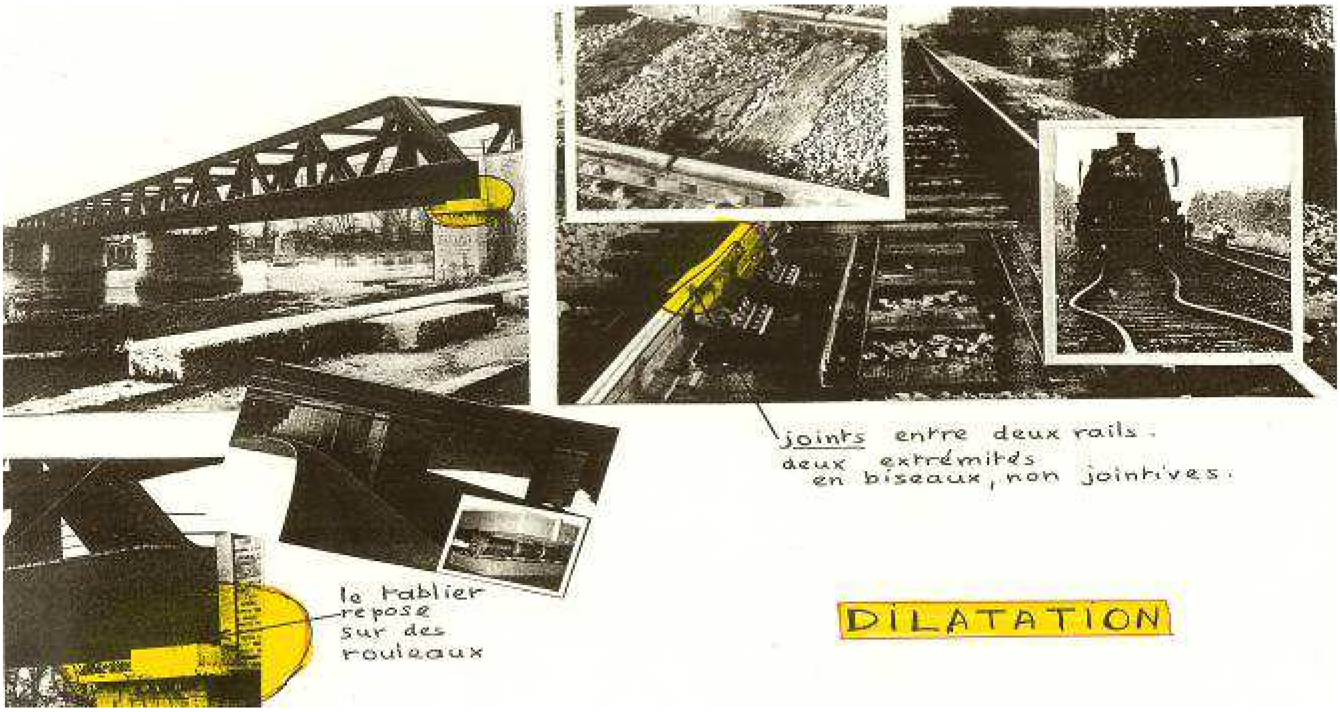
Coefficient de dilatation linéaire moyen de l'acier : $\alpha_L = 1{,}2.10^{-5}\ K^{-1}$.

Module d'Young pour l'acier : $E = 2{,}0.10^{11}\ N.m$.

Loi de Hooke : $\Delta\ell = \dfrac{F.\ell}{E.S}$ *; $\Delta\ell$ est l'allongement (en m) d'une barre de longueur ℓ (en m), de section S (en m^2), de module d'Young E (en $N.m^2$) et soumise à une force F (en N).*

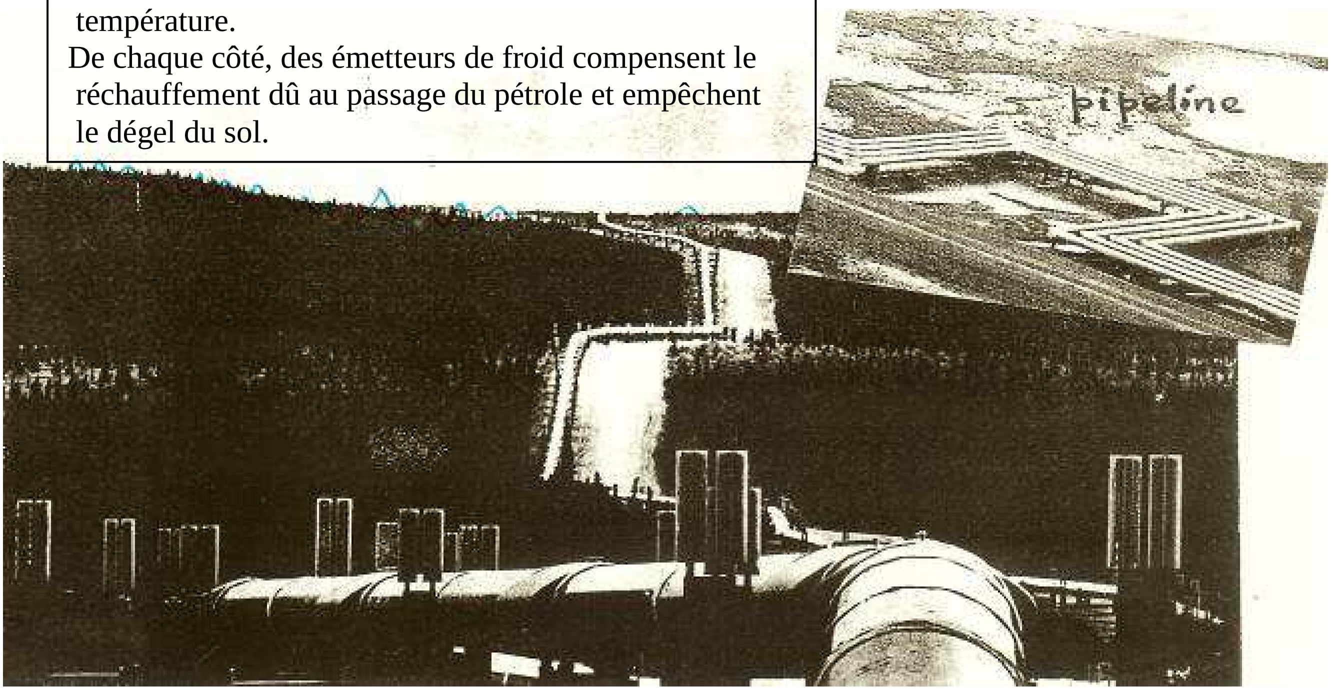
4 DOCUMENTS

4A Ponts - Rails



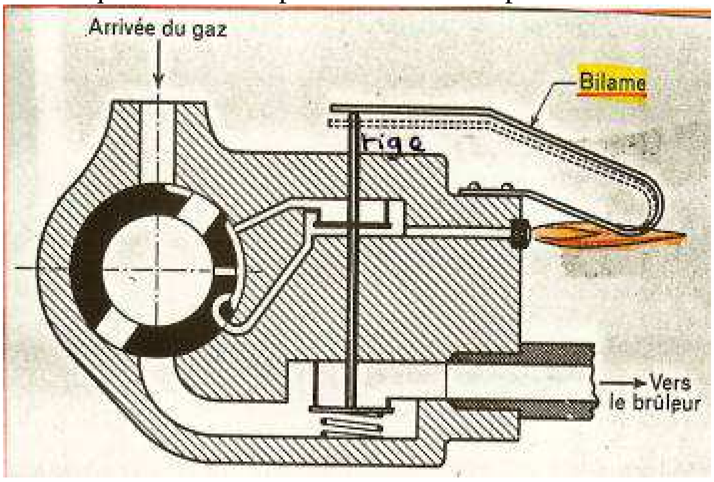
4B Oléoduc en Alaska

Construction en zigzag...pour faciliter l'*extension* ou la *contraction* du métal, en raison des différences de température.
De chaque côté, des émetteurs de froid compensent le réchauffement dû au passage du pétrole et empêchent le dégel du sol.



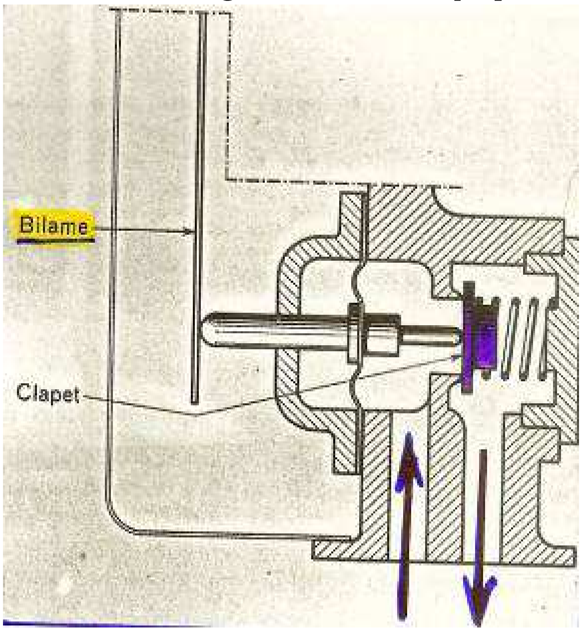
4$_C$ Appareils à gaz

La déformation du **bilame** entraîne l'ouverture du clapet.
Ce qui assure une protection de l'explosion et de l'intoxication.

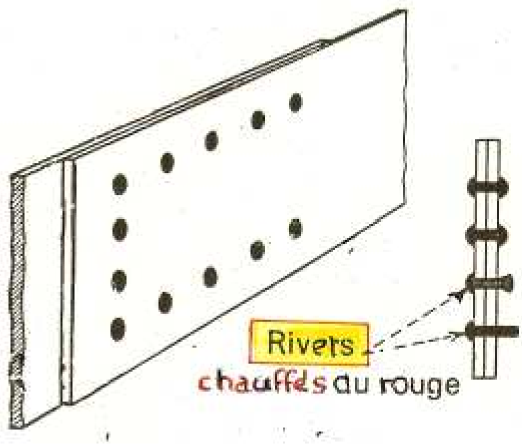


4$_D$ Appareils à circulation de fluide

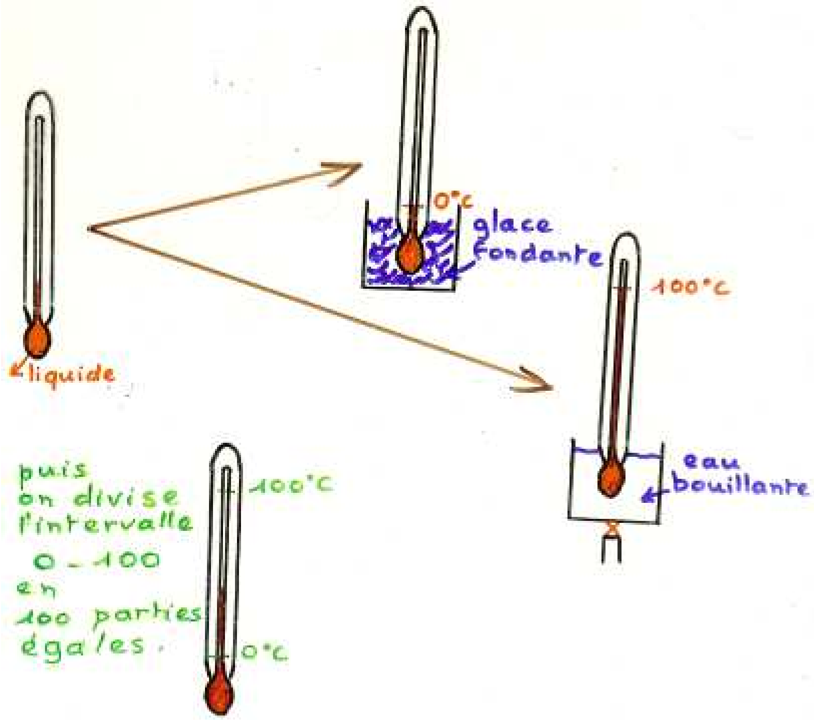
La déformation du bilame entraîne la tige vers le bas, ce qui permet l'ouverture des deux clapets.



4$_E$ Rivetage

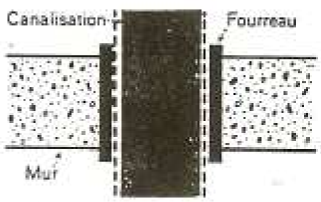


4F Construction d'un thermomètre

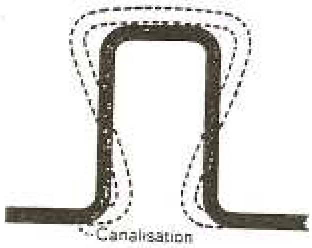


4G Conduites d'eau chaude (ou de vapeur)

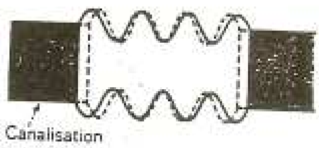
Elles doivent pouvoir se dilater transversalement ou longitudinalement.



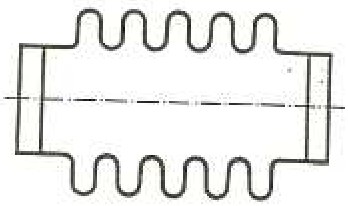
Fourreau de dilatation.



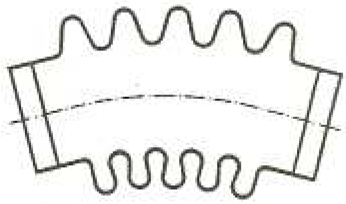
Lyre de dilatation.



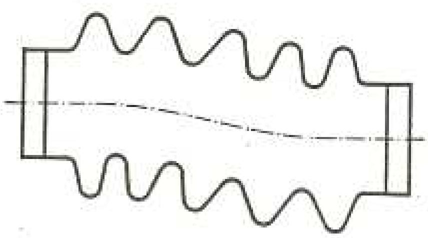
Soufflet (ou compensateur) de dilatation

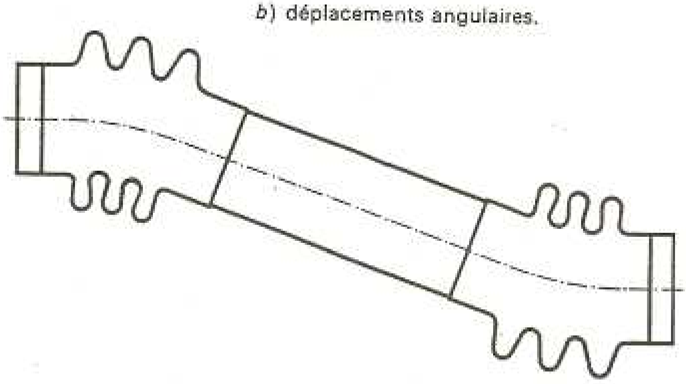


a) déplacements axiaux.



b) déplacements angulaires.

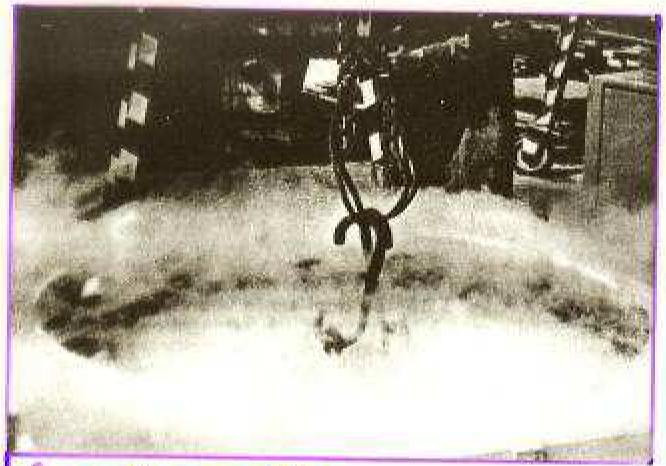




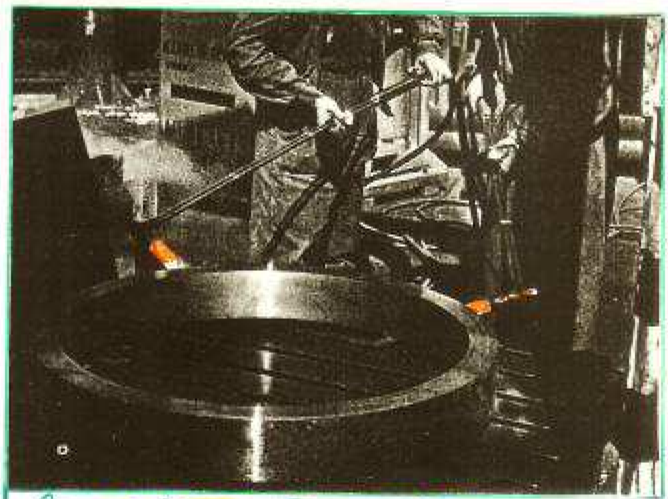
c) et d) :
déplacements latéraux.

4_H Emmanchements

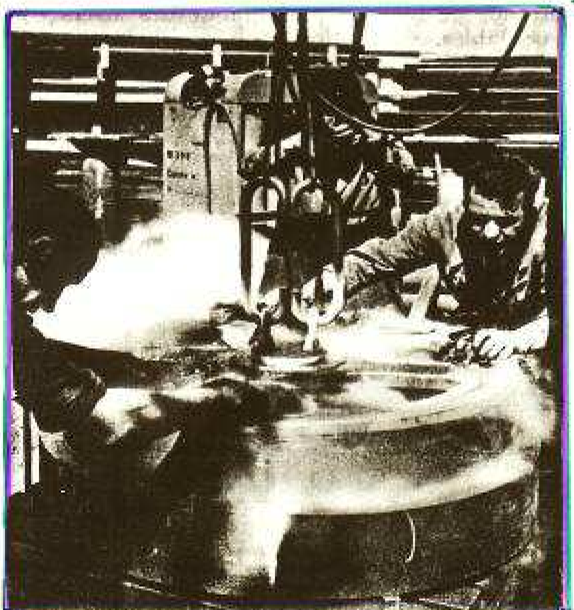
EMMANCHEMENT
par dilatation



la **pièce mâle**
est plongée dans
le diazote liquide
à -196°C (pendant 10 mn)



la **pièce femelle**
est portée à 200°C
à l'aide de 2 chalumeaux
oxyacétyléniques (pendant 10 mn)



la pièce mâle contractée
est descendue dans...
la pièce femelle dilatée