

Défaut de cambrage ("ski") en laminage à chaud : étude numérique du rôle de la température

PLAN

- 1) Contexte de l'étude
- 2) Problématique
- 3) Modèle numérique
- 4) Pistes d'explication du cambrage
- 5) Validation expérimentale



Mastère MATMEF d'Adrien PASQUIER (2005)

Tuteurs CEZUS : V. BARRANX

P. BARBERIS

Tuteur CEMEF :

P. MONTMITONNET

Défaut de cambrage ("ski") en laminage à chaud : étude numérique du rôle de la température

PLAN

- 1) Contexte de l'étude
- 2) Problématique
- 3) Modèle numérique
- 4) Pistes d'explication du cambrage
- 5) Validation expérimentale



Mastère MATMEF d'Adrien PASQUIER (2005)

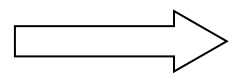
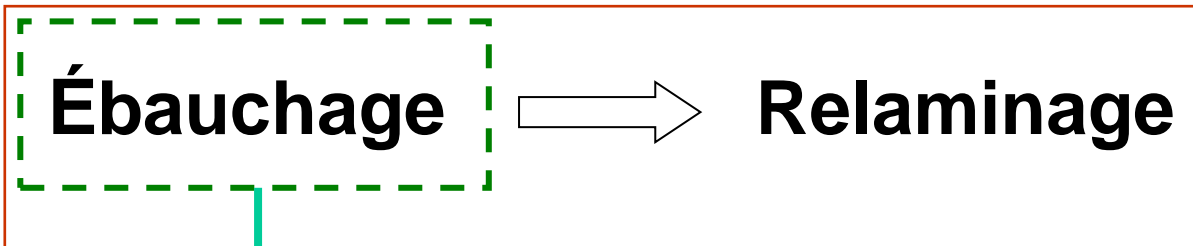
Tuteurs CEZUS : V. BARRANX

P. BARBERIS

Tuteur CEMEF :

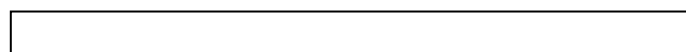
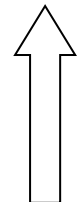
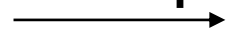
P. MONTMITONNET

1- L'ébauchage à CEZUS-Rugles



Début gamme

Nombre de passes
fonction du produit



Fin gamme

Cambrage ?

2- Problème du cambrage à Rugles passes 3&4

pasquier:



- "Crise chronique" depuis janvier 2004
- Toujours vers le haut
- Toujours passe 3 et 4 puis s'atténue,
- Mais nécessite un *planage*, en particulier si la gamme est courte (à un moment, jusqu'à 80% de largets à problèmes !)

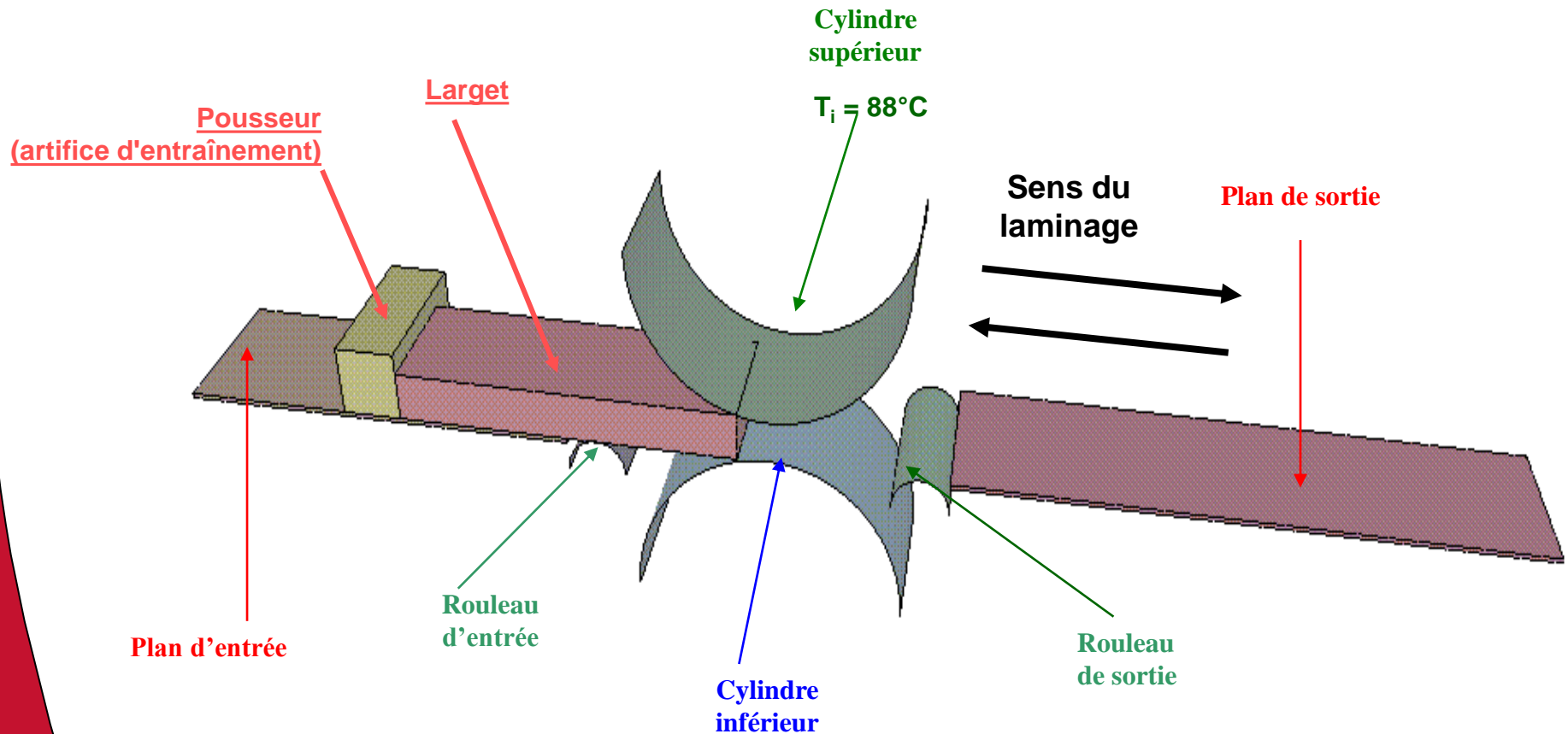
4

Nécessairement, une **dissymétrie** dans le procédé est à l'origine du « ski » observé

2- ...mais laquelle ??

Géométrie du laminoir	Inclinaison de la table à rouleaux ✓	Différence de vitesses des cylindres ⊗	
	Décalage horizontal des cylindres ✓	Différence de rayons des cylindres ⊗	
	Décalage vertical de la table à rouleaux ✓		
Dissymétrie de frottement	Coefficient de Coulomb Haut	Coefficient de Coulomb Bas	Exploré
	0.2	0.4	✓
	0.1 (glissement)	0.6	✓
	0.25	1 (collant)	✓
	0.1 (glissement)	1 (collant)	✓
Dissymétrie thermique	Face supérieure plus froide de		Exploré
	30°C		✓
	50°C		✓
	100°C		✓

3- Modélisation du procédé sous Forge3



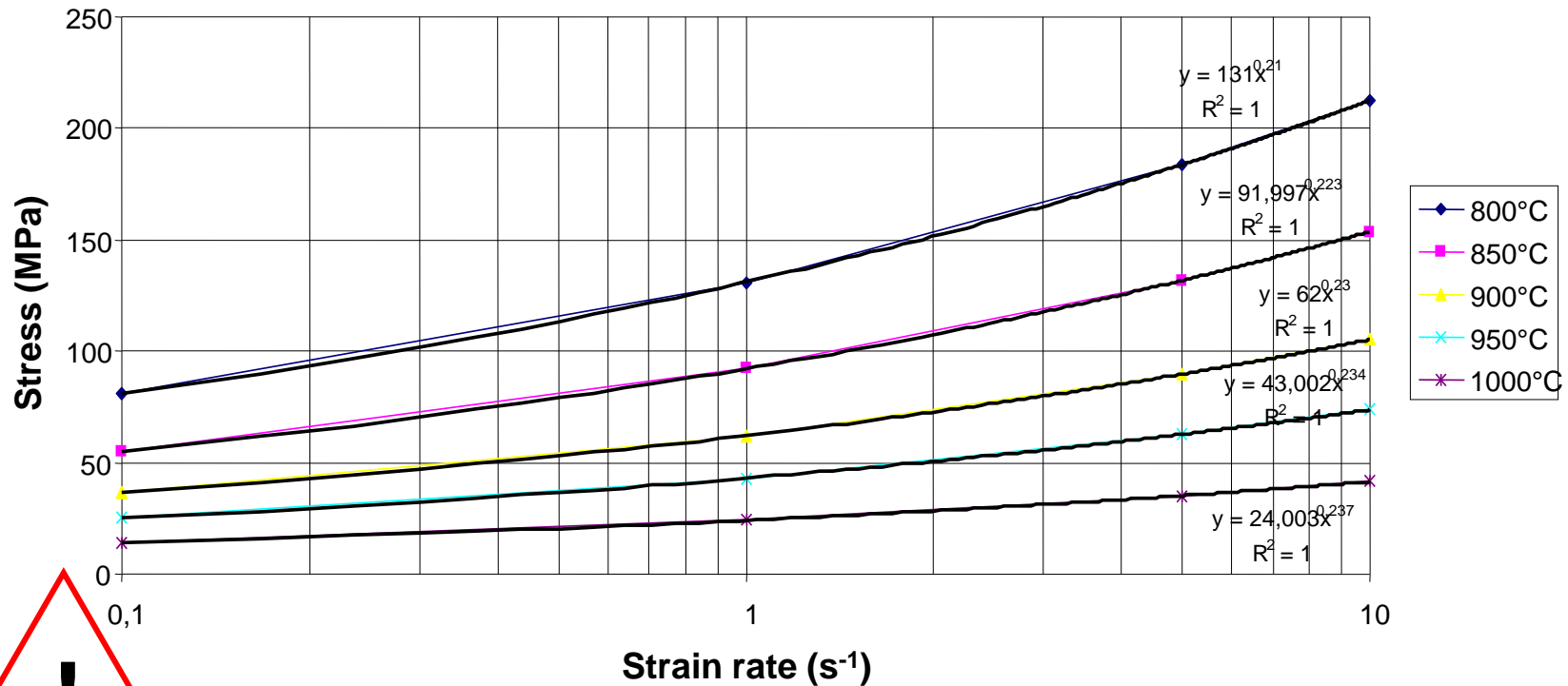
6

Outillage réversible sous Forge3

3- Rhéologie 1 (pour ZY4)

- Dépendance à la vitesse de déformation
- Dépendance à la température

$$\sigma_0 = K(T) \cdot \dot{\epsilon}^m$$



7

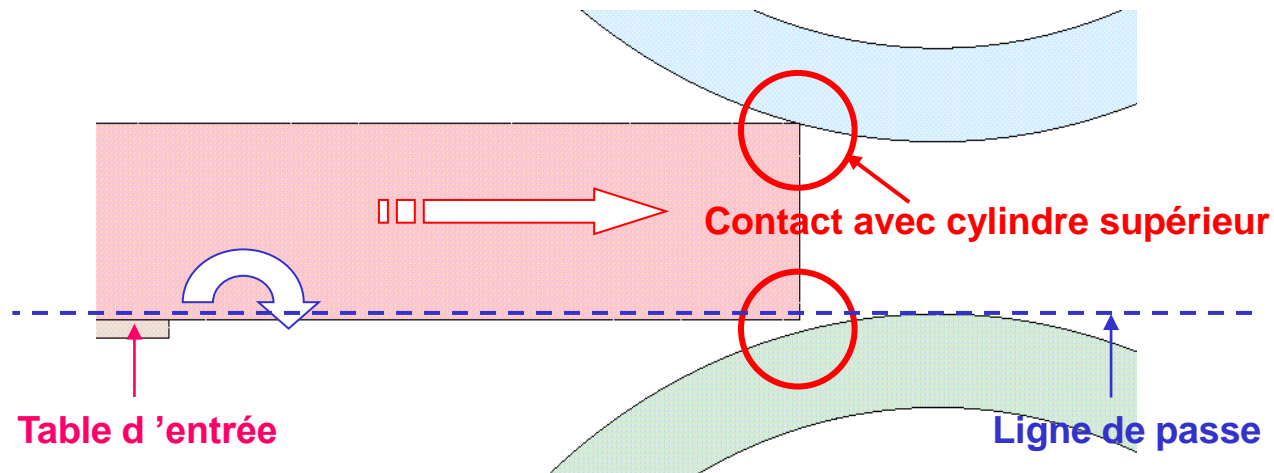
Extrapolée à partir d'essais de bipoinçonnement et torsion dans [600-750°C]
alors que le laminage se fait dans le domaine du transus β ...

4- Gamme de référence (passes 1 à 3)

- HTC larget-air = 10 W / (m².K)
- HTC rayonnement = 45 W / (m².K)
- HTC larget-cyl = 45 000 W / (m².K)

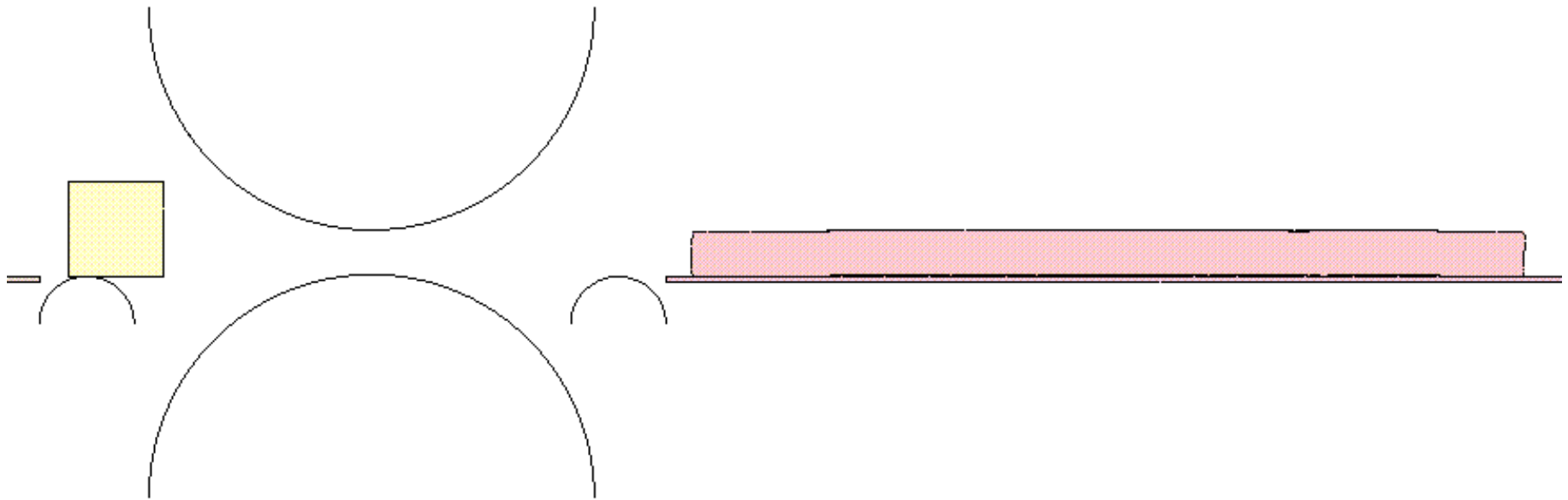
Cas référence :
effet position table

**Larget thermiquement
symétrique**



4- Résultats Gamme Référence

Tables fixes (-3mm par rapport au cylindre inférieur) → dissymétrie haut / bas

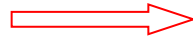


Passe 3

Très faible (léger cambrage vers le bas)

4- Résultats simulation *Frottement*

Condition d'engagement

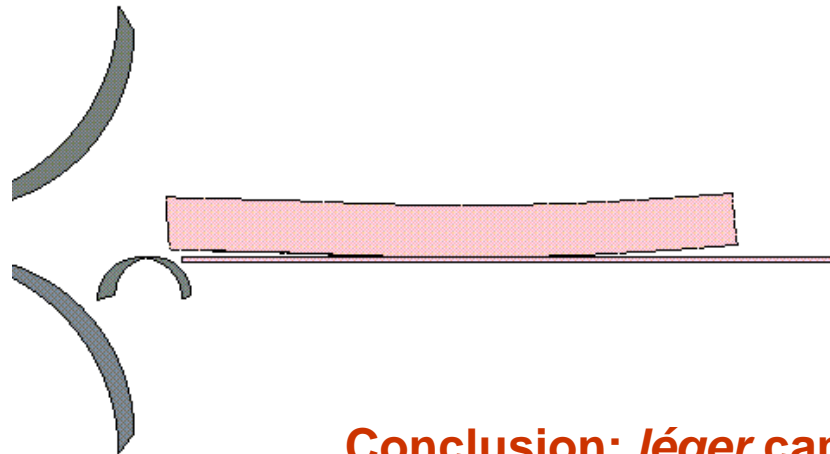


$$\mu \geq \sqrt{\frac{\Delta e}{R}} = 0.19$$

• Cas $\mu_{\text{sup}} < \text{limite de glissement}$



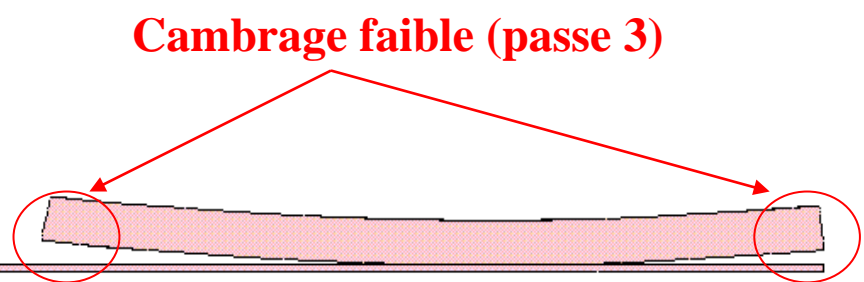
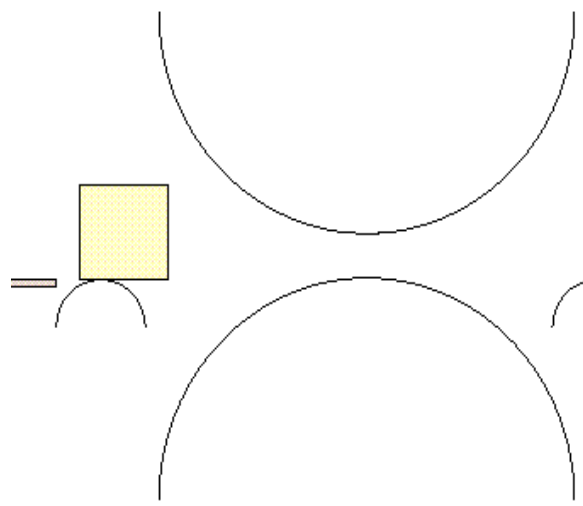
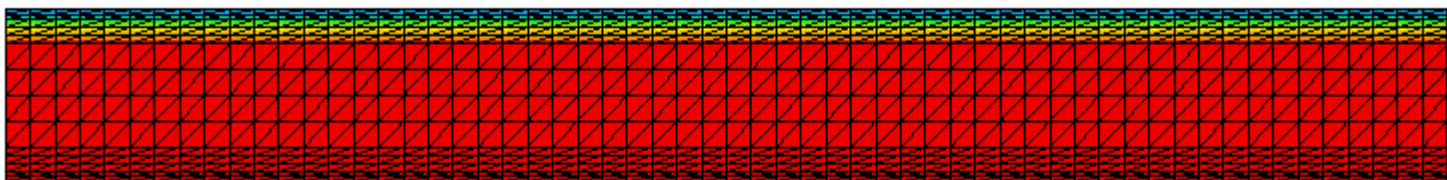
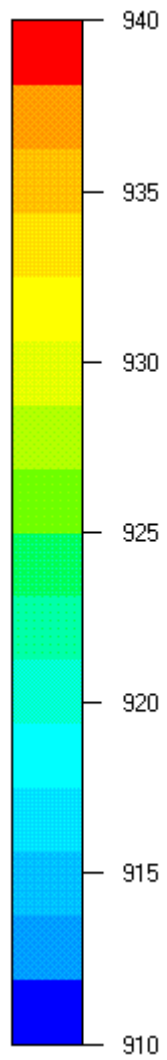
- $\mu_{\text{sup}} = 0.1$
- $\mu_{\text{inf}} = 1 \rightarrow \text{collant}$



**Conclusion: léger cambrage si on
«patine» d'un côté et pas de l'autre ,
à peu près rien sinon**

4- Résultats simulation

Gradient thermique initial $\Delta T_{h/b} = - 30^{\circ}\text{C}$



Passe 3

Passe 1

Passe 2

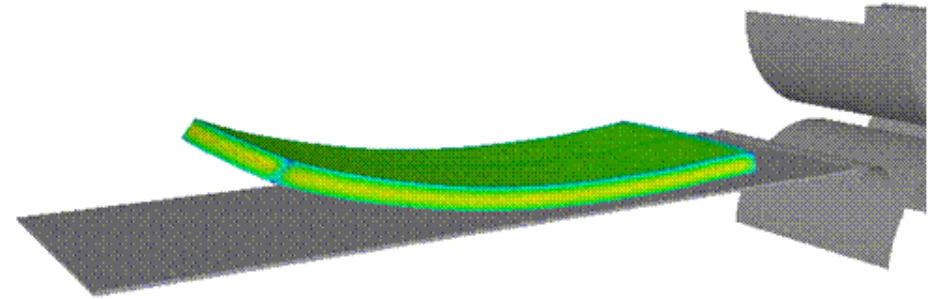
Passe 3

4- Résultats simulation

Gradient thermique initial $\Delta T_{h/b} = - 50^{\circ}\text{C}$



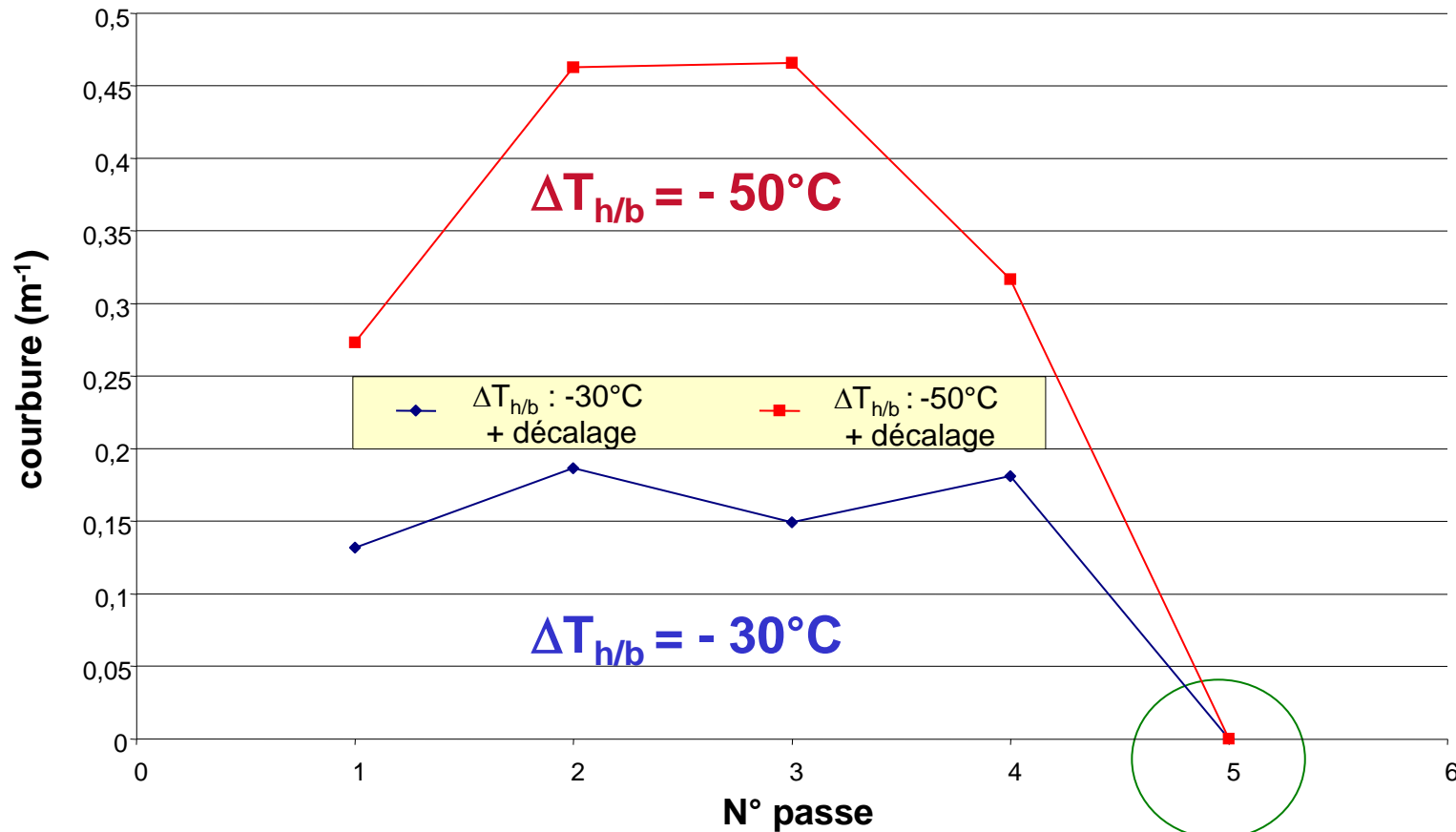
passee 4



simulation passee 4

La courbure obtenue en simulation
est toujours inférieure à celle observable sur site

4- Évolution courbure (m^{-1}) pour $\Delta T_{h/b} = 30$ & $50^\circ C$



Le larget redevient plan à la passe 5

Ce qui fait cambrer dans le cas d'un ΔT , c'est la différence de dureté du métal h/b

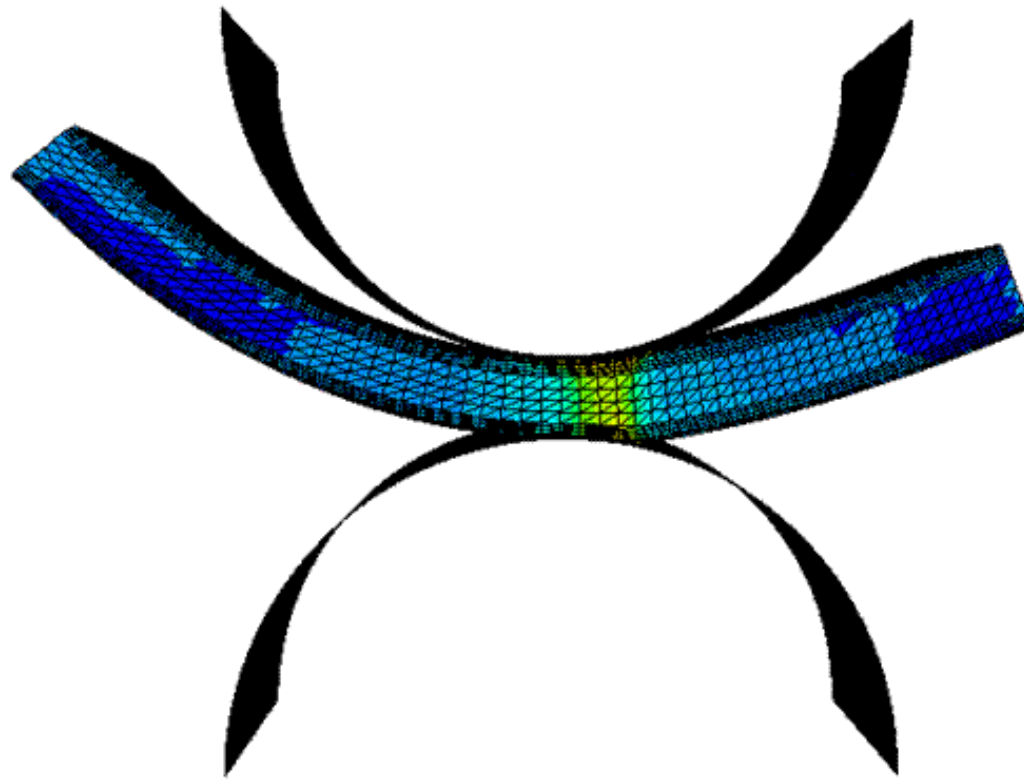


Connaissance de la température et de son lien avec la rhéologie

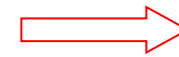


4- Résultats simulation

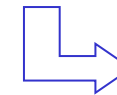
Gradient thermique initial $\Delta T_{h/b} = - 100^{\circ}\text{C}$



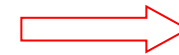
Après la passe 2,



$\Delta T = - 50^{\circ}\text{C}$



ΔT diminue
avec le temps



Δ dureté h/b = 50%

Passe 2

Observation & Conclusion

Numérique Forge3 :

Différence de température haut / bas avec haut plus froid :
hypothèse la plus probable pour expliquer le cambrage

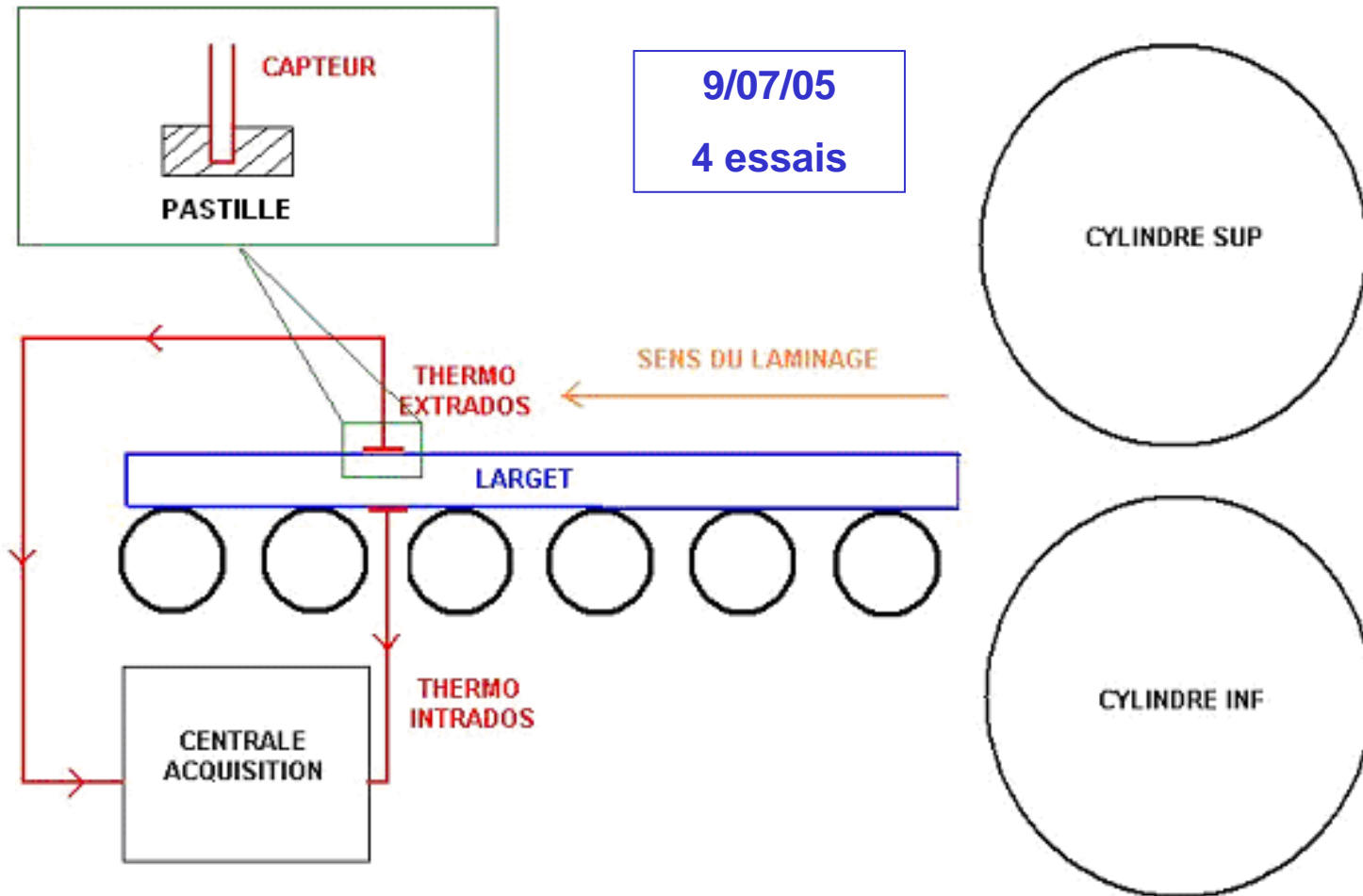


Validation ?

Expérience LAC :

Mesures de température par thermocouple
simultanément en haut et en bas

5- Principe de la mesure de température intrados/extrados par thermocouples

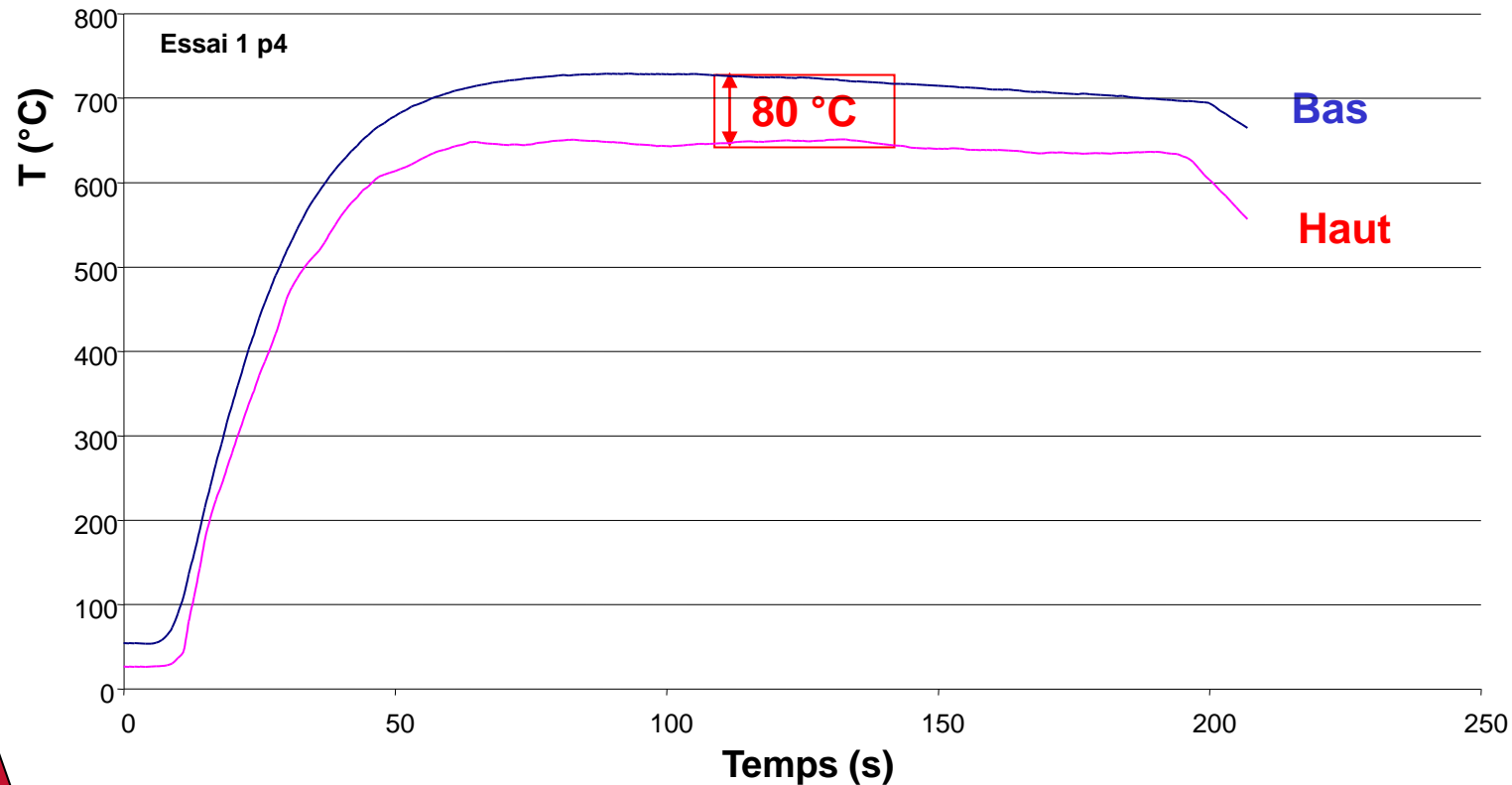


5- Résultats campagne mesure température

Essai 1 : faisabilité mesure et sécurité refroidissement

Commande : ...
Numéro de coulée : ...
Numéro du larget : ...
Nature du larget : 702Z

Mesure effectuée à la passe 4
Heure de sortie de four : 6h53
→ Faisabilité mesure et sécurité OK

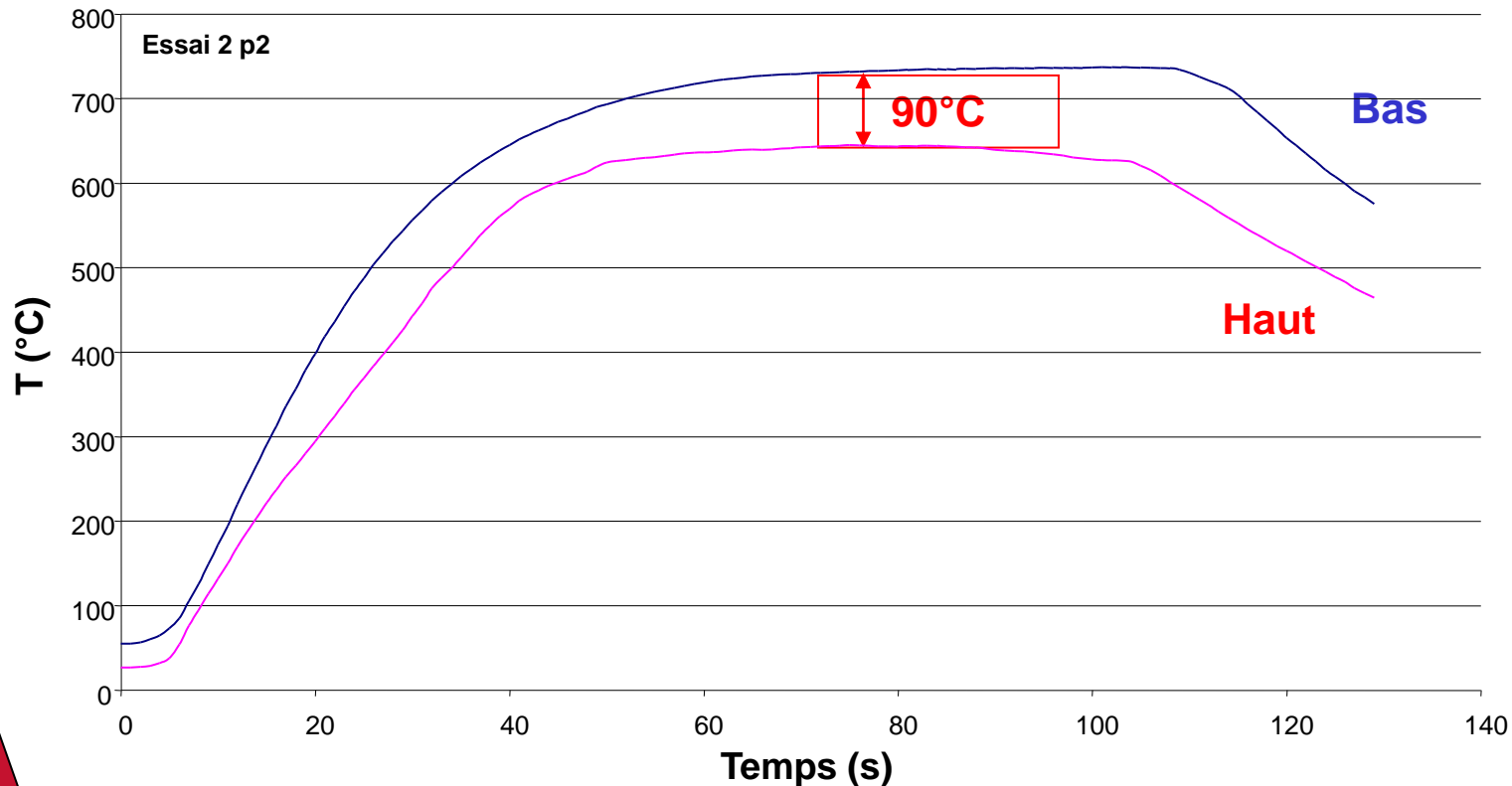


5- Résultats campagne mesure température

Essai 2 : Mesure température et sécurité refroidissement

Commande : ...
Numéro de coulée : ...
Numéro du larget : ...
Nature du larget : 702Z

Mesure effectuée à la passe 2
Heure de sortie de four : 7h52
→ Mesure et sécurité OK

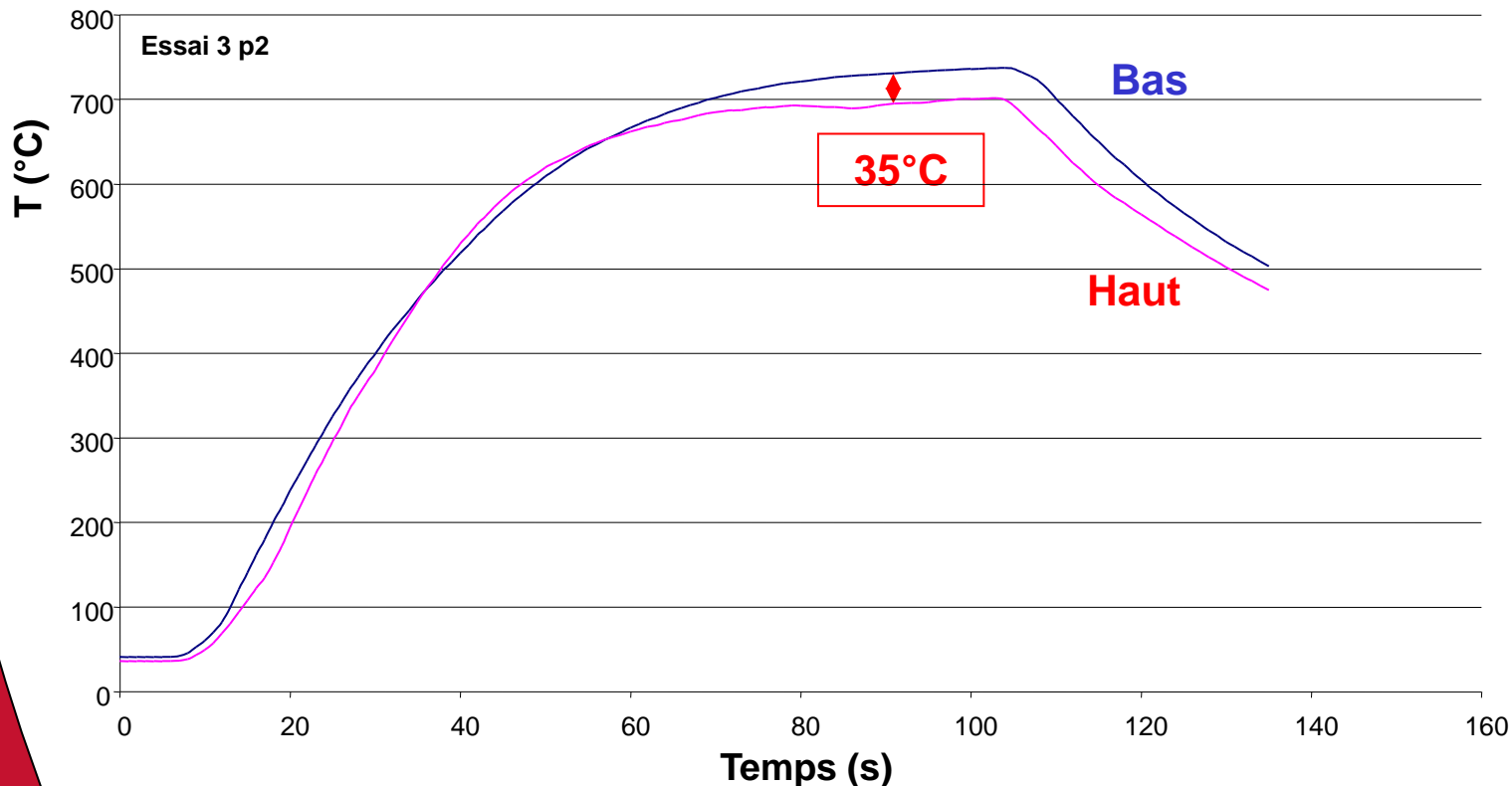


5- Résultats campagne mesure température

Essai 3 : Mesure température et sécurité refroidissement

Commande : ...
Numéro de coulée : ...
Numéro du larget : ...
Nature du larget : Z2VIR

Mesure effectuée à la passe 2
Heure de sortie de four : 8h57
→ Mesure et sécurité OK

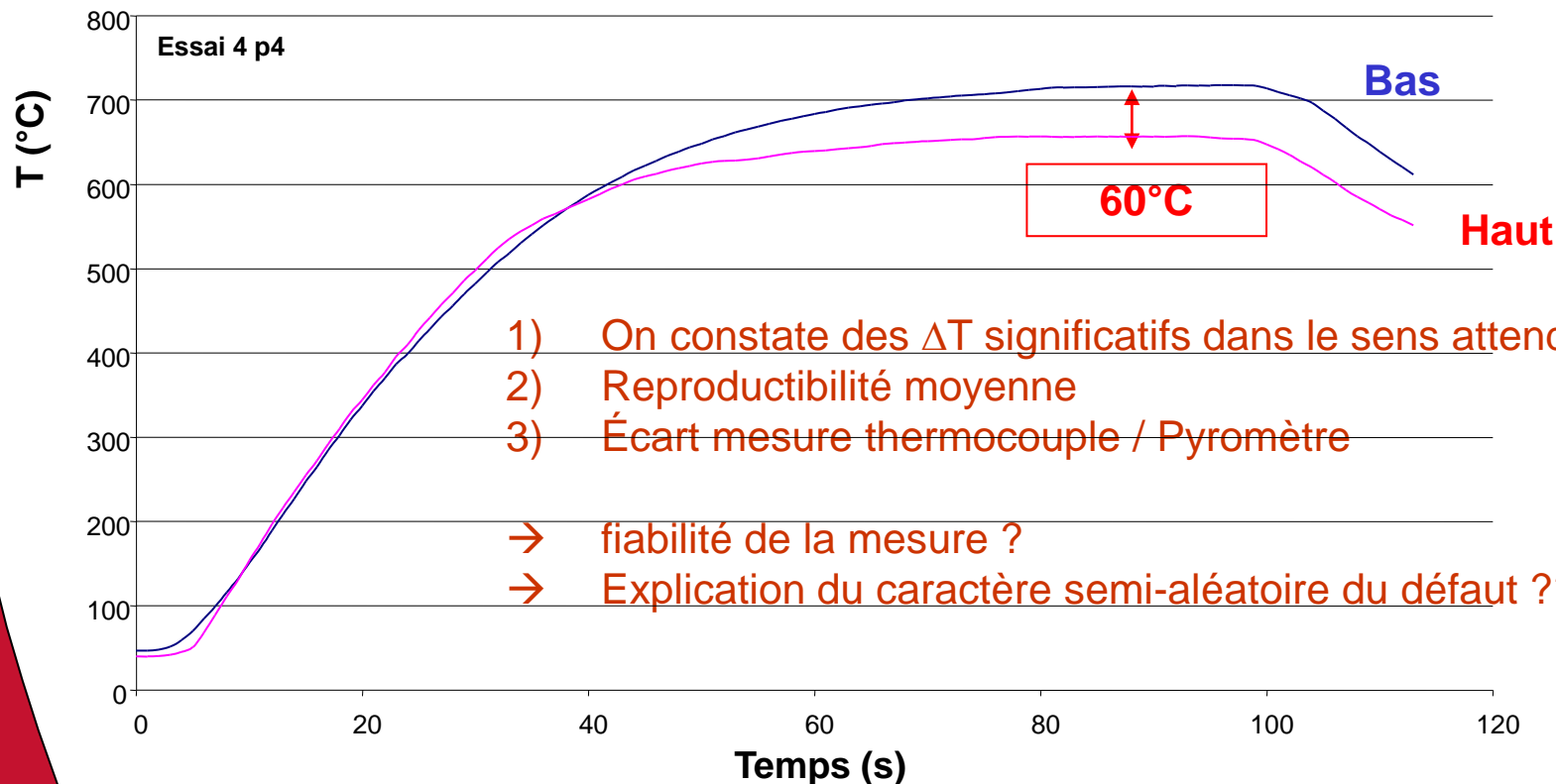


5- Résultats campagne mesure température

Essai 4 : Mesure température et sécurité refroidissement

Commande : ...
Numéro de coulée : ...
Numéro du larget : ...
Nature du larget : Z2VIR

Mesure effectuée à la passe 4
Heure de sortie de four : 9h56
→ Mesure et sécurité OK



20

Scénario

Dissymétrie thermique haut/bas, *piste la plus probable (confirmation expérimentale)*, couplée à la sensibilité de la loi de comportement à la température

→ *en fait c'est la différence de contrainte d'écoulement haut / bas qui est la cause*

En fait, la brame sort du four (bain de sel, panier vertical) avec une température homogène: d'où vient la dissymétrie?

→ *La crise a démarré peu après une maintenance, avec changement des rouleaux des tables pour des céramiques → bien "meilleure" isolation en face inférieure !*

De ce fait, ce n'est pas la température initiale qui est dissymétrique comme modélisé ici, ce sont les échanges face inf / environnement et face sup / environnement

C'est pourquoi nous observons un cambrage dès la première passe alors que dans la réalité, c'est passe 3 / 4, le temps que la dissymétrie thermique se développe

Dans les deux cas, ça se calme vers la passe 5 / 6 parce que la différence de température s'estompe avec le temps / avec l'épaisseur plus fine

Merci de votre attention

