



Institut de Recherche Dupuy de Lôme  
UMR CNRS 6027



# Emboutissage en température d'alliage d'aluminium à durcissement structural

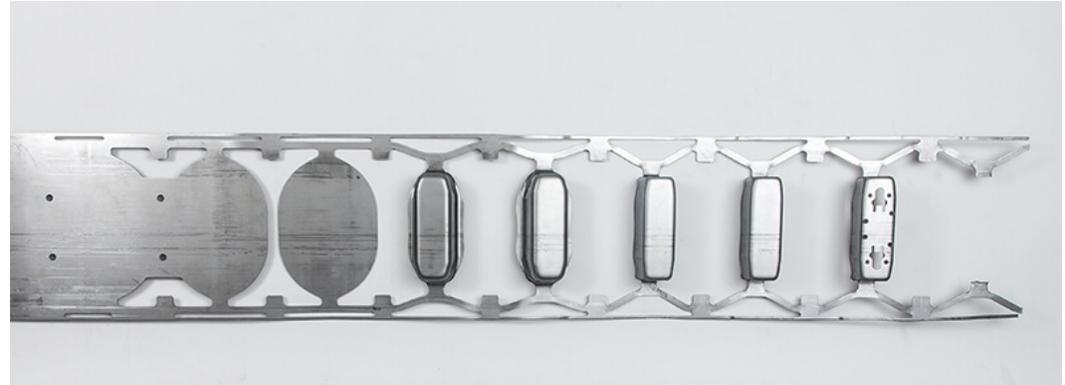
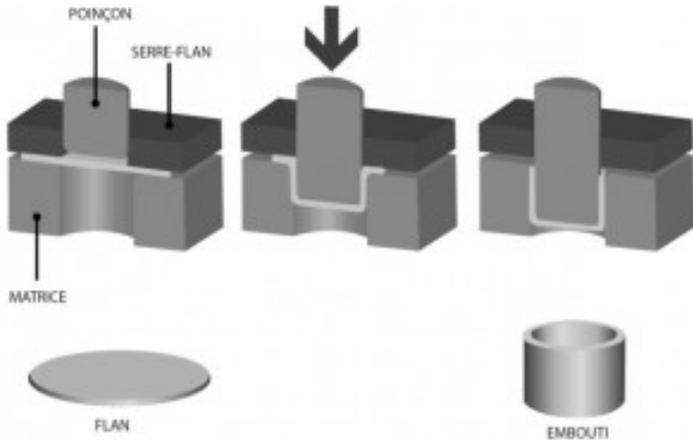
Sylvain Royne<sup>a</sup>, Hervé Laurent<sup>a</sup>, André Maillard<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Univ, Bretagne Sud, UMR CNRS 6027, IRDL, F-56100 Lorient, France

<sup>b</sup>Cetim, F-60300 Senlis, France

## C'est quoi l'emboutissage ?

Procédé de fabrication qui consiste à mettre en forme une feuille mince (tôle/flan) à l'aide d'une presse à emboutir.  
→ Automobile, Emballage et conditionnement, Aéronautique, etc...



Cadence :

200-300 pièces/heure → Pièce volumineuse

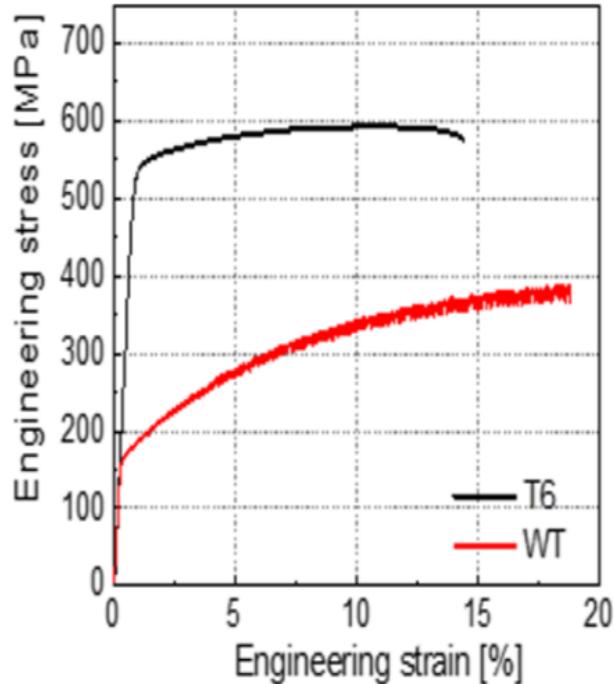
4000 pièces/heure → Petite pièce

Procédé de fabrication rapide et peu couteux



## Alliage d'aluminium à durcissement structural

Alliages d'aluminium auxquels on peut augmenter les caractéristiques mécaniques par traitement thermique → Série 2000, 6000 et **7000**



Courbe contrainte/déformation pour l'aluminium 7075 à l'état T6 et W

## Pourquoi faire de l'emboutissage en température ?

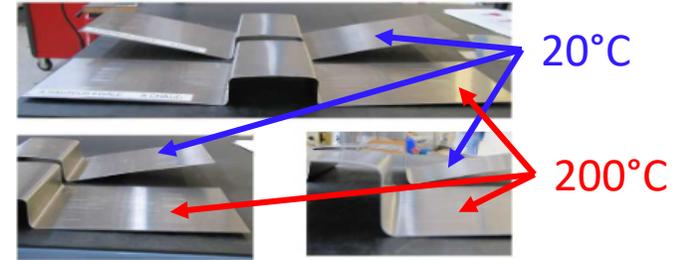
Augmentation de la formabilité à 200°C

20°C      200°C

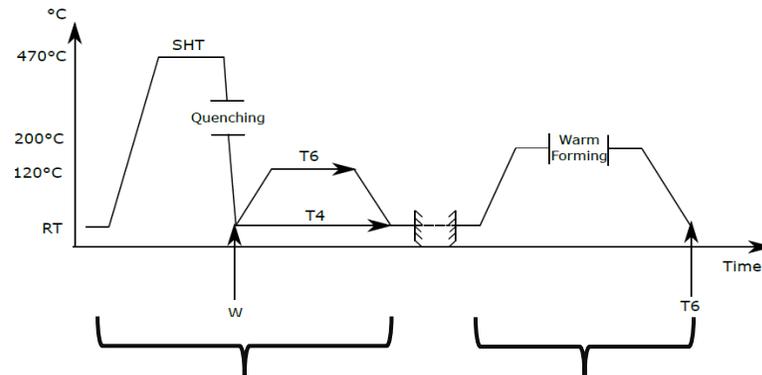


P. J. Bolt 2001 Journal of Materials Processing Technology

Réduction du retour élastique à 200°C



A. Maillard 2014 IDDRG



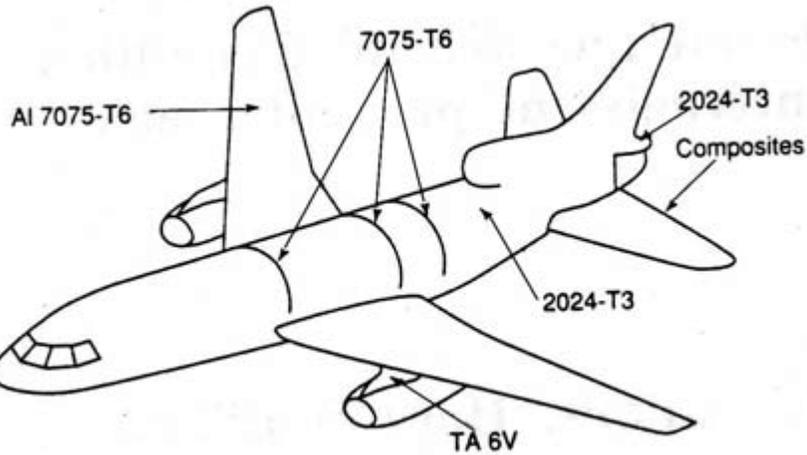
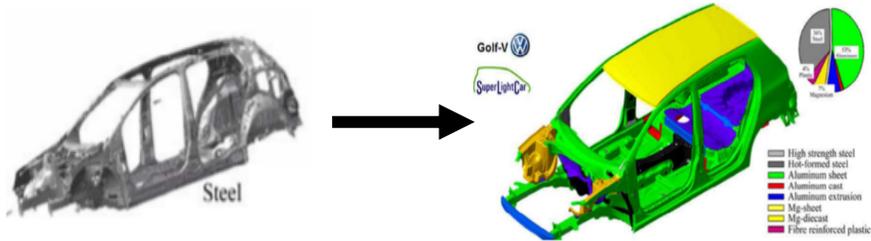
Traitement thermique T6

Emboutissage à mi-chaud

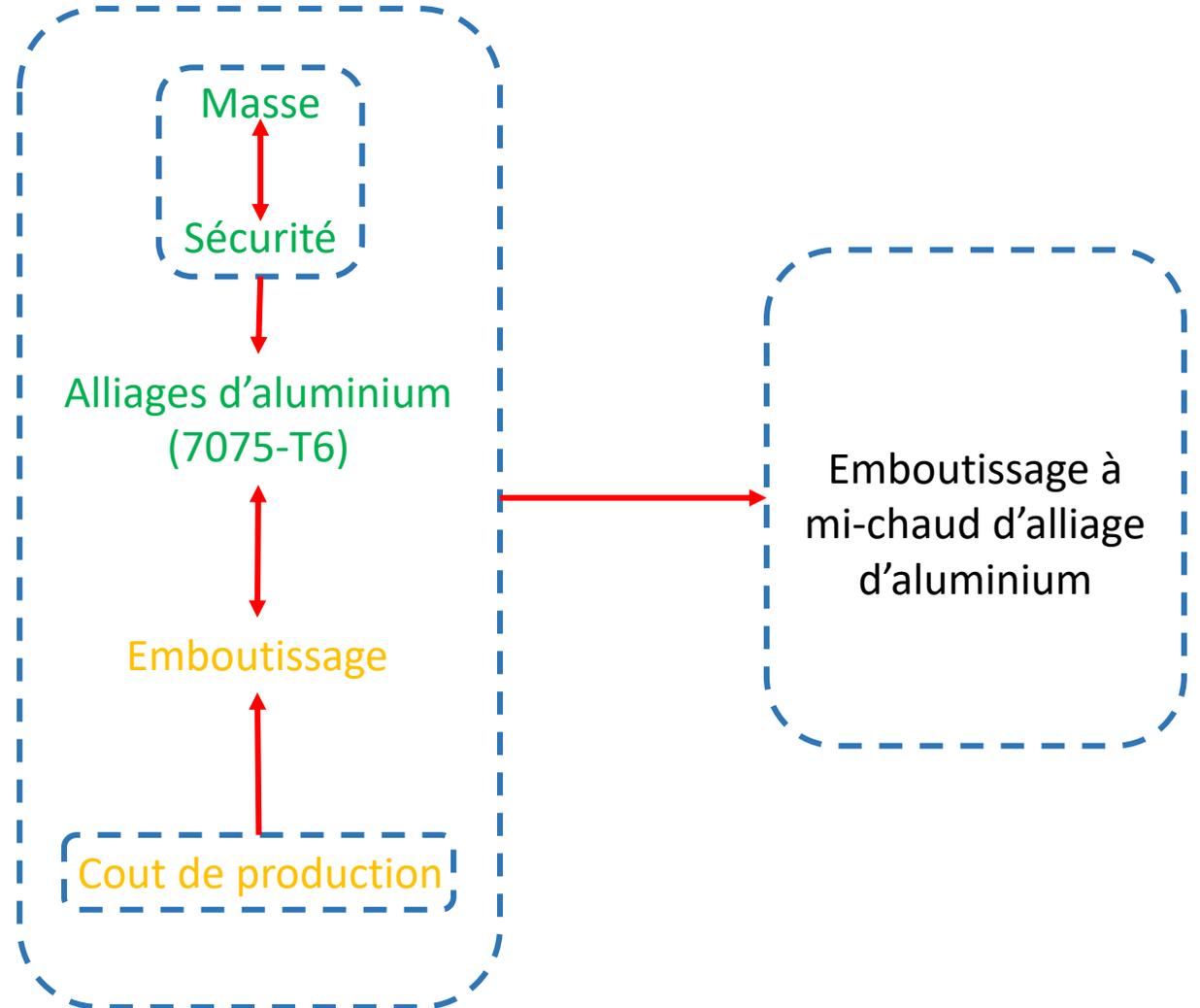
## Emboutissage à mi-chaud

Avantage : Formabilité augmentée et retour élastique diminué, pas de traitement thermique de reprise.

Inconvénient : Diminution de la cadence de production, **procédé en cours de développement**



Réduction de la masse → Réduction des émissions de gaz à effet de serre



## Objectifs du CETIM-pôle SPI Métaux en feuille

Anticiper et maîtriser le formage à mi-chaud de l'aluminium → Apporter son expertise aux industriels

Réduire les couts de développement d'outils de formage en température

## Objectifs de la thèse

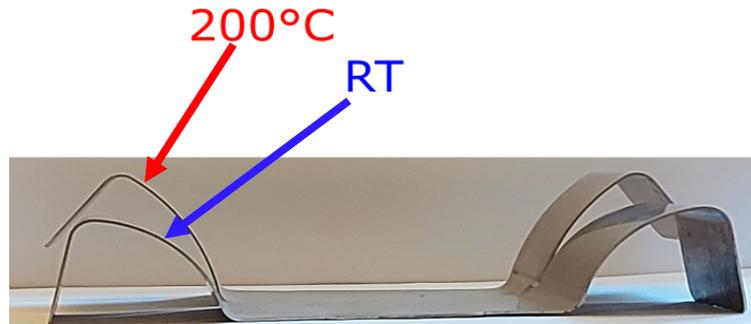
Développer un outil numérique du formage à mi-chaud → Prédire et optimiser les paramètres d'emboutissage

Optimiser les paramètres thermiques de l'emboutissage en température

- Comportement mécanique du matériau → Essais de caractérisation thermomécanique du 7075-T6
- Comportement mécanique du matériau après cycles thermiques → Essais de dureté/conductivité électrique et de traction
- Données comparative expérimental → Essais d'emboutissage en température sur les moyens d'essais du CETIM

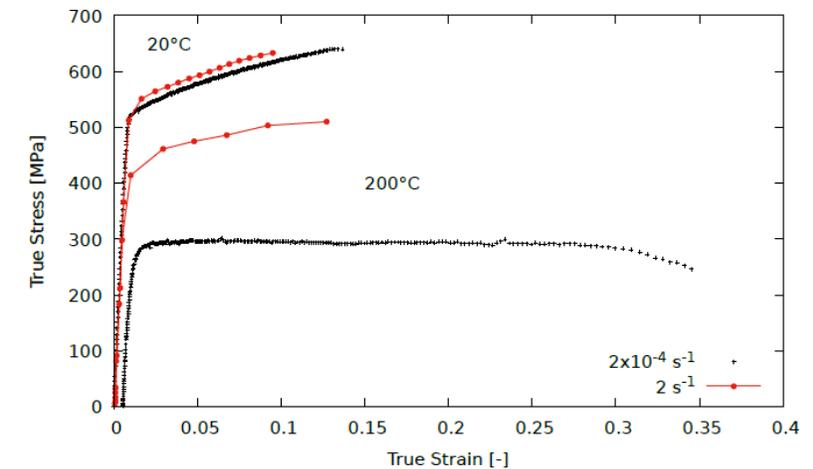
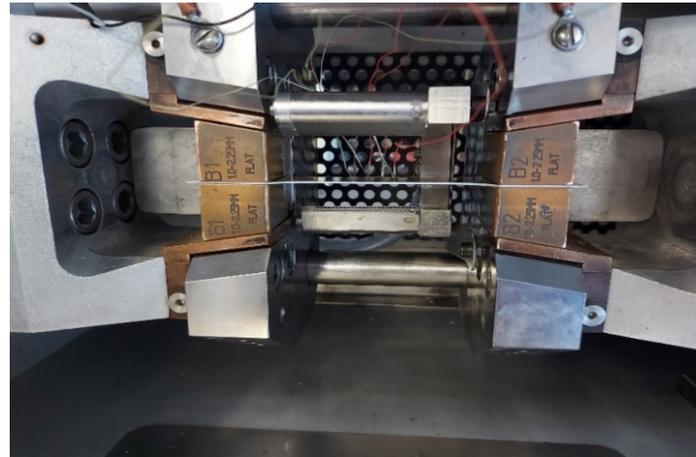
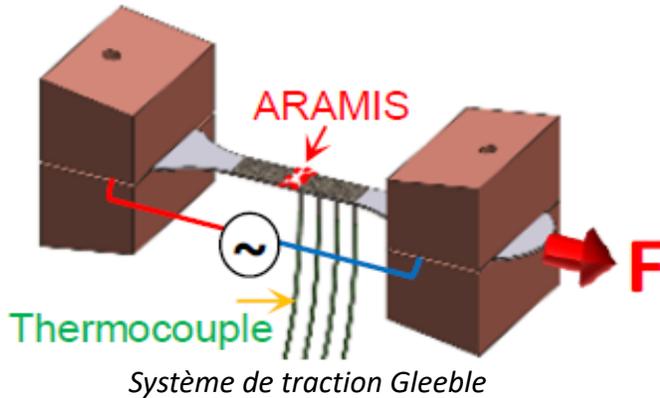
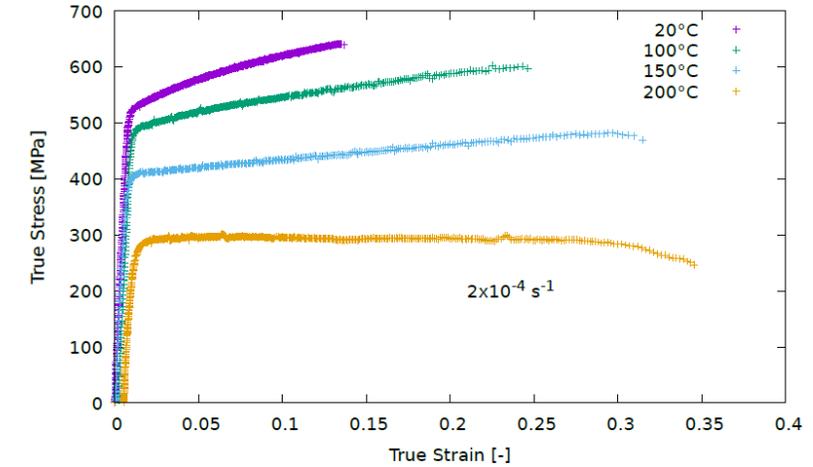


Decoupage Chauffage Emboutissage



**Objectif** : Déterminer le comportement thermomécanique du 7075-T6

- 4 températures : TA, 100°C, 150°C et 200°C
- 5 vitesses de déformation : ( $2.10^{-4} s^{-1}$ ,  $2.10^{-3} s^{-1}$ ,  $2.10^{-2} s^{-1}$ ,  $0,2 s^{-1}$  and  $2 s^{-1}$ )

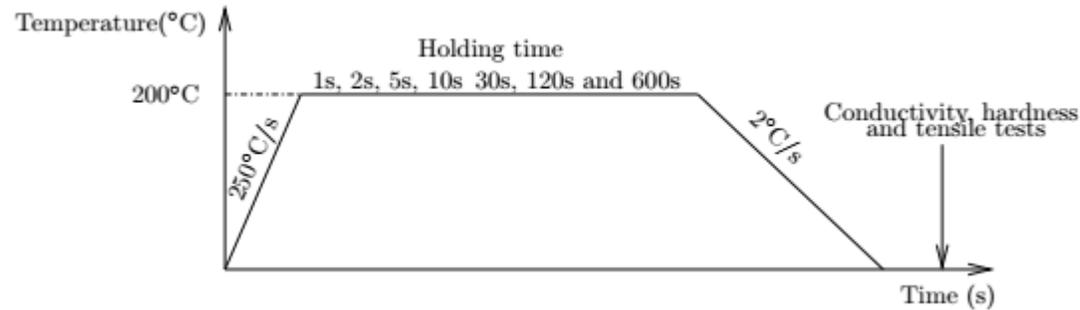


# Comportement mécanique du 7075-T6 après cycles thermiques

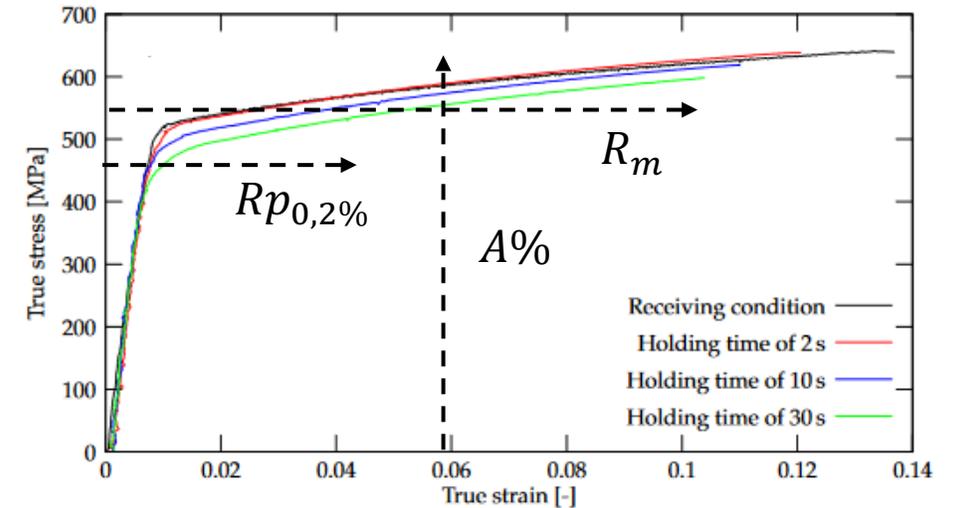
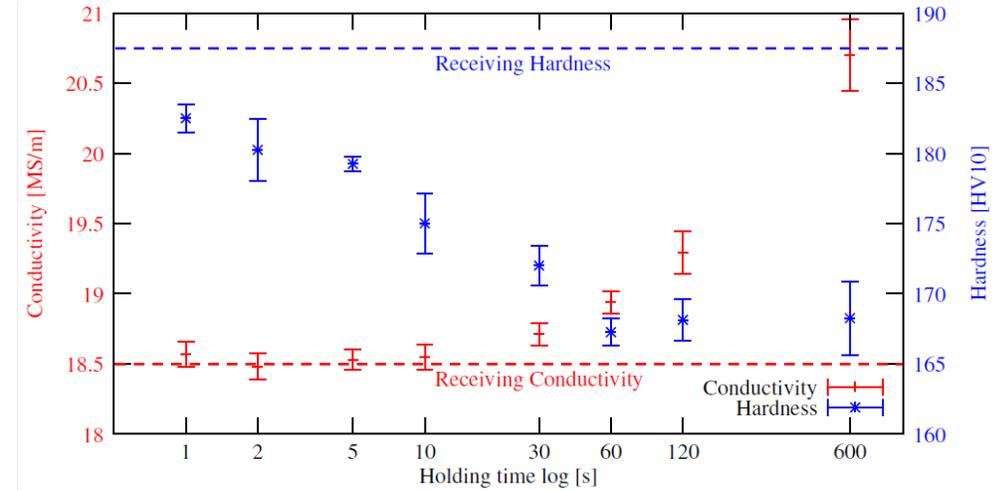
**Objectif** : Déterminer le temps de maintien maximum à 200°C pour garder l'état T6

- Analyse de la conductivité/dureté et comportement mécanique après différents temps de maintien à 200°C
- Comparaison avec la norme

Variation du temps de maintien (Gleeble 3500)



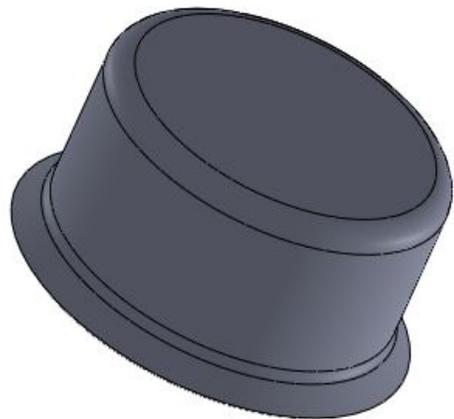
Condition/Propriétés	Conductivité [MS/m]	$R_m$ [MPa]	A%	$Rp_{0,2\%}$ [MPa]	Dureté [HV10]
Etat réception	18.5	557	14.6	500	188
Norme	17-21	$\geq 525$	$\geq 6$	<b>460</b>	
10s temps de maintien	18.55	553	11.6	<b>460</b>	



# Emboutissage d'un godet en deux étapes

Caractéristiques du dispositif :

- Emboutissage d'une pièce de révolution type godet en deux étapes → Deux outils d'emboutissage
- Température d'emboutissage de 200°C → Outil de chauffe du flan (Tablage) et outils chauffés
- Temps d'emboutissage inférieur à 10s → Maitriser le temps de cycle de la presse
- Contrôle de la force d'emboutissage → Capteur de force
- Contrôle de la température des outils → Thermocouple dans les outils
- Contrôle de la température du flan pendant l'emboutissage → Pyromètre de mesure à distance

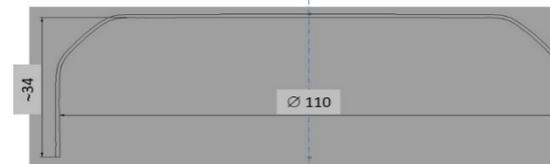


Pièce théorique final après emboutissage

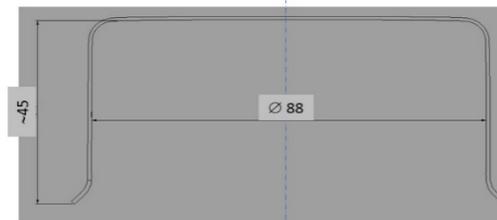
Flan initial



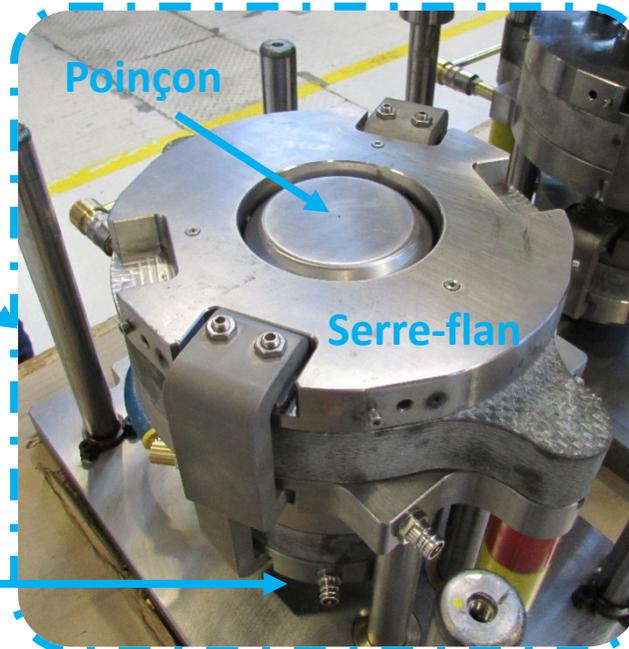
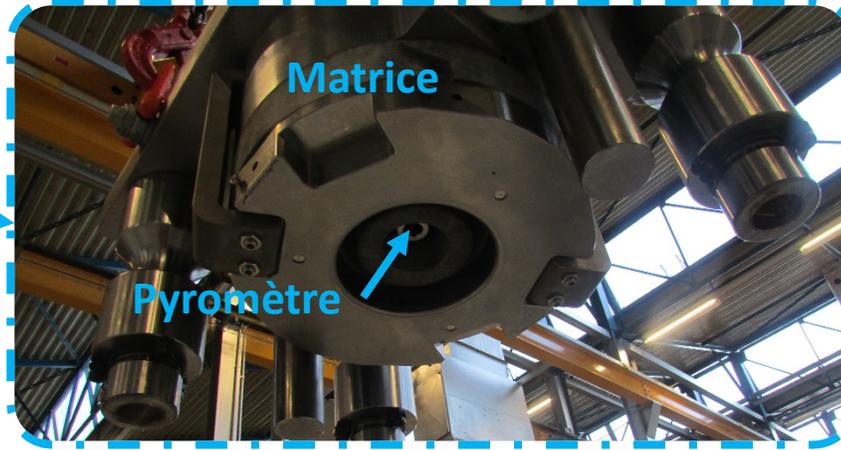
Première opération d'emboutissage



Deuxième opération d'emboutissage



# Outil première opération d'emboutissage



Capteur d'effort

Spécificités :

## Matrice

6 cartouches chauffantes  
1 thermocouple de  
régulation et contrôle de  
la température

## Serre-flan

6 cartouches chauffantes  
1 thermocouple de  
régulation et contrôle de  
la température

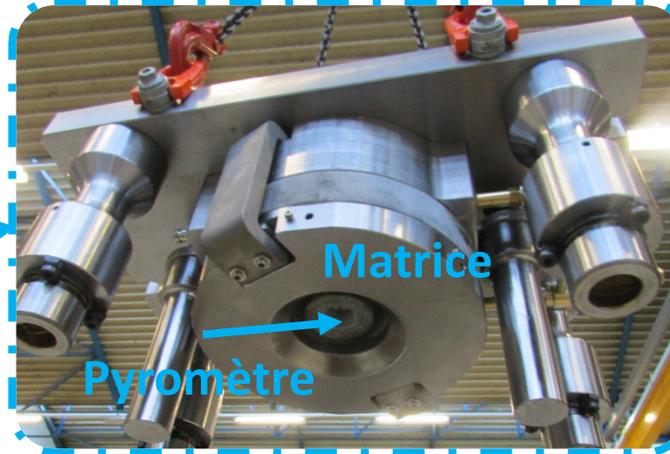
## Poinçon

3 cartouches chauffantes  
1 thermocouple de  
régulation et contrôle de  
la température  
1 capteur d'effort

# Outil deuxième opération d'emboutissage

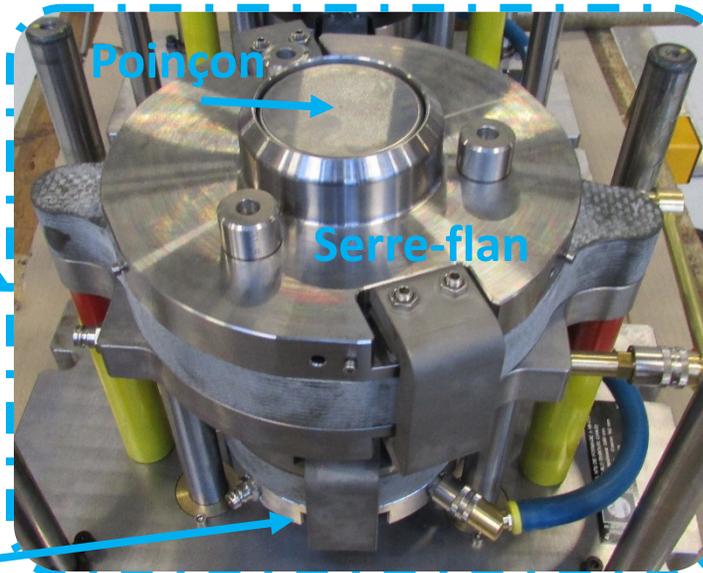


Capteur d'effort



Matrice

Pyromètre



Poinçon

Serre-flan

Spécificités :

## Matrice

6 cartouches chauffantes pour la matrice  
1 thermocouple de régulation et contrôle de la température

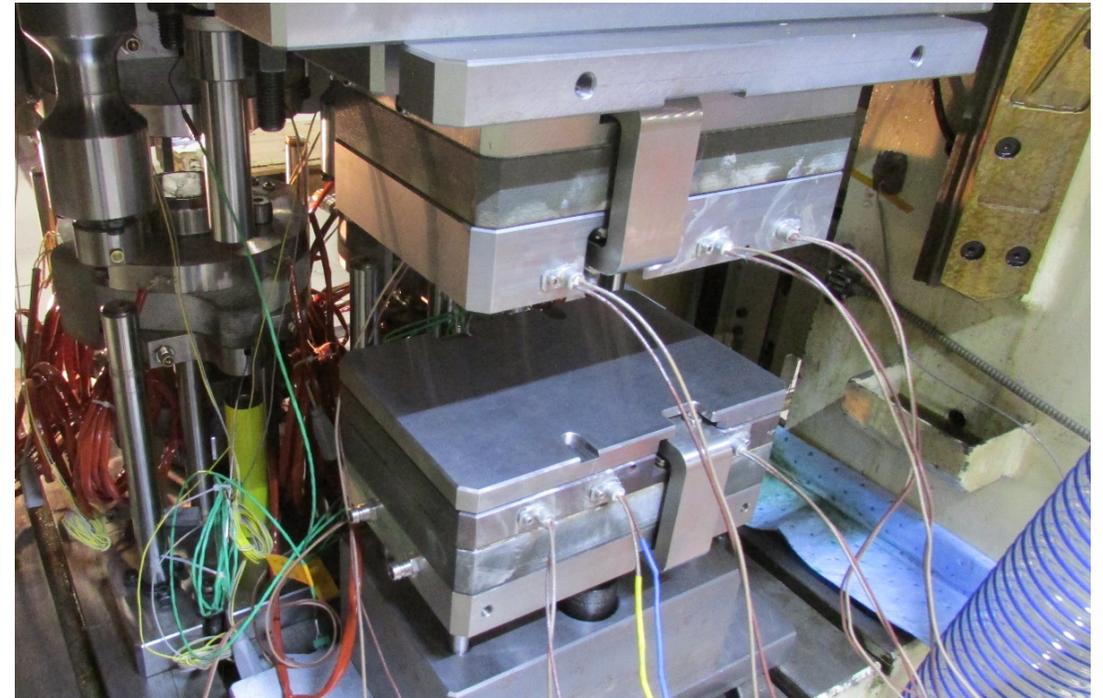
## Serre-flan

6 cartouches chauffantes  
1 thermocouple de régulation et contrôle de la température

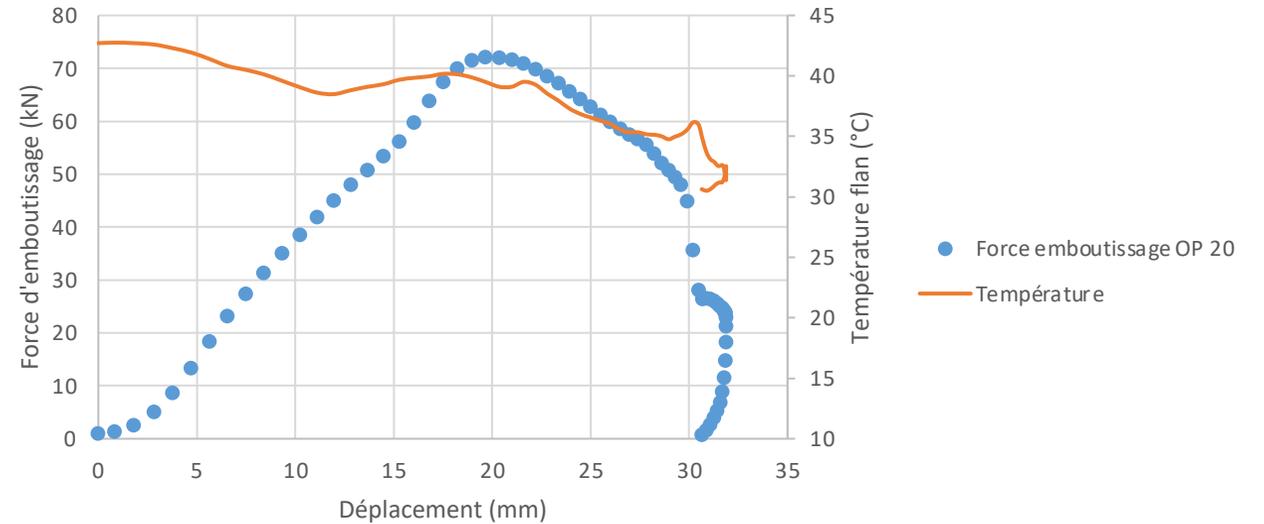
## Poinçon

3 cartouches chauffantes  
1 thermocouple de régulation et contrôle de la température  
1 capteur d'effort

- **Objectif** : Etudier l'influence de la température et de la force de serrage
  - 4 températures : TA, 100°C, 150°C et 200°C
  - 2 forces de serrages de chaque serre-flan : 83,3kN et 133,3 kN
  - Vitesse de chauffe : 400°C/s
  - Lubrification : Graisse graphitée JELT
  - 6-10 essais par configuration



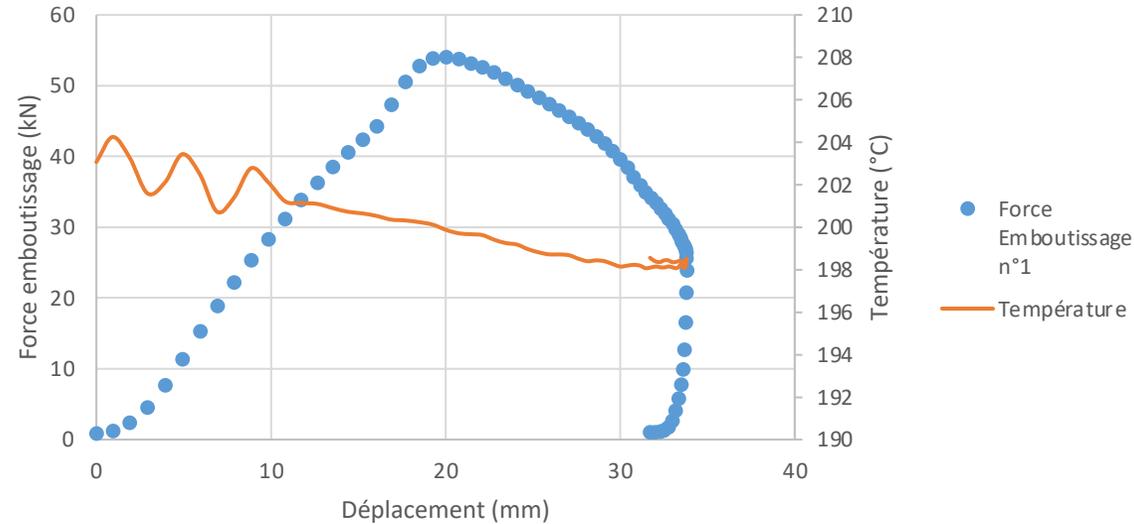
## Emboutissage à 20°C : Force de serrage 83,3kN



Fracture du godet lors de l'opération d'emboutissage n°1

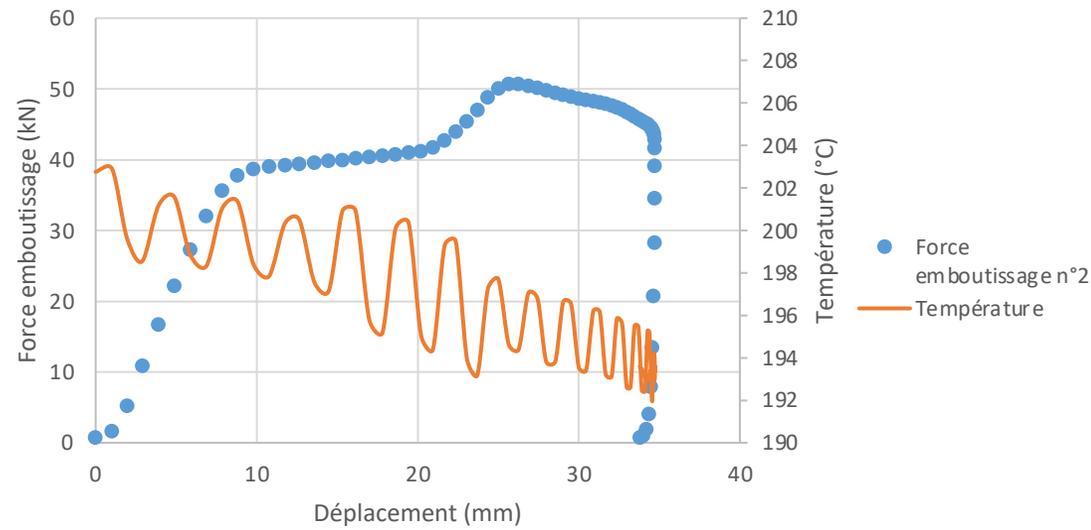
Mauvaise gestion de la mesure du flan par le pyromètre

- Emboutissage à 200°C : Force de serrage 83,3kN**



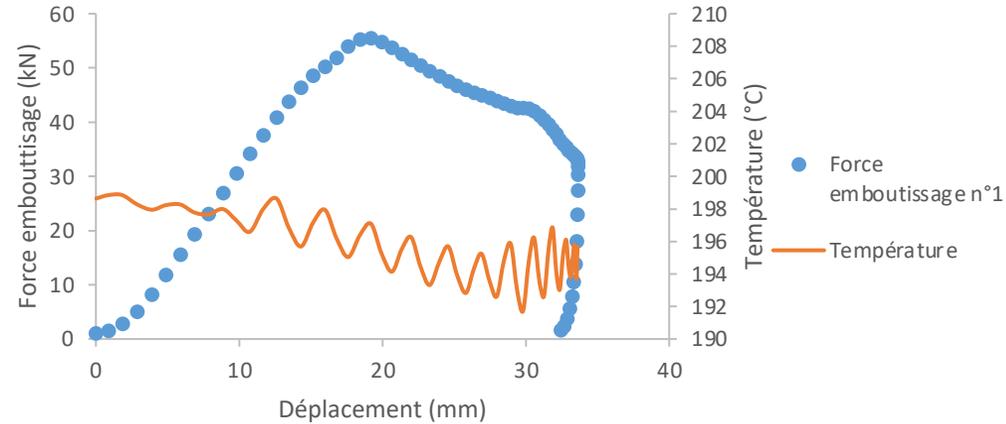
Faisabilité du godet en deux étapes à 200°C  
Apparition de plis lors de l'étape 1

Température du flan emboutissage n°1 : 199,4±1,6 °C



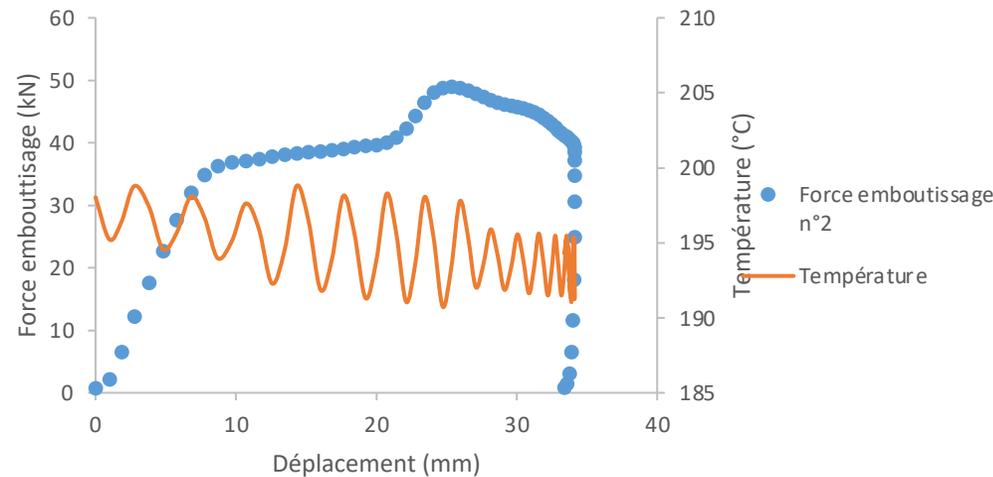
Température du flan emboutissage n°2 : 196±3 °C

- **Emboutissage à 200°C : Force de serrage 133,3kN**



Faisabilité du godet en deux étapes à 200°C  
Disparition des plis lors de l'étape 1

Température du flan emboutissage n°1 :  $195,4 \pm 1,7$  °C



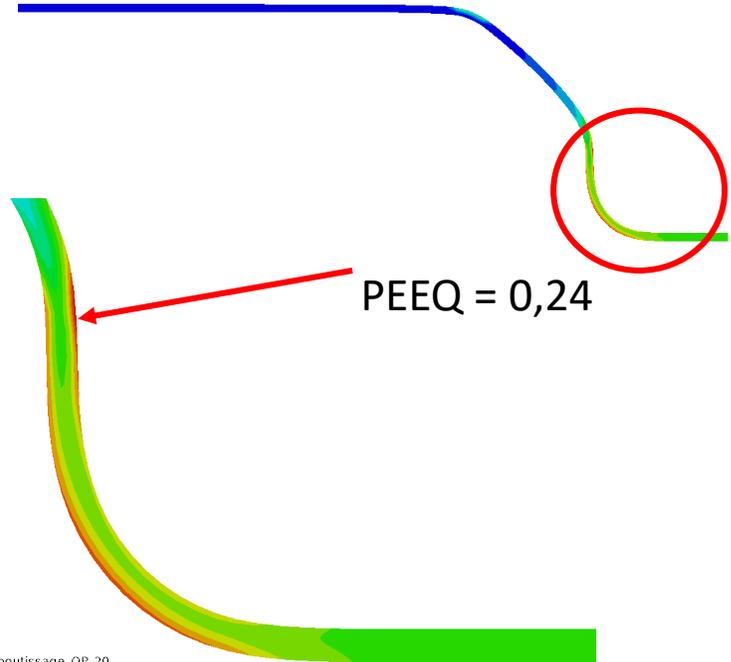
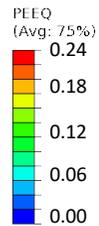
Température du flan emboutissage n°2 :  $194,4 \pm 2,1$  °C

Modèle 2D axisymétrique

Coefficient de frottement de 0,15

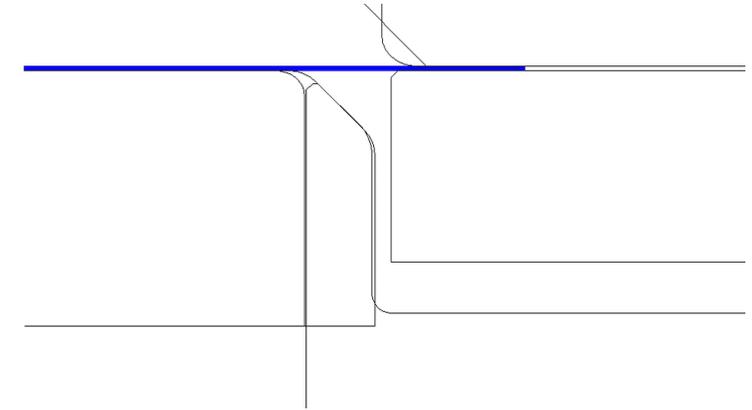
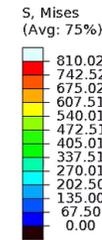
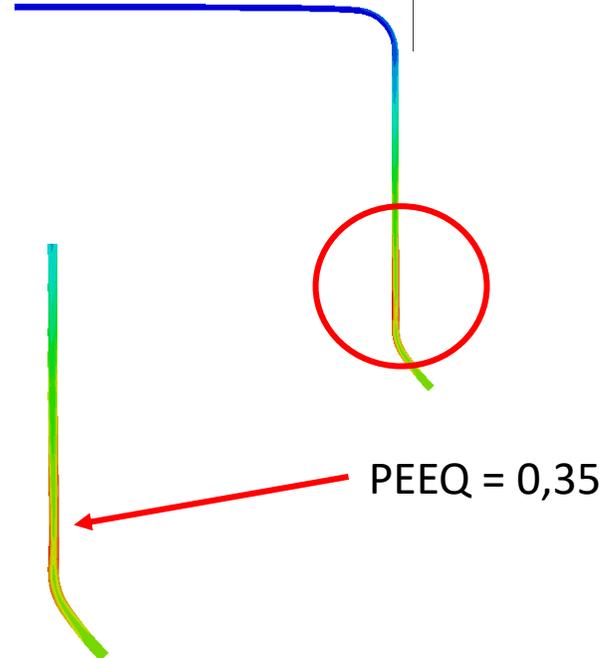
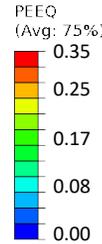
Loi de comportements : 20°C et 200°C (strain rate dependant)

**20°C**



mboutissage\_OP\_20  
int : 121 - Stop Time = 0.6249

**200°C**



**20°C**

Déformation PEEQ 2,5 fois supérieure à la déformation maximum en traction

**200°C**

Déformation PEEQ égale à la déformation maximum en traction

- Influence de la température sur l'emboutissage
  - Fracture à 20°C et faisabilité à 200°C
- Prédiction de la faisabilité du process par la simulation numérique
- Emboutissage approximatif à 100°C et faisable à 150°C
- Influence de la force de serrage



## Perspectives

- Post-traitement des essais expérimentaux
  - Contrôle de la répétabilité des essais
  - Mesure de la dureté et de la conductivité électrique
  - Mesure de l'épaisseur
  - Mesure des déformations
- Simulation numérique de l'emboutissage

