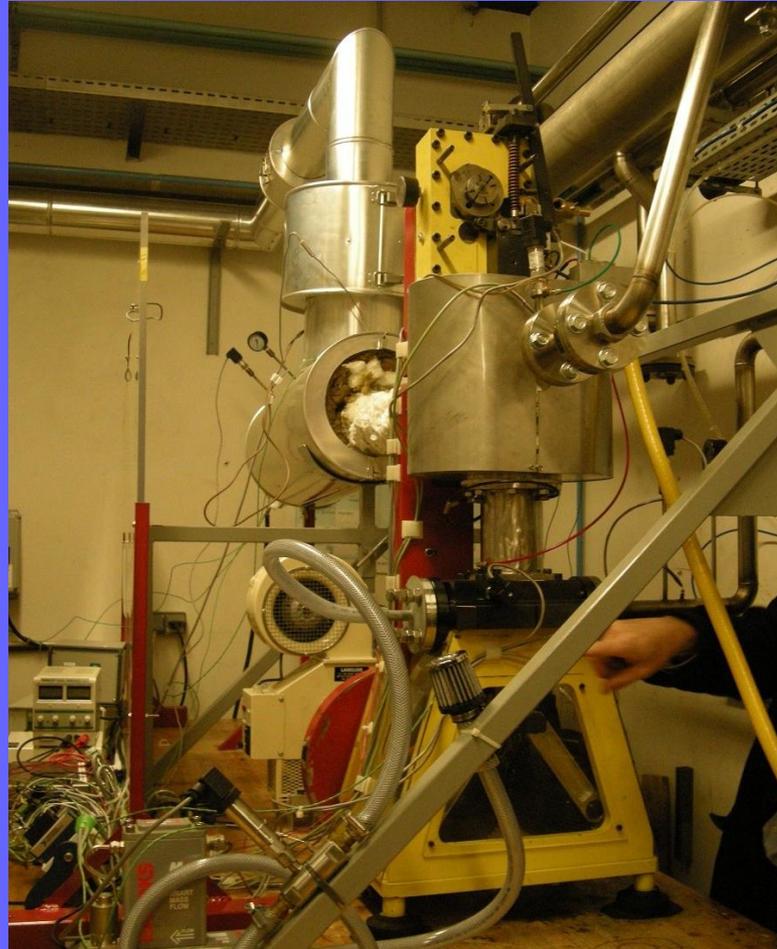


Conception mécanique et réalisation d'un moteur Ericsson



Introduction

L'objectif de cette présentation est de montrer :

- les particularités de conception propres aux machines thermiques en général.
- plus spécialement les particularités de réalisation de notre machine Ericsson.

SUJETS DEVELOPPES

- 1 - Conception des mécanismes
- 2 - Dynamique de distribution
- 3 - Les matériaux
- 4 - Fuites de chaleur
- 5 - Montée en température

PARTICULARITES DE L'ENVIRONNEMENT

- Température élevée de l'espace de détente (650 °C)
- Gaz de travail oxydant (air)
- Importants gradients thermiques internes

1 – Conception des mécanismes

Conception des mécanismes

Pour réaliser un mécanisme, on peut envisager beaucoup de solutions techniques qui fonctionneront très bien à froid. Les solutions sont beaucoup plus limitées à 650 °C.

Les raisons en sont multiples :

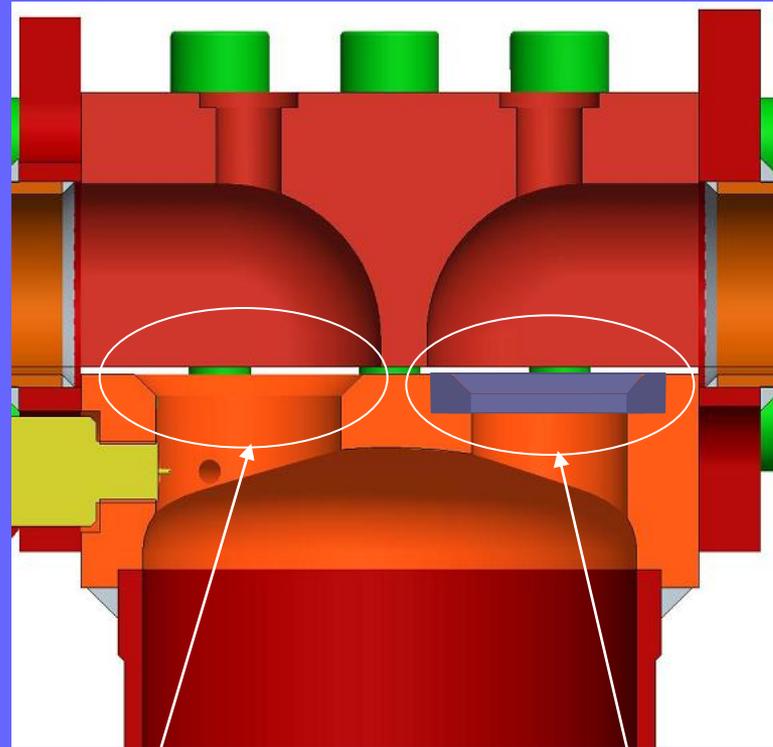
- **frottements des fonctions de guidage**
- **Dilatation des pièces**
- **Fonctions d'assemblage**
- **modification des caractéristiques des métaux à haute température**
- **Corrosion due à la présence d'oxygène**

***Frottement des
fonctions de guidage***

Fonctions d'assemblage (vissage)

Pour les assemblages vissés avec de la vis inox 316L, j'ai multiplié par 5 environ la section des vis puisque c'est à peu près dans cette proportion que chute les limites de contraintes de fluage du matériau. Il vaut mieux multiplier le nombre de vis que de trop serrer afin de pouvoir les démonter après plusieurs cycles de chauffage / refroidissement. Il y a une forte tendance au collage. Il serait préférable d'utiliser des vis en Inconel beaucoup plus chères car elle sont fabriquées sur mesure par des Sociétés spécialisées

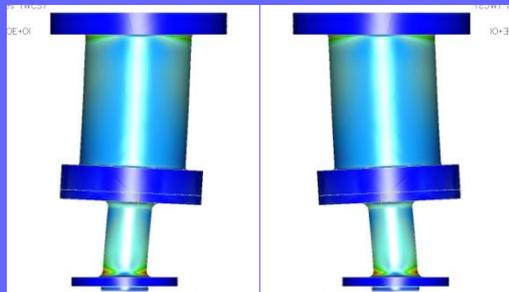
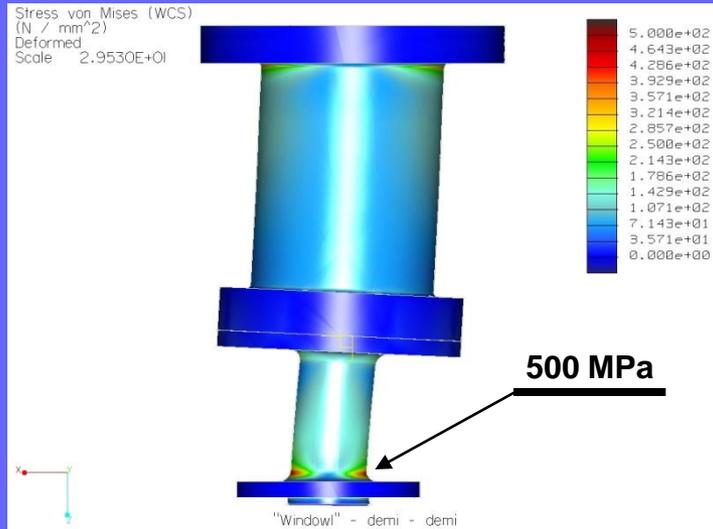
Fonctions d'assemblage (frettage)



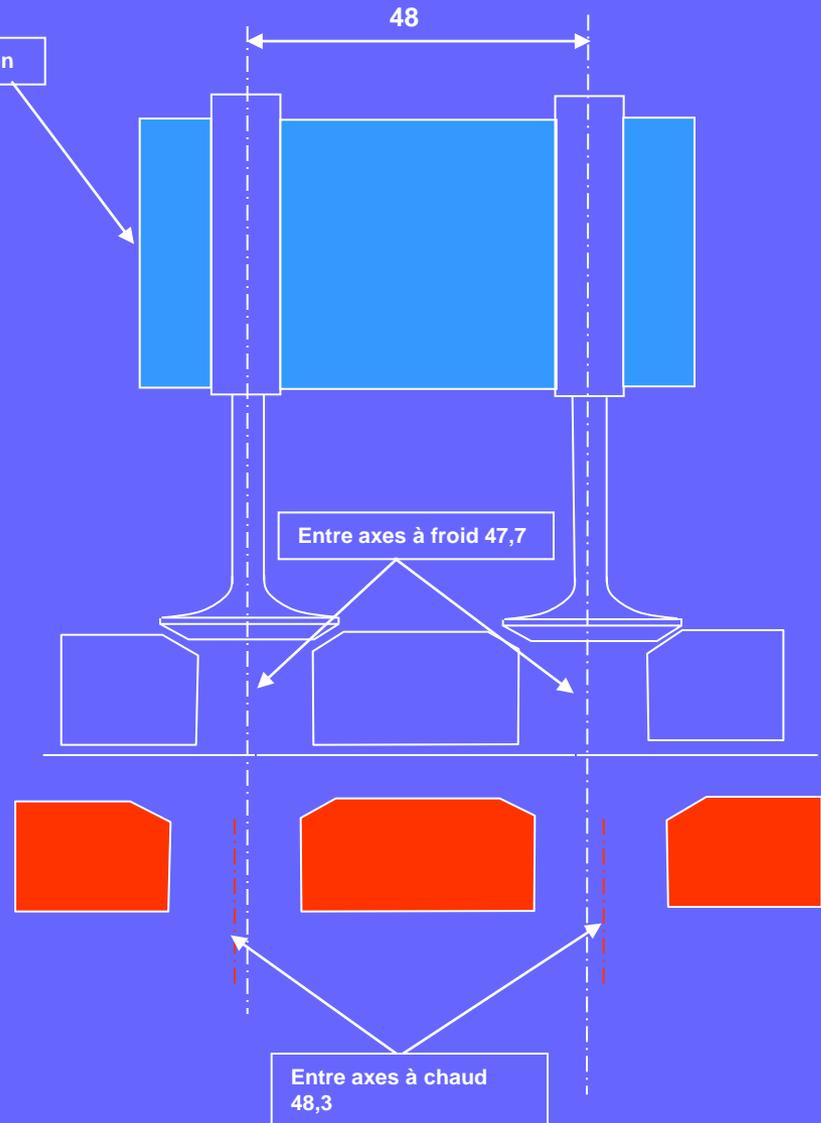
Siège usiné dans la masse

Exemple de siège fretté

Maitrise de la dilatation différentielle



Bloc distribution



2 – Dynamique de distribution

Comparatif des efforts de levée de soupapes

La dynamique de manœuvre des soupapes comporte quelques particularités par rapport aux moteurs à combustion interne (MCI).

Moteur à combustion interne

à 6000 rpm

$$F = m_I \gamma_I + T_{RI} = 0,1 \times 1280 + 200 = 328N$$

X 2,4

Moteur Ericsson

à 950 rpm

$$F = m_E \gamma_E + T_{RE} = 0,345 \times 1155 + 400 = 800N$$

Energie consommée par la distribution en fonction du régime

Travail consommé par le ressort d'admission :

$$W = \int_0^{8 \cdot 10^{-3}} (kx + Tar_{admi}) dx = 3,52 J$$

Travail consommé par le ressort de refoulement :

$$W = \int_0^{8 \cdot 10^{-3}} (kx + Tar_{ref}) dx = 2,56 J$$

Avec un rendement global de 0,8 entre le vilebrequin et les cames, le travail consommé par cycle est de 7,6 J soit

120 W à 950 rpm.

3 – Les matériaux

Les aciers classiques à haute température

L'acier inoxydable inox 316 L (Z2 CND 17-12)

Prix : 9 € / kg

Fe 68 %, Cr 17 % ,Ni 12 % ,

Les réfractaires base acier

L'acier utilisé pour la culasse (E-Z6-NCT25)

Re à 700 C : 500 MPa

Prix : jusqu'a 230 € / kg

pour achat petite quantité

Prix chutant à 50 € / kg pour 300 kg

Fe 55%, Ni 26 %, Cr 15 % ,

Les réfractaires base Nickel ***(Inconel)***

Exemple Inconel 718 (NiCr19Fe19Nb5Mo3)

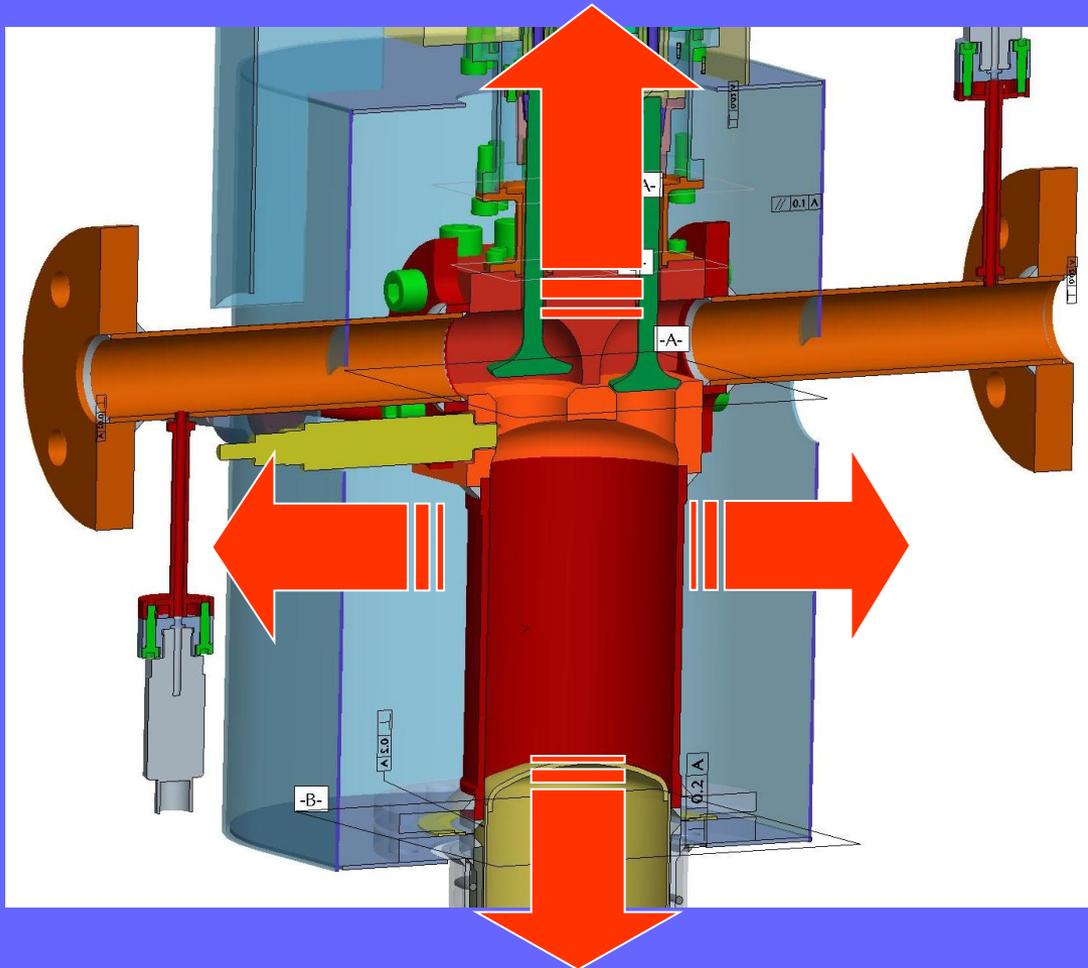
Re à 700 C : 900 MPa

Minimum de facturation : 440 € (*conditions Aubert & Duval*)

Prix chutant à 100 € / kg pour 300 kg

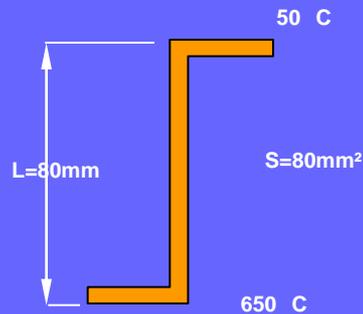
Ni 54%, Fe 18,5 %, Cr 18 %, Nb 5,2 %, Mo 3 %

4 – Fuites de chaleur



Fuite de chaleur par la patte de liaison culasse / Bloc distribution

La face supérieure est stabilisée à 50 C par circulation d'eau



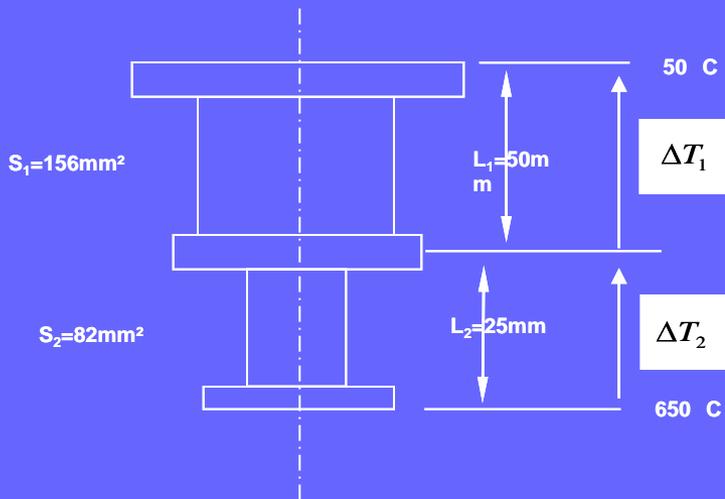
Fuite thermique

Conduction thermique inox 316L : $\mu_{th}=16,3\text{W/m}^\circ\text{C}$

$$P_1 = 16,3 \frac{80 \cdot 10^{-6}}{80 \cdot 10^{-3}} 600 \approx 10\text{W}$$

Fuite de chaleur par les enveloppes de soupapes

La face supérieure est stabilisée à 50 C par circulation d'eau



$$\mu_{th} = 13 \text{ W} / \text{m}^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_1 + \Delta T_2 = 600^\circ\text{C}$$

Par analogie avec la loi d'ohm

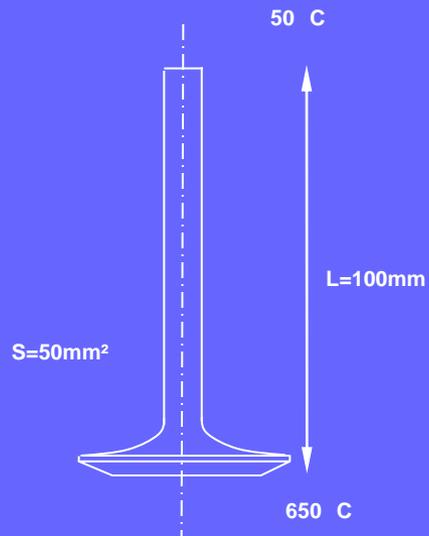
$$\Delta T_1 + \Delta T_2 = P(R_1 + R_2) = P\left(\frac{L_1}{S_1 \mu_{th}} + \frac{L_2}{S_2 \mu_{th}}\right)$$

$$600 = \frac{P}{13} \left(\frac{25 \cdot 10^{-3}}{82 \cdot 10^{-6}} + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{156 \cdot 10^{-6}} \right)$$

$$P = 12,5 \text{ W}$$

Fuite de chaleur par les queues soupapes

La face supérieure est stabilisé à 50 C par circulation d'eau

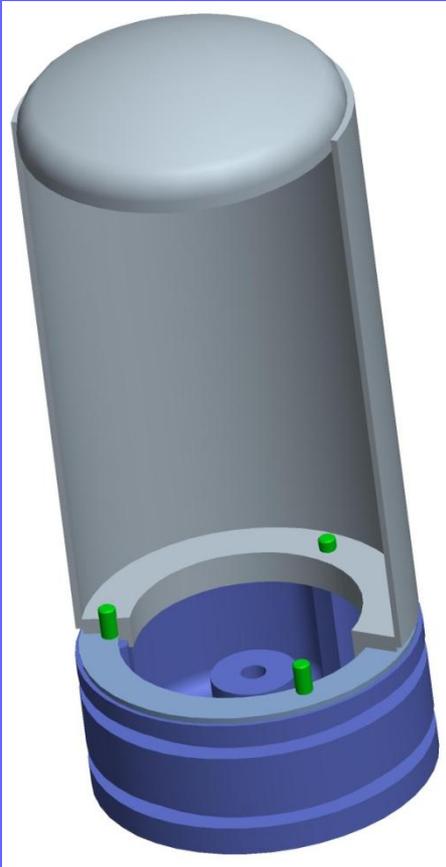


$$P = \mu_{th} \frac{S}{L} \Delta T = 16 \frac{50}{100} 10^{-3} \cdot 600 = 4,8 \text{ W}$$

Fuite de chaleur par le piston

La résistance thermique est augmentée par une section longue du piston soit :

$$S=215 \text{ mm}^2 \text{ et } L=138$$



$$\mu=18 \text{ W/mK}^\circ$$

$$P_c = 18 \cdot \frac{215}{138} \cdot 10^{-3} \cdot 500 \cong 14 \text{ W}$$

$$P_r = C_0 S \varepsilon (T_1^4 - T_2^4)$$

On vérifie par Boltzman que le rayonnement de la virole représente 9 W
et le fond 5 W

Fuite de chaleur par la chambre

Par conduction vers la chambre froide inférieure : 62 W

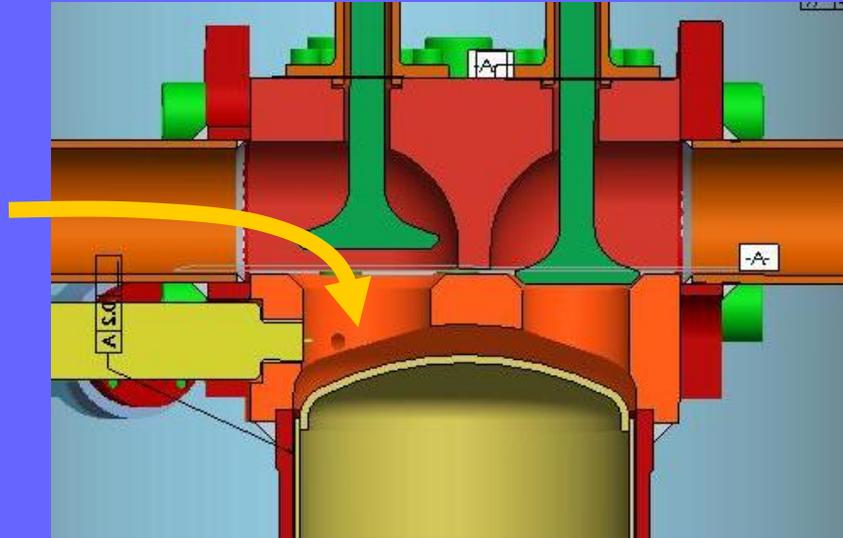
Par conduction à travers l'enveloppe isolante : 40 W

Bilan des Fuites de chaleur de l'espace de détente

•Chambre chaude	102 W
•Piston	14 W
•2 enveloppe soupapes	26 W
•2 soupapes	10 W
•1 patte de liaison	10 W
	<hr/>
	162 W

5 – Montée en température

Lors du chauffage de la machine, la distribution de chaleur dans les pièces s'effectue de façon très irrégulière.



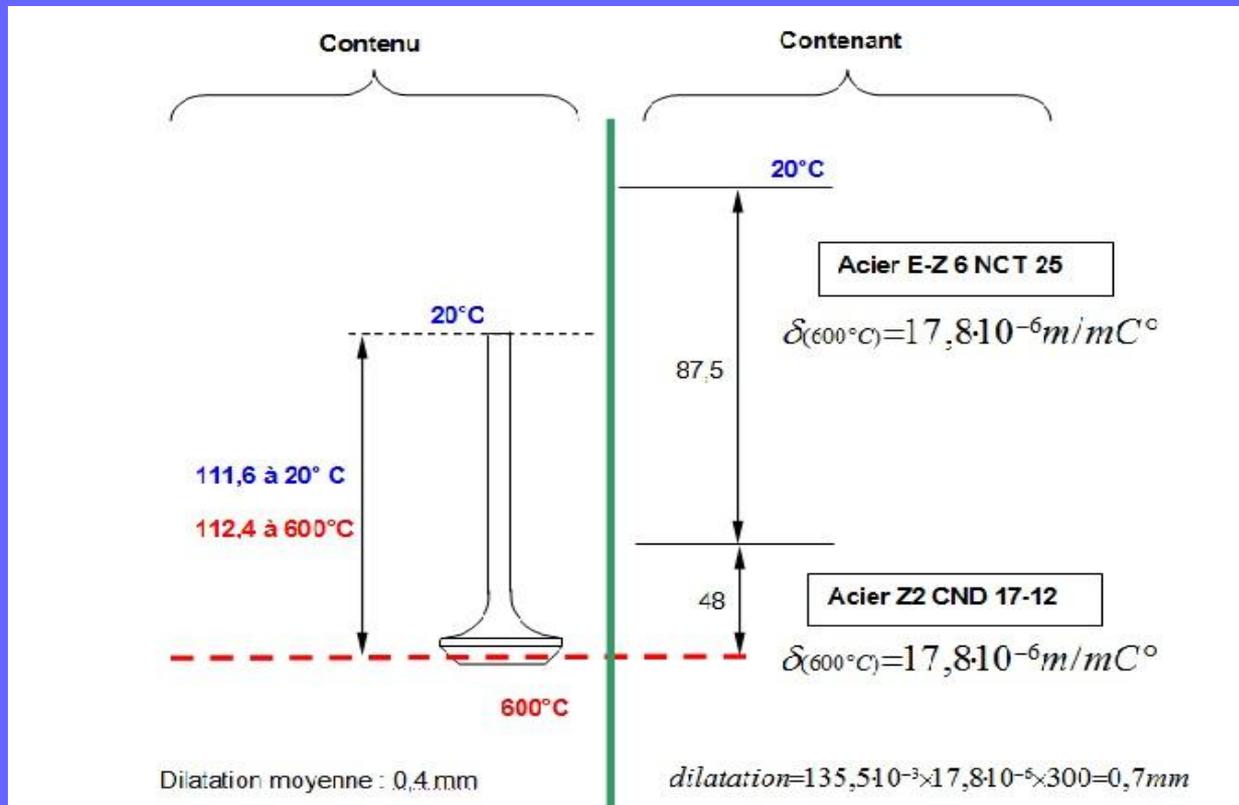
Début de chauffe



Régime stabilisé



Allongement différentiel des soupapes et de leur environnement





Remerciements

A Pascal STOUFFS pour ses précieux conseils et ses encouragements

A Abdou TOURE pour son implication pratique lors de la mise au point

Aux financeurs du projet qui ont rendu possible cette aventure

Merci de votre attention



Luc DANDO
Ingénieur Conseil

05 61 03 18 36
06 11 61 70 02
luc-dando@orange.fr