

Émetteur : C. DUMONT

Date : 11 mars 2014

Direction / service : Technique/GRD

Réf. DRD/CD/14.027

---

Date de la réunion : 16 décembre 2013

Participants : Benoit DELVINCOURT – Jacques LECADET – Patrick DELABORDE – Philippe JACQUET – Louis-Marie RABBE – Philippe PETIT – Olivier LURDOS – Alexandre FORNARA – Eric GEORGES – Jean-Baptiste MAILLET – Christian DUMONT – Denis BECHET – Laurent CLUZEL

Par téléphone et Netwiever : Romain FORESTIER – Arnaud VEZIAN – Marion BESSAGNET

Excusés : Laurent CLUZEL – Denis BECHET

---

Lieu : UKAD

Destinataire(s) : Participants

Copie(s) :

---

Objet : **Programme R&D UKAD**

## **1. Ordre du jour de la réunion**

- relecture du précédent compte rendu
- point d'avancement sur les programmes en cours
  - o validation des outils UKAD
  - o fabrications barres 10" en PER718
  - o études TA6V
- Organisation R&D et programme 2014

Les différentes présentations sont jointes en annexes.

## **2. Compte rendu de la précédente réunion**

Cette réunion remplace celle du 21 octobre 2013, annulée et reportée à ce jour. Les différents points du précédent compte rendu ont été repris au cours de la réunion. La question de la démultiplication des travaux R&D auprès des équipes UKAD est pour l'instant remise en question.

## **3. Validation des outils UKAD**

### **a. Modélisation de la trempe (cf. annexe 1 – planches 1 à 8)**

Pour la 1ère fois, ces essais ont été conduits à partir d'un lopin instrumenté en TA6V, soit un CAA 270 mm et de longueur 1380 mm. Nos jeux de données permettent de retomber avec une bonne précision sur les mesures expérimentales, hormis lors de la transition  $\beta \rightarrow \alpha$  à cœur (non prise en compte de la chaleur latente de transformation). Ceux-ci étant validés, nous les avons utilisés pour modéliser la trempe de différentes sections de billettes : la durée d'immersion est limitée pour les produits les plus importants, soit  $\square$  650mm. Néanmoins, même pour cette dimension, les durées pratiquées apparaissent



suffisantes puisqu'une fois les produits ressortis à l'air, le refroidissement se poursuit à cœur avec la même cinétique.

Ces calculs ont été couplés avec une prédiction de l'épaisseur des lattes, modèle affiné du stage d'Etienne ARCHAUD (planche 8). Nous montrons que les prélèvements en extrémité de barres ne sont pas représentatifs.

⇒ **actions R&D :**

- ① **Comparer les cinétiques de refroidissement obtenues avec une trempe à l'air, notamment à cœur des produits**
- ② **Reprendre les calculs en intégrant dans les jeux de données la chaleur latente de transformation**
- ③ **Epaisseur des lattes après trempe eau : garder en mémoire la possibilité de faire une expertise métallurgique sur un prélèvement milieu de barre trempée à l'eau, lorsque l'opportunité se présentera**

## **b. Modélisation FORGE sur fabrications TA6V (thermique/efforts/bouts de barre) (cf. annexe 1 – planches 9 à 22)**

Les essais précédents (cf. § 3.a) ont également permis de confirmer la bonne adéquation de nos modèles thermiques pour les opérations d'enfournement, en tous cas, pour les fabrications concernées, soit  $\varnothing$  240 mm dans le cas présent.

L'essentiel des travaux a porté sur la modélisation d'une gamme complète CAA 650 mm →  $\varnothing$  330 mm, à raison de 4 produits par four, soit 4 CAA 650 mm dans FD103 au départ, puis répartis en 2 x 4 produits dans FD103 et FD104 après coupe en 2 au stade CAA 550 mm. Si le recalage avec la thermique en peau est satisfaisant, la modélisation sous-estime largement les efforts, avec des écarts quasi systématiques de l'ordre de 50 %. Cet écart peut provenir soit d'une erreur au niveau des enregistrements presse, soit d'une loi de comportement inadaptée. A noter sur ce dernier point, que nous disposons de données établies à partir de microstructures aiguillées fines ou équiaxes, mais pas du type « spaghetti », telles que nous devons les rencontrer sur nos demi-produits à ce stade.

Les auto-échauffements obtenus au cours du forgeage par rapport à des essais statiques à partir d'un lopin instrumenté (cf. planche 21) permettent d'atteindre plus rapidement le top à température (soit 930 °C). Les nouveaux temps de remise au feu préconisés et qui ont largement amélioré les microstructures seraient donc suffisants, **sauf après coupe en 2. Dans ce cas, les 930 °C ne sont atteints qu'au bout de 2 h 23 théoriques, pour seulement 2 h 15 préconisés dans la gamme.** A noter que l'allongement des temps de remise au feu a conduit à une augmentation des teneurs en H<sub>2</sub>, qui ont depuis tendance à devenir limites.

Comme nous avons pu le vérifier par ailleurs sur d'autres outils et d'autres produits au-delà d'UKAD, nous confirmons la capacité de FORGE à rendre compte correctement de la géométrie des extrémités de barres, pourvu que soit pris dans tous ses détails chaque coup de presse (cf. planche 22). Ce résultat ouvre la voie à d'autres travaux, notamment pour ce qui concerne les billettes en PER 706.

⇒ actions UKAD et R&D

- ① **Contacter Daniel CAILLOT pour pister d'éventuelles erreurs au niveau du calcul des efforts dans les acquisitions presse**
- ② **Revisiter nos lois de comportement utilisées pour le TA6V en fonction de la microstructure initiale**
- ③ **Réajuster les temps de remise au feu à l'issue des opérations de coupe en 2**
- ④ **Voir également pour les essais initialement programmés à plus hautes températures, notamment à 1050 °C (recristallisation) et 1150 °C (forgeage  $\beta$ )**

#### **c. Calculs thermiques sur fabrications Ti 10 2 3 (annexe 2)**

Des demandes analogues concernent le chauffage des lingots et billettes intermédiaires en Ti 10 2 3, en parallèle des actions conduites à la forge des Ancizes.

⇒ **action R&D : Lancement des calculs suivant le plan indiqué en annexe 2**

#### **4. Gammes PER718 SIEMENS et MTU**

Nous avons tiré 2 enseignements majeurs des 2 campagnes précédentes :

- Les forgeages CAA sont préférables aux forgeages octogones, ces derniers entraînant des échauffements plus importants
- Le passage de l'ébauchage à 1120 °C aux finitions à 1010 °C doit se faire sans maintien de stabilisation à cette dernière température.

Par voie de conséquence, les choix contraires génèrent des microstructures systématiquement plus grossières. Ces observations ont pu être validées pour partie par la modélisation. Dès lors une 3<sup>ème</sup> campagne a été lancée fin octobre en suivant ces prescriptions. En complément, nous en avons profité pour tester l'abaissement de la température lors de la dernière remise au feu à la valeur plus standard de 1010 °C, au lieu de 1030 °C. L'imposition à 1030 °C est héritée des pratiques Ancizes, de façon à effacer en peau les résidus d'écrouissage et de précipitations de phase  $\delta$  trop denses. Elles présentent l'inconvénient de refaire grossir le grain en périphérie, certes tout en restant conformes aux cahiers des charges, mais à des tailles supérieures à celles observées sur les produits concurrents. La qualité des microstructures obtenues sur UKAD, en liaison avec les cadences plus élevées de la presse, rend cet objectif atteignable, comme nous l'avions espéré au démarrage de ce projet.

Seules les macrographies étaient disponibles au jour de la réunion. Un bilan complet, avec modélisations à l'appui sera présenté lors de la prochaine réunion.

⇒ **action R&D : Terminer les expertises métallurgiques de la 3<sup>ème</sup> campagne et les dernières simulations qui clôtureront ce projet.**

## 5. Etudes métallurgiques sur TA6V

### a. **Grossissement et taille du grain $\beta$ (présentation en annexe 3)**

Les travaux réalisés lors du stage de Jordan GALORPEAU à partir de prélèvements lingots, se sont poursuivis, avec cette fois-ci l'étude de la température et du corroyage en phase  $\beta$ . **Ils montrent l'intérêt d'augmenter la température de forgeage  $\beta$  de 1120 à 1160 °C.** La recristallisation, qui intervient dans l'heure qui suit la remise au feu est alors complète, dès le 1<sup>er</sup> forgeage ( $K = 2.25$ ), ce qui permet ensuite d'affiner davantage la taille du grain  $\beta$  (cf. planches 11 et 12). Des essais complémentaires réalisés uniquement en compression, toujours sur des prélèvements lingots, conduisent au même résultat.

Rappelons que ces travaux ont également montré qu'une recristallisation incomplète après un 1<sup>er</sup> forgeage  $\beta$  conduit à des hétérogénéités de taille de grains lors de la recristallisation à 1040 °C, avec des cinétiques de croissance très différentes entre les grains initialement recristallisés et ceux encore écrouis (planches 5 à 9). Ces observations ouvrent une piste pour expliquer les macrostructures hétérogènes observées par Pamiers sur du métal RTI traité en  $\beta$ . Des 1<sup>ers</sup> examens EBSD ont été lancés à Eramet Research sur ces produits afin d'analyser l'orientation des grains en fonction de leur cinétique de croissance dans le domaine  $\beta$  (cf. rapport 48.13/CG/JM). Des différences de texture pourraient être à l'origine de ces écarts.

⇒ **action R&D : Poursuivre les investigations avec des examens en EBSD entre les zones à grossissement rapide ou plus lent (effet de texture ?)**

### b. **Globularisation de la phase $\alpha$**

⇒ **action R&D : relancer ce programme de travail en 2014 avec d'autres moyens de laboratoire, mettant en jeu des changements de chemin de déformation (partenaire visé : Ecole des Mines de Saint-Etienne)**

### c. **Réflexions par rapport à la problématique aval (présentation en annexe 4)**

Un plan d'essai a été proposé pour améliorer la qualité des produits laminés aval UKAD (applications médicales et AIRBUS). Nous partons de l'idée qu'à l'engagement dans les cylindres, la microstructure doit être la plus globulaire possible :

- D'une part en retravaillant la gamme de fabrication des  $\square$  270 mm. Pour cela un plan d'expérience a été défini (planches 4 à 6), notamment en introduisant une trempe eau après recristallisation et en augmentant le corroyage  $\alpha/\beta$  (gamme 7 et 8 – planche 5)
- D'autre part en ajustant les conditions de chauffage ou en introduisant un éventuel traitement de globularisation avant laminage. Lorsque ce dernier est introduit en fin de gamme, nous pouvons certes recouvrer des microstructures conformes (passage de A10 jusqu'à A3 selon ETTC2), mais avec un abaissement rédhibitoire des caractéristiques en traction

⇒ **action R&D : dépouillement du plan d'expérience et des essais de laminage aux Ancizes**

## **6. Programme R&D 2014 (présentation en annexe 5)**

Le passage en revue du portefeuille R&D a permis de faire ressortir les points suivants, en complément des actions citées précédemment :

⇒ **actions UKAD et R&D :**

- ① **Nécessité de mettre en place un rituel pour l'analyse des rapports de forgeage en corrélation avec les microstructures obtenues sur produit, en coopération avec l'atelier. Une 1<sup>ère</sup> réunion de travail est à programmer dans les prochaines semaines**
- ② **Lancer une action « bout de billette PER706 », qui ferait suite aux travaux sur le PER718, qui arrivent à leur terme**
- ③ **Gros volet à prévoir sur le long terme sur les aspects métallurgie de la mise en forme du TA6V (aspects globularisation), l'action listée au § 5.b n'étant qu'une 1<sup>ère</sup> étape**
- ④ **Action similaire au point précédent à prévoir pour l'alliage Ti 10 2 3, l'action listée au § 2.c n'étant qu'une 1<sup>ère</sup> étape**

Parmi les autres actions et réflexions de fond sur le TA6V, nous pouvons signaler :

- L'apport du forgeage sur angles (aspects US, microstructures) relativement coûteux en termes de gammes et de mise au mille.
- Comprendre l'origine des différences de comportement entre le métal UKAD et celui issu d'autres élaborateurs ou d'autres types d'élaboration (SKULL par exemple), que ce soit en termes de globularisation, de forgeabilité ou de contraintes d'écoulement.

## **7. Prochaine réunion**

La prochaine réunion est fixée **au 17 mars 2014 de 9 h à 12 h à UKAD.**

## Demi-produits en TA6V Non conformités (liserés alpha)

### Sommaire

- ❑ Nouveaux essais avec lopin instrumenté en TA6V (CAA270)
  - Trempe eau
  - Calcul de l'épaisseur des lattes (post-recristallisation)
  - Remises au feu à 940°C
  
- ❑ Modélisations FORGE des étirages (gamme  $\varnothing 330\text{mm}$ )
  - Recalage efforts, température
  - Cartographie TC et déformation
  - Effet de bout de barre

# Demi-produits en TA6V

## Non conformités (liserés alpha)

### Sommaire

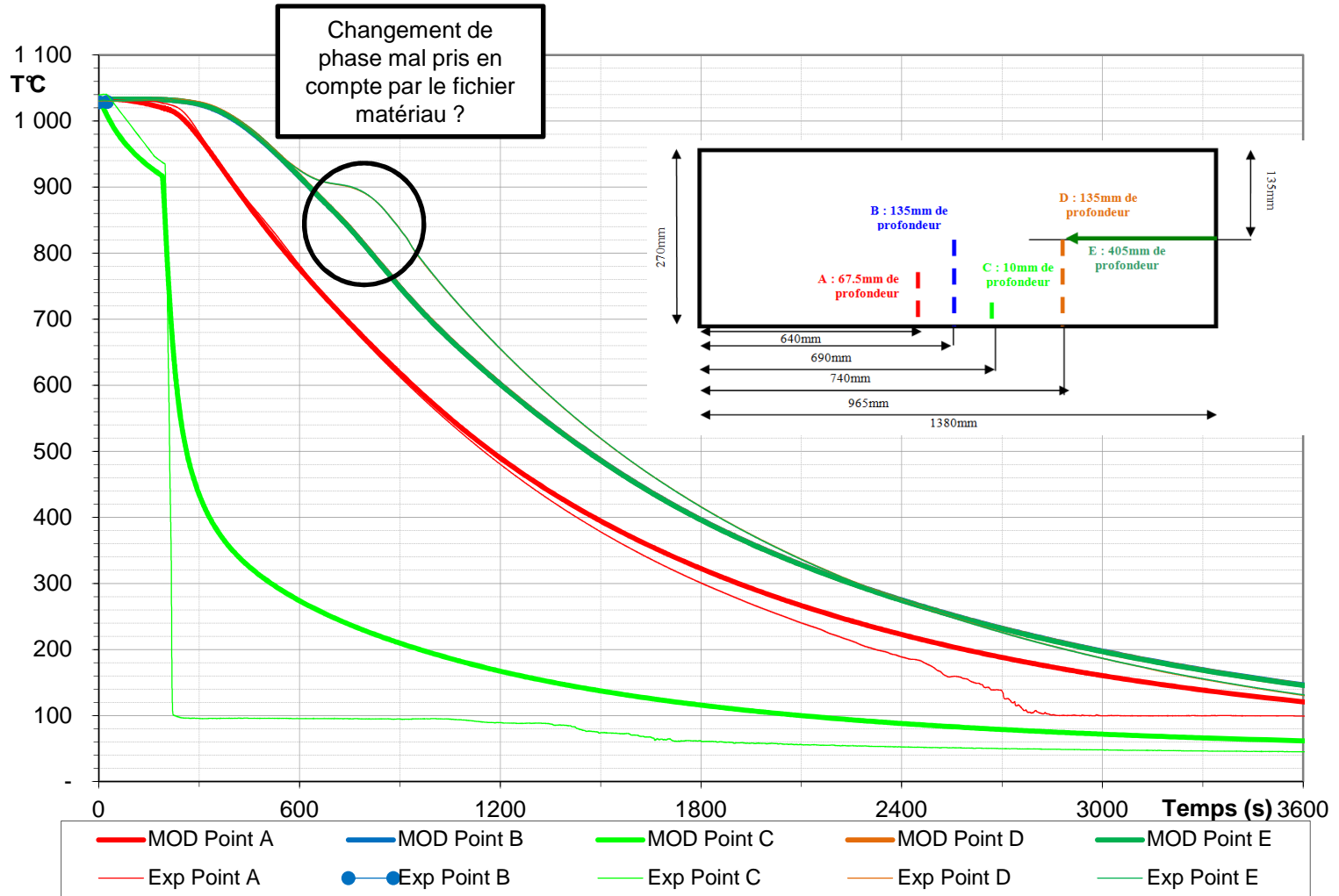
- ❑ Nouveaux essais avec lopin instrumenté en TA6V (CAA270)
  - Trempe eau
  - Calcul de l'épaisseur des lattes (post-recristallisation)
  - Remises au feu à 940°C
  
- ❑ Modélisations FORGE des étirages (gamme  $\varnothing 330\text{mm}$ )
  - Recalage efforts, température
  - Cartographie TC et déformation
  - Effet de bout de barre

LE GROUPE



ERAMET

# Calage de la trempe eau (essais avec lopin instrumenté en TA6V - gamme $\varnothing 240\text{mm}$ )

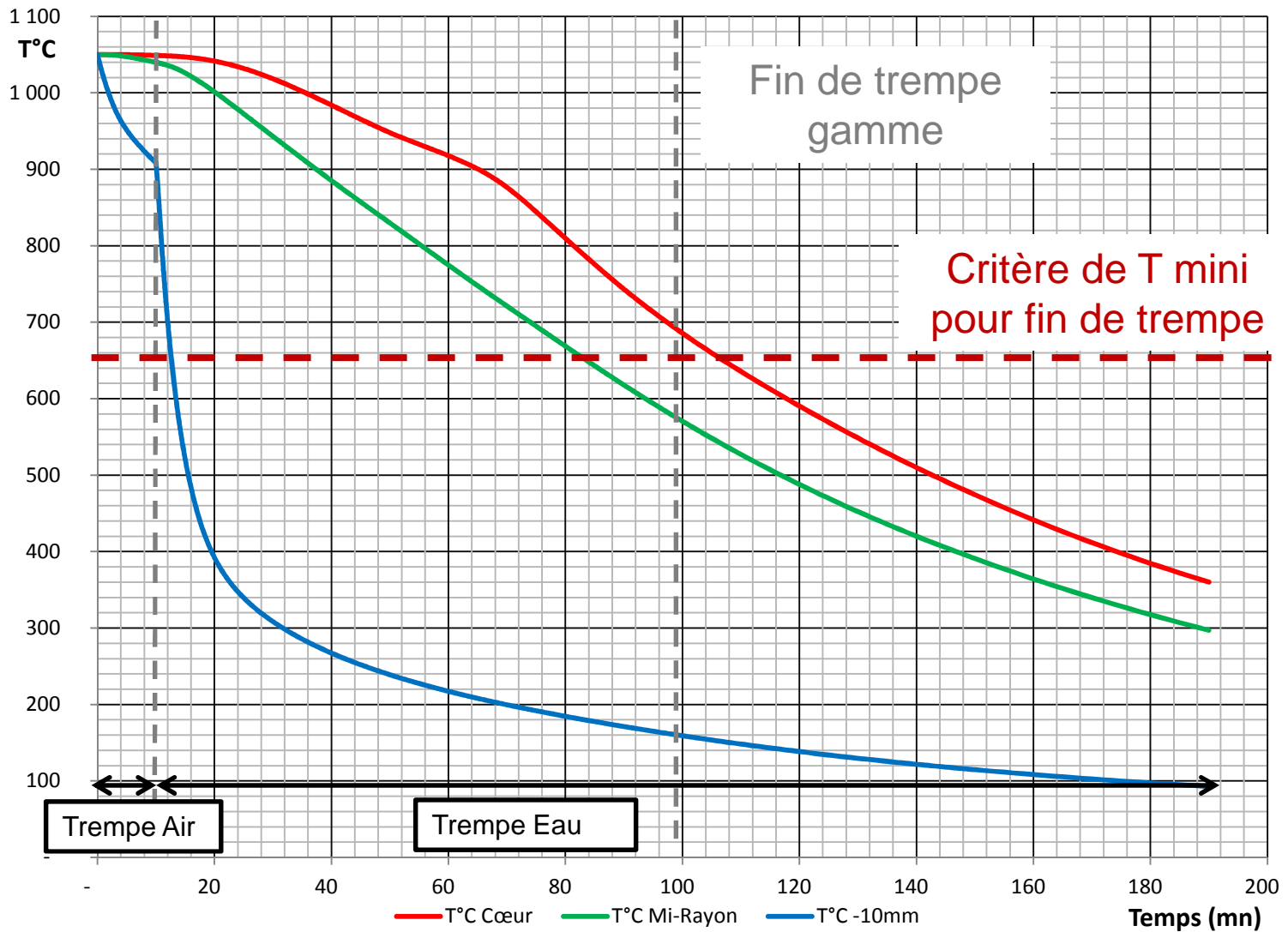


LE GROUPE



ERAMET

# Trempe eau du CAA 650mm à l'issue du forgeage

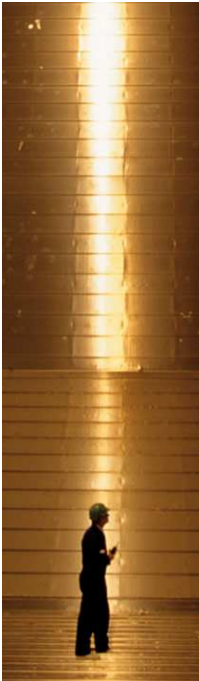


LE GROUPE

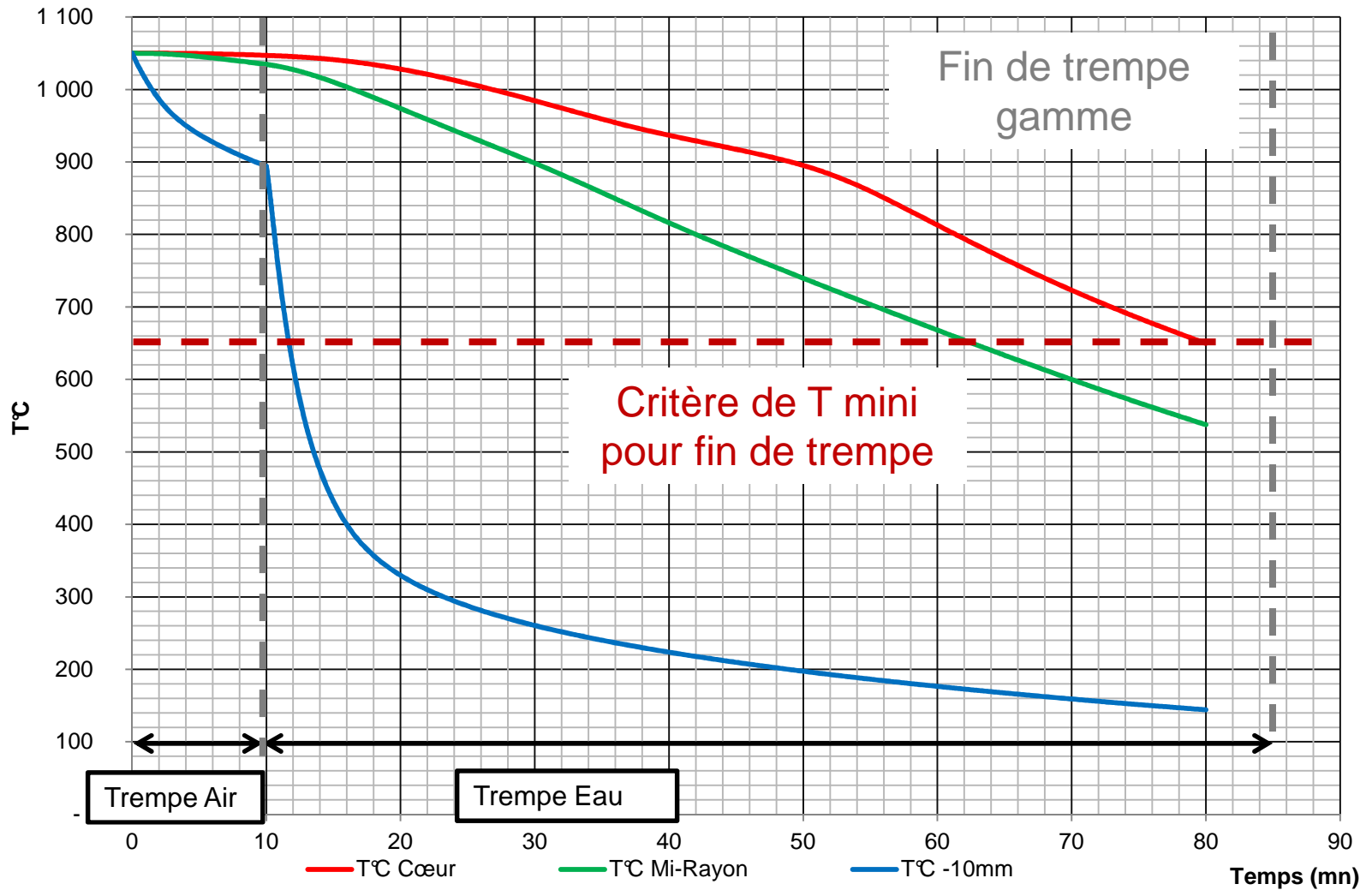


ERAMET

# Trempe eau du CAA 550mm à l'issue du forgeage



LE GROUPE



ERAMET

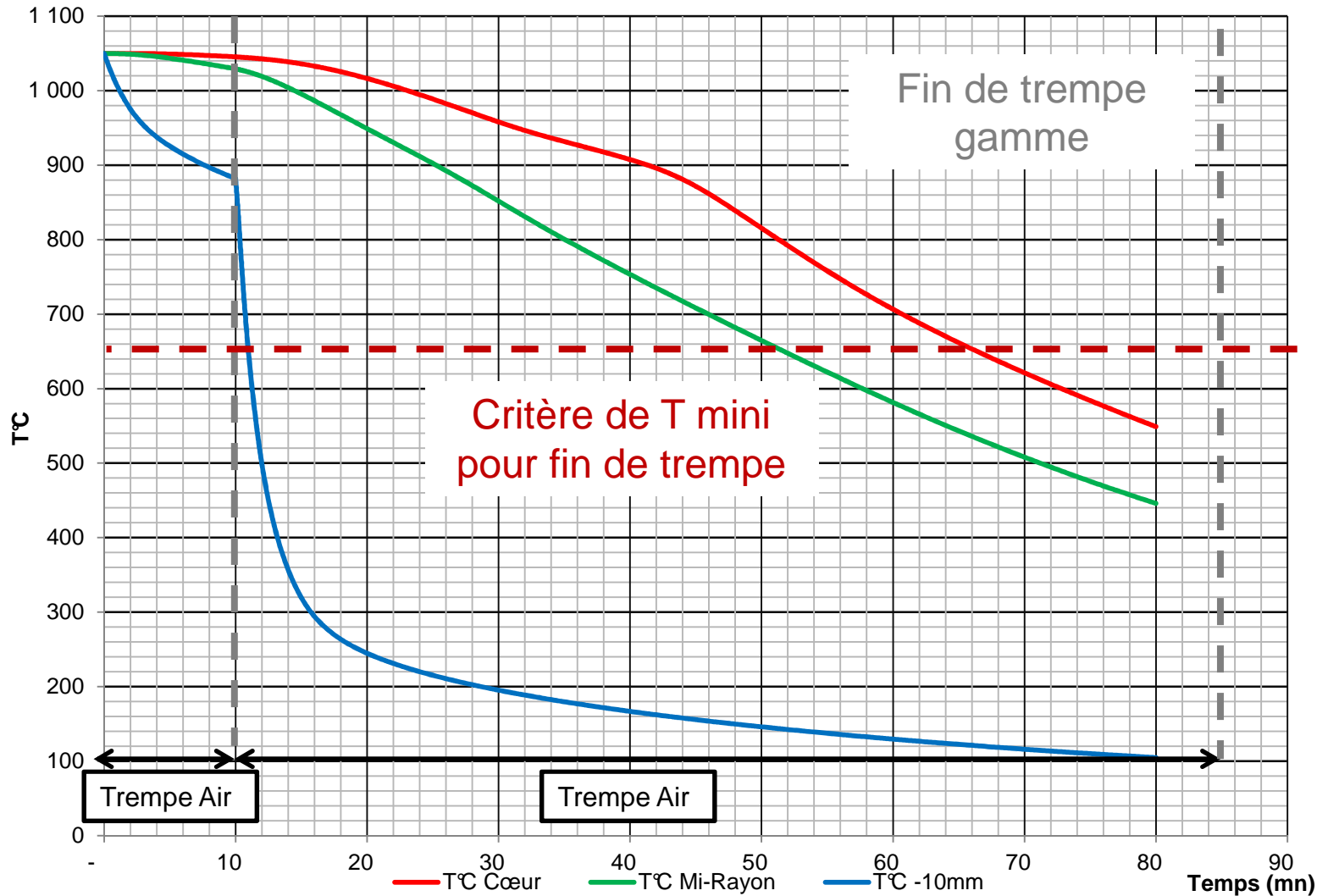


LE GROUPE

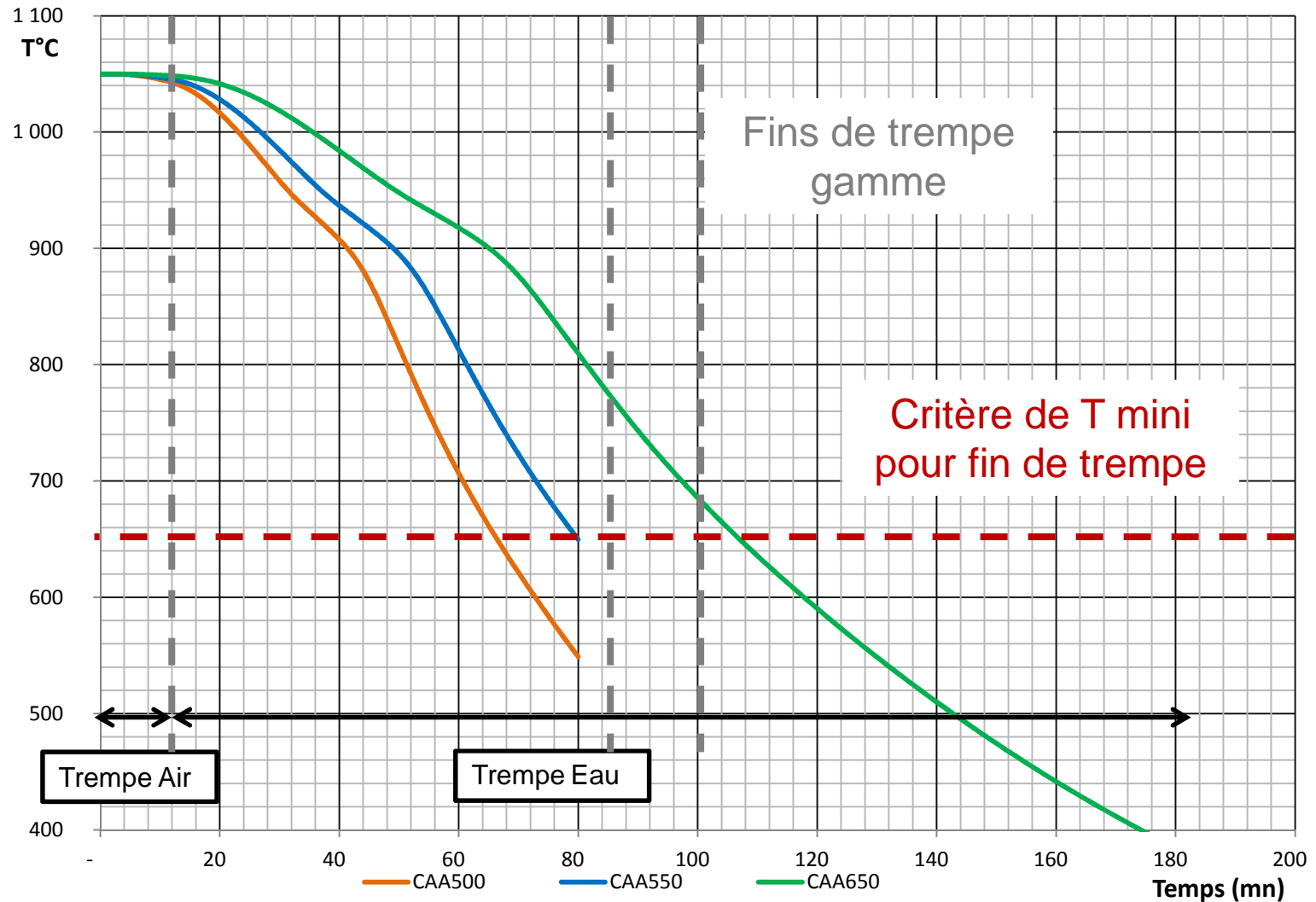


ERAMET

## Trempe eau du CAA 500mm à l'issue du forgeage



# Trempe eau : température du cœur pour les trois CAA



LE GROUPE

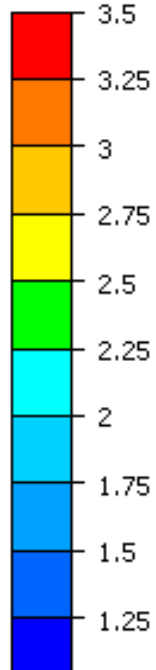


ERAMET

# Epaisseur des lattes à l'issue de la trempe eau

(10-6m)

EPAISSEUR\_LA  
Frin, Cut



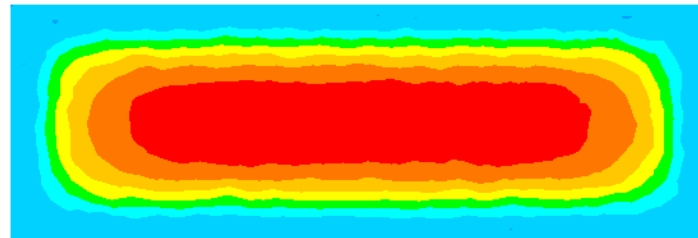
CAA 500mm



CAA 550mm



CAA 650mm



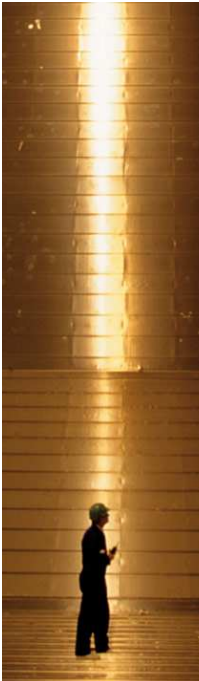
Formule :  
Epaisseur =  
 $6,4x(V_{ref}_{1000^{\circ}C \rightarrow 800^{\circ}C})^{-0,4}$

LE GROUPE

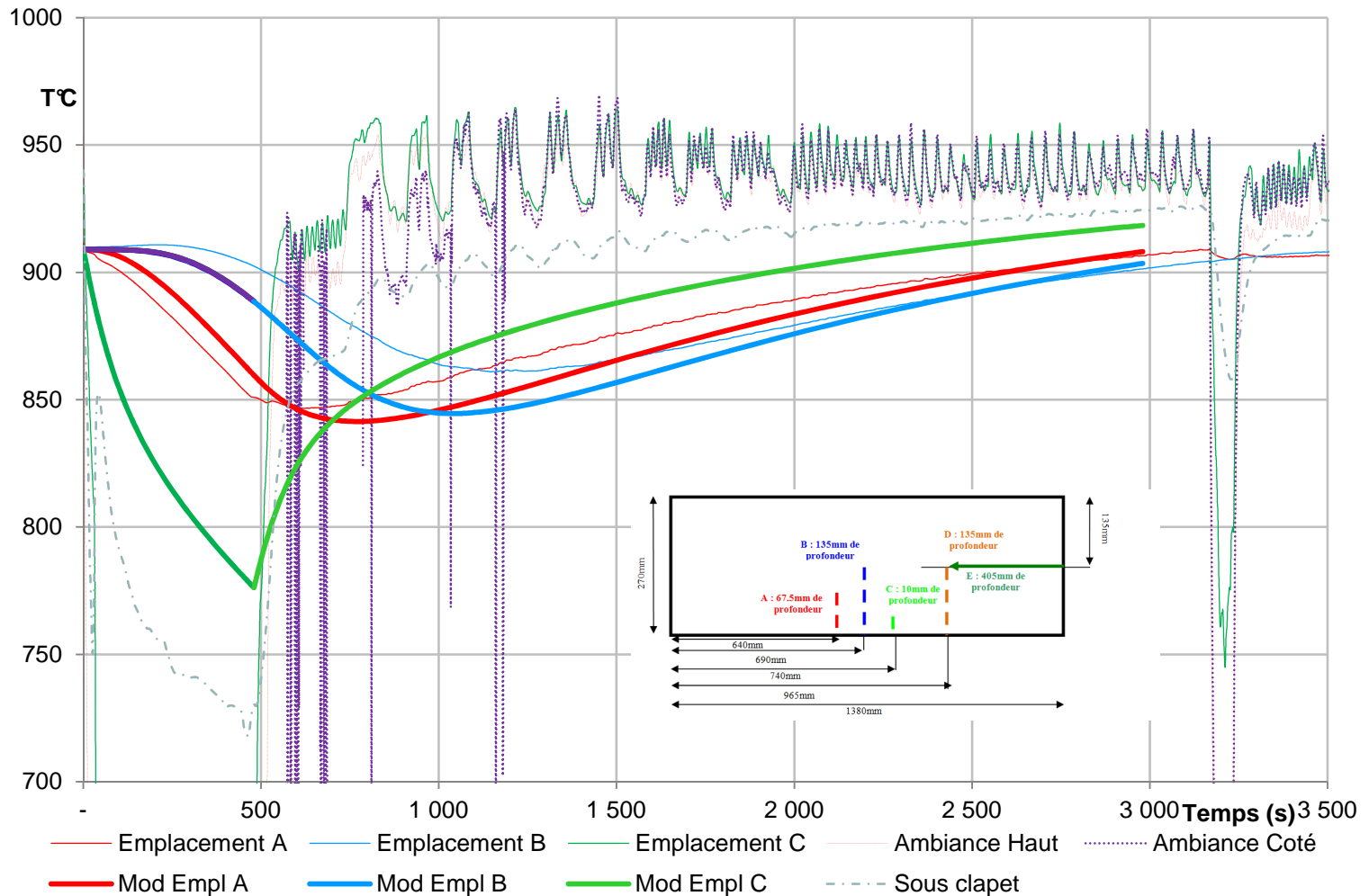


ERAMET

# Calage d'une remise au feu (essais avec lopin instrumenté en TA6V - gamme $\varnothing 240\text{mm}$ )



LE GROUPE



ERAMET

# Demi-produits en TA6V

## Non conformités (liserés alpha)

### Sommaire

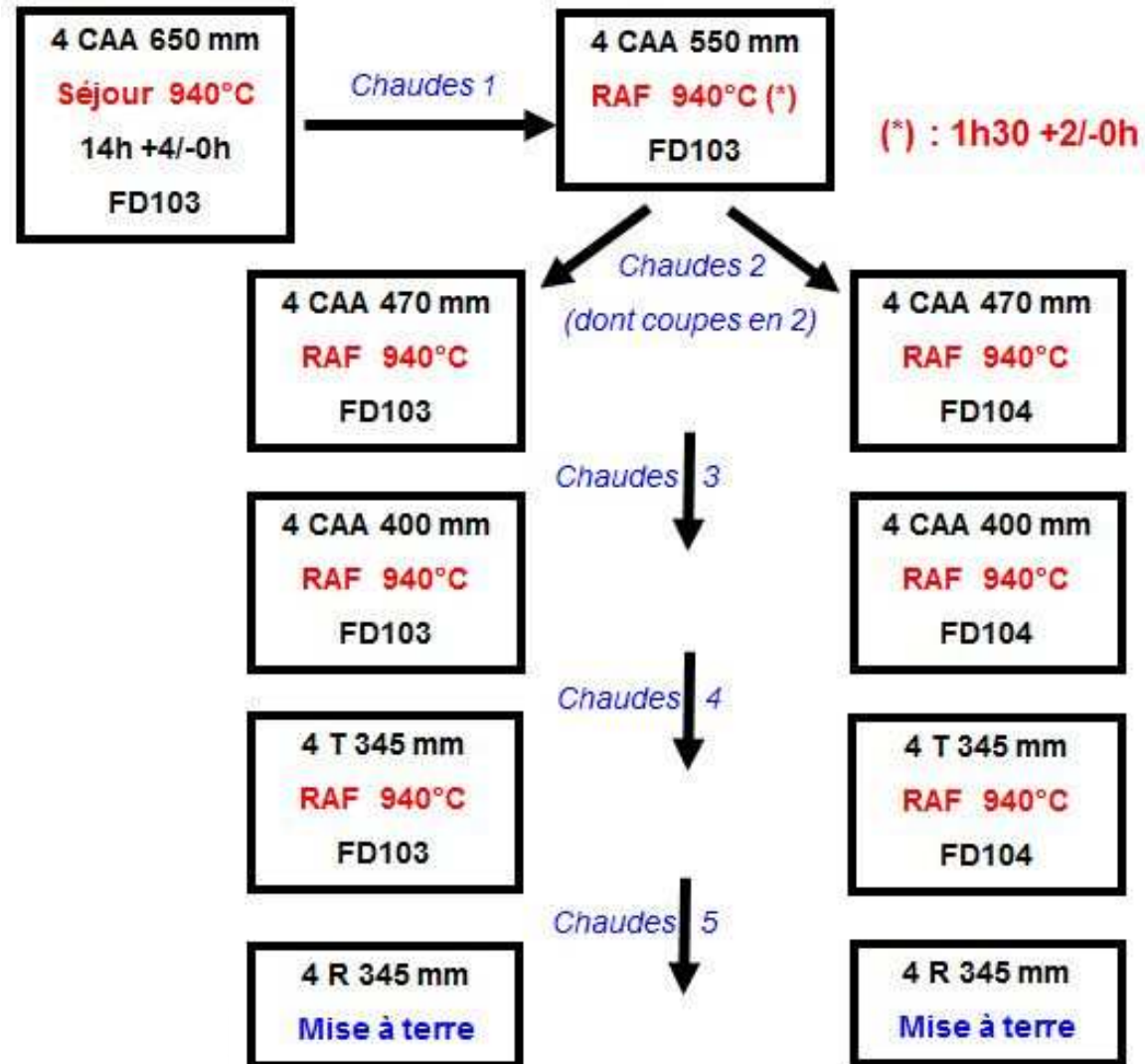
- ❑ Nouveaux essais avec lopin instrumenté en TA6V (CAA270)
  - Trempe eau
  - Calcul de l'épaisseur des lattes (post-recristallisation)
  - Remises au feu à 940°C
  
- ❑ Modélisations FORGE des étirages (gamme  $\varnothing 330\text{mm}$ )
  - Recalage efforts, température
  - Cartographie TC et déformation
  - Effet de bout de barre

LE GROUPE



ERAMET

# Gamme Ø330mm : synoptique de la fabrication suivie (02/2013)

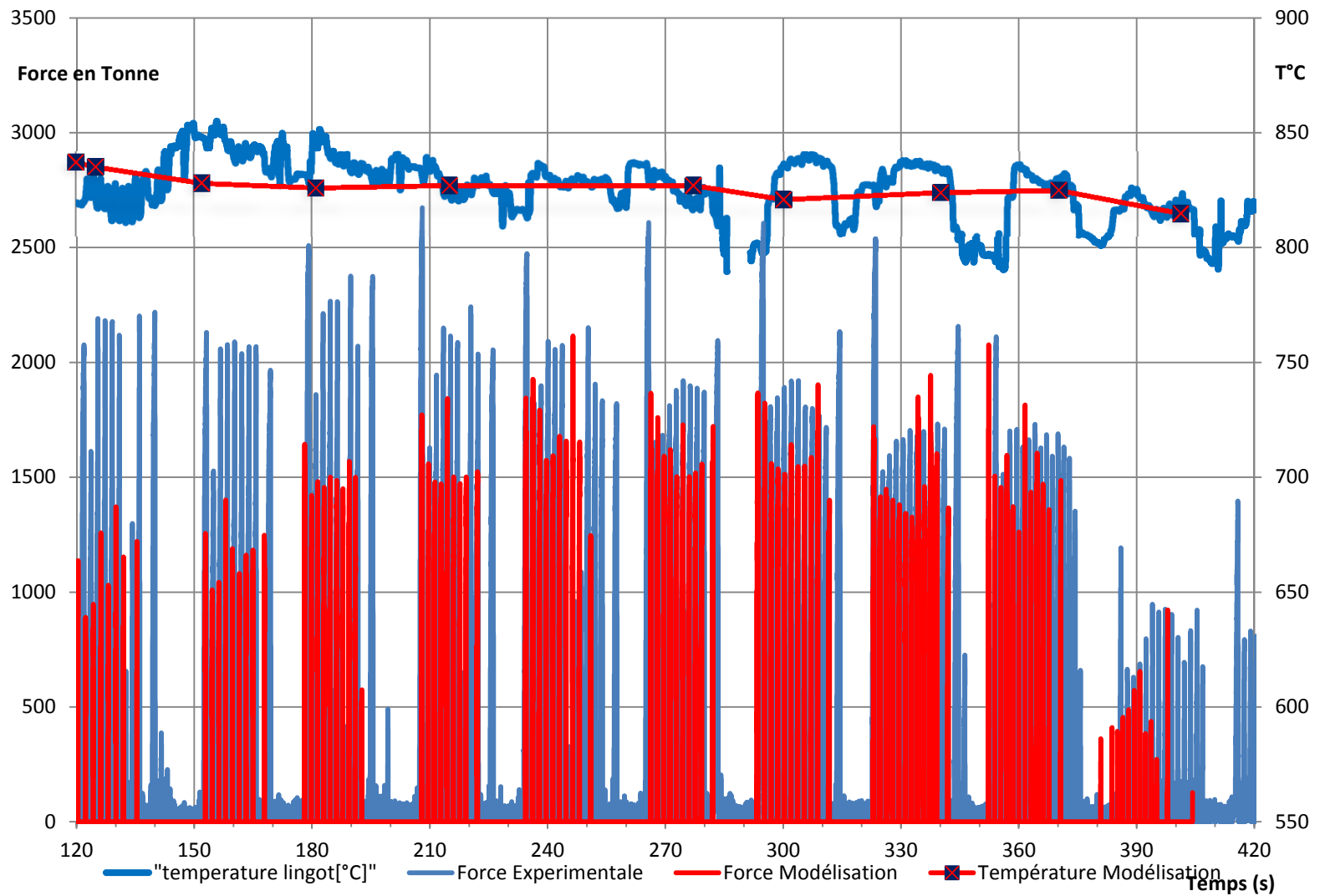


LE GROUPE



ERAMET

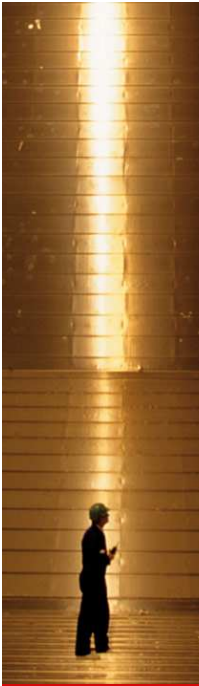
# Calage du modèle sur le CAA550



LE GROUPE



ERAMET



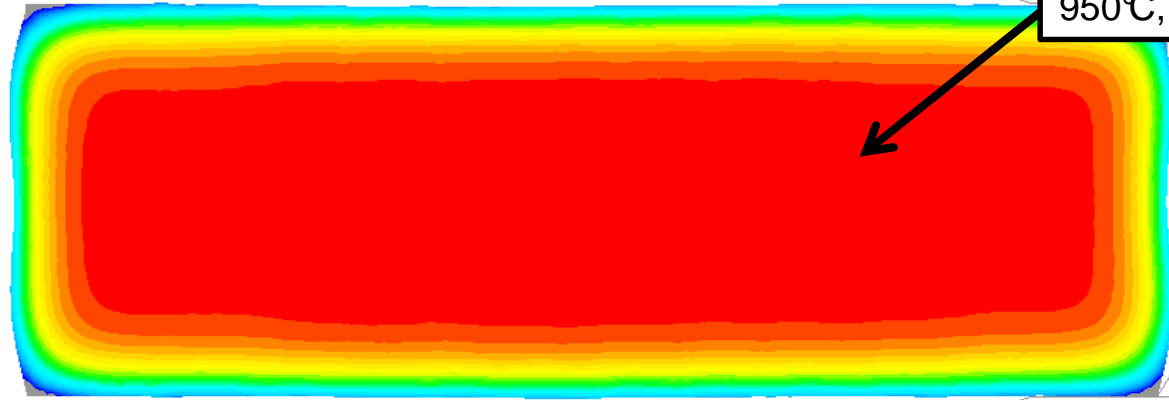
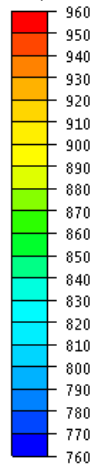
LE GROUPE

# Cartographies CAA550 : Déformation et T°C

(selon coupes médianes longitudinales)

A l'issue du forgeage

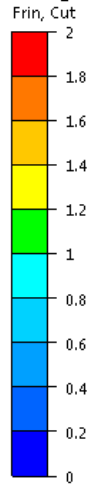
Température [node]  
Unit: Celsius  
Frin, Cut



Moyenne du Cœur  
950°C, maxi 955°C.

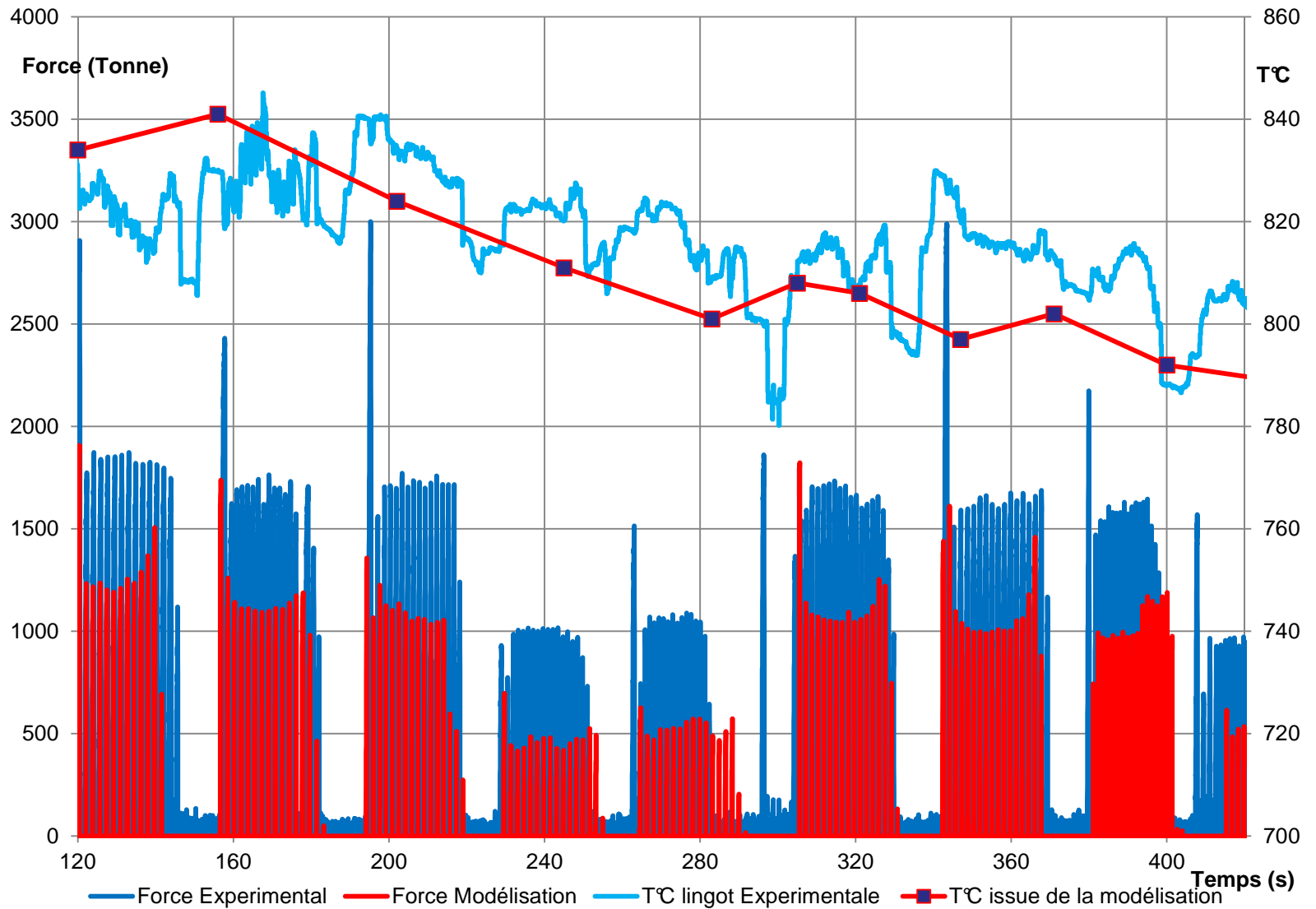
Déformation équivalente [3D elem...]

Unit: S\_unit



ERAMET

# Calage du modèle sur le CAA470



LE GROUPE

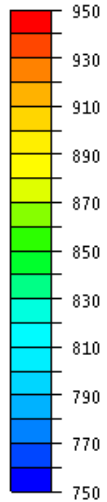


ERAMET

# Cartographies CAA470 : Déformation et T°C

(selon coupes médianes longitudinales)

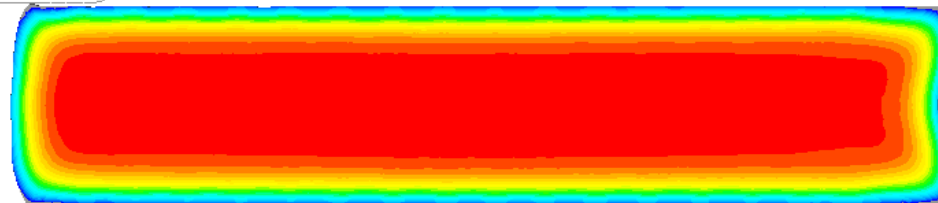
Température  
Unit: Celsius  
Frin, Cut



A l'issue de la RAF précédant le forgeage

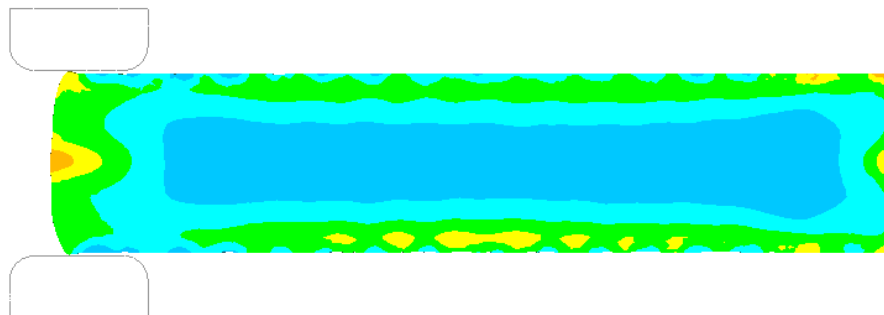
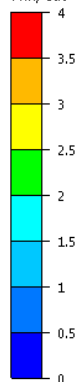


A l'issue du forgeage



Déformation équivalente [3D elem...]

Unit: S\_unit  
Frin, Cut

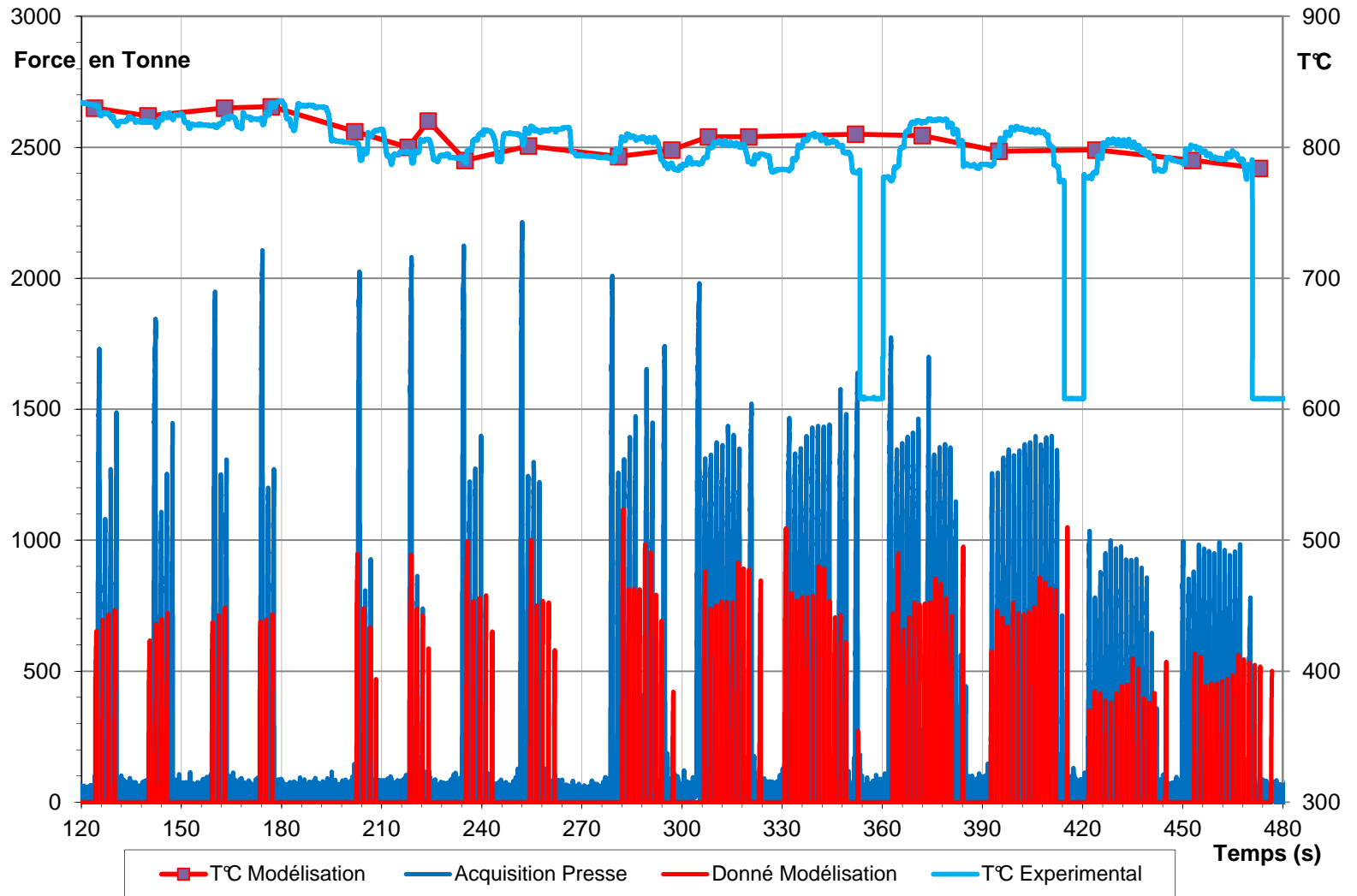


LE GROUPE



ERAMET

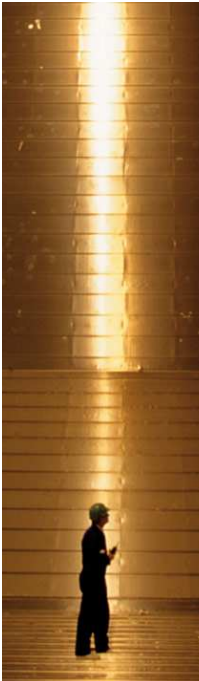
# Calage du modèle sur le CAA400



LE GROUPE



ERAMET

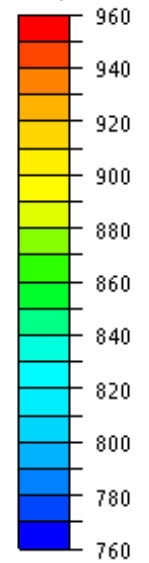


LE GROUPE

# Cartographies CAA400 : déformation et T°C

(selon coupes médianes longitudinales)

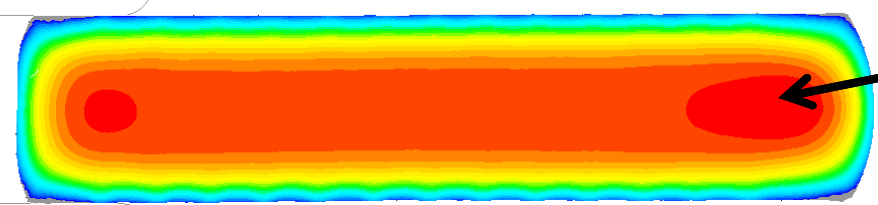
Température  
Unit: Celsius  
Frin, Cut



A l'issue de la RAF précédant le forgeage

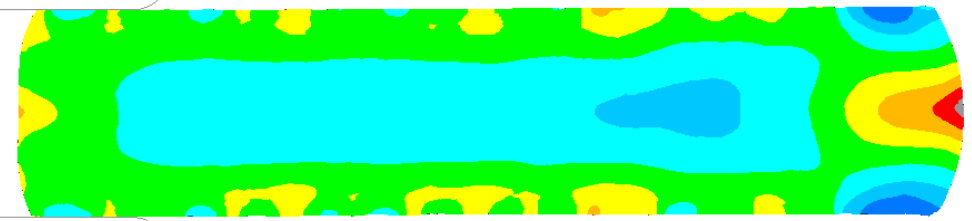
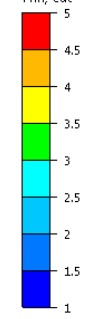


A l'issue du forgeage



Point chaud 959°C  
maxi, dû au  
forgeage plein tas  
en extrémité de  
barre

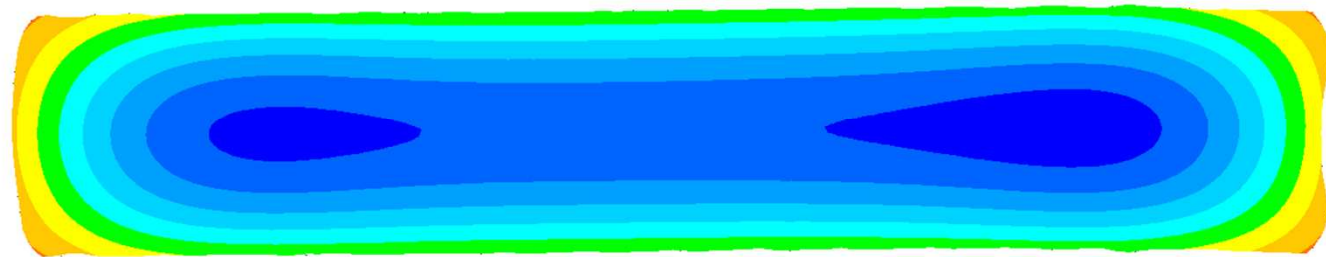
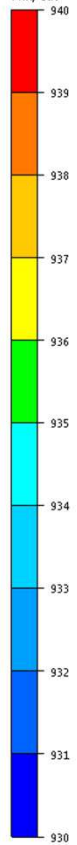
Déformation équivalente [3D elem...]  
Unit: S\_unit  
Frin, Cut



# Cartographie Oct350 : T°C

A l'issue de la RAF précédent le forgeage

Température [node]  
Unit: Celsius  
Fmin, Cut



LE GROUPE



ERAMET

## Tableau récapitulatif des températures en fin d'étirages et RAF

		CAA550	CAA470	CAA400
T°C fin de forgeage		952°C	946°C	945°C
T°C à l'issue de la RAF (1h45min)	Cœur	935°C	927°C	931°C
	Peau (-10mm)	979°C	936°C	936
↑ Top à 930°C		1h13mn	-	1h45mn
↑ Top à 930°C (sans calcul d'étirage préalable)		1h50mn*	2h05mn	1h55mn

**Auto-échauffements à cœur lors des étirages**



**Réduction des durées de RAF nécessaires**

\* ! : perturbations liées aux ouvertures de portes non prises en compte ; sinon durée = 1h56mn

LE GROUPE



ERAMET

## Tableau récapitulatif

		CAA550		CAA470		CAA400	
T°C fin de forgeage	Cœur	952°C		946°C		945°C	
	Peau (-10mm)	823°C		801°C		803°C	
Durée RAF		1h45	1 <sup>er</sup> Forgé de la chaude	1h45	1 <sup>er</sup> Forgé de la chaude	1h45	1 <sup>er</sup> Forgé de la chaude
T°C l'issue du RAF	Cœur	935°C		927°C		931°C	
	Peau (-10mm)	979°C		936°C		936°C	
Top à 930°C	Cœur	1h13	1h56		2h23	1h45	1h55

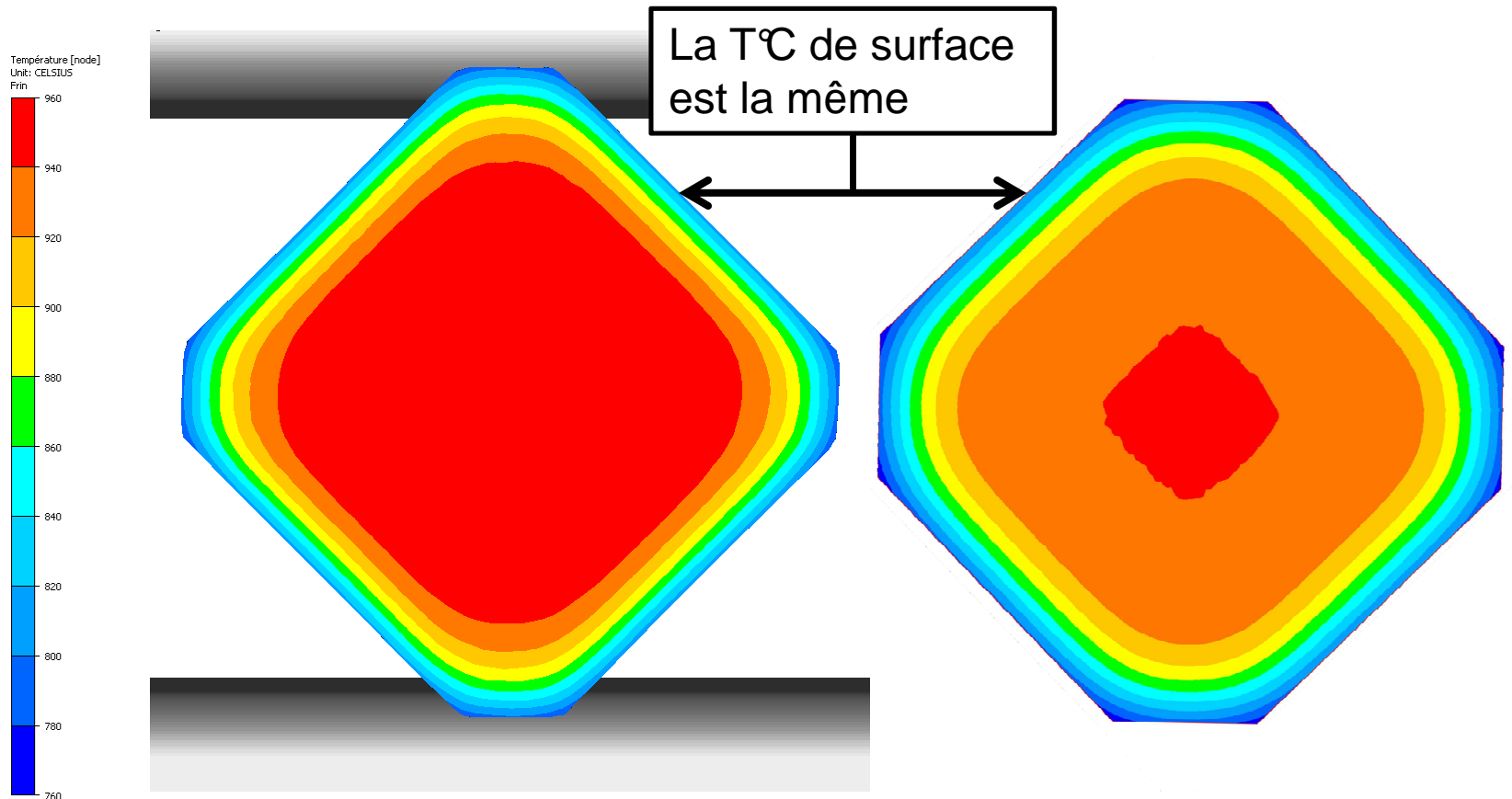
La coupe après forgeage a exposé le lopin 10min à l'air supplémentaire

LE GROUPE



ERAMET

# Hypothèse du Refroidissement Air d'un lopin pour simulé un forgeage (CAA550)



Cartographie thermique d'un lopin forgé

Cartographie thermique d'un lopin refroidit à l'air ambiant

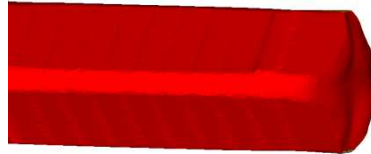
LE GROUPE



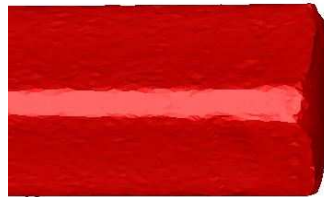
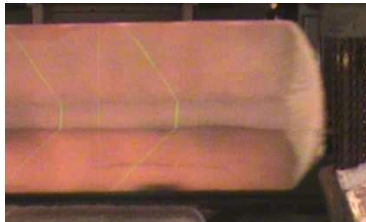
ERAMET

# Modélisation des bouts de barres

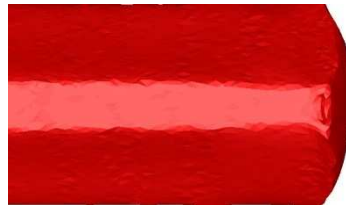
1<sup>ère</sup> Chaude CAA 550 :



1<sup>ère</sup> Chaude CAA 470 :



1<sup>ère</sup> Chaude CAA 400 :



LE GROUPE



ERAMET

# Demi-produits en TA6V

## Non conformités (liserés alpha)

### Conclusions

- Durée de la trempe eau pour CAA650 (gamme Ø330) apparaît limite (cf. critère  $T_{max} < 650^{\circ}\text{C}$ )
- Calculs d'épaisseur de lattes (brut de recristallisation) à confronter à des résultats sur prélèvements
- Difficultés de recalage en modélisation des efforts presse d'étirage (sous-estimation de 500 tonnes en moyenne) (cf. problème rencontré pour étirage DP 718)
- Calculs à reprendre avec historique complet de RAF pour un des Ø330 suivi
- Premières mesures de l'impact des auto-échauffements en cours d'étirage sur les durées de RAF
- Bon rendu en modélisation des géométries en bouts de barre

LE GROUPE



ERAMET



LE GROUPE

Merci pour  
votre attention



ERAMET

## Annexe 2

# **Demi-produit (Ø450) en Ti10.2.3 pour Messier Gestion des chauffages initiaux et RAF**

**(lot industriel 4 lingots en janvier ou février)**

- Plan de travail modélisation

LE GROUPE



ERAMET

## **Demi-produit (Ø450) en Ti10.2.3 pour Messier Gestion des chauffages initiaux et RAF**

- Remise au feu à 750°C : dans différents cas de produits : billette refoulée 1/3, carré de 600, carré de 490 (priorité 1)
- Chauffage initial 960°C lingot (priorité 2)
- Après le 960°C, mise à terre de 2h30 à vérifier si on baisse bien à 750°C, puis remise au feu à 750°C (priorité 2)
- Recristallisation à 900°C (priorité 3)
- Chauffage à 840°C (priorité 4).

LE GROUPE



ERAMET



# Avancement Travaux Conversion Lingots TA6V

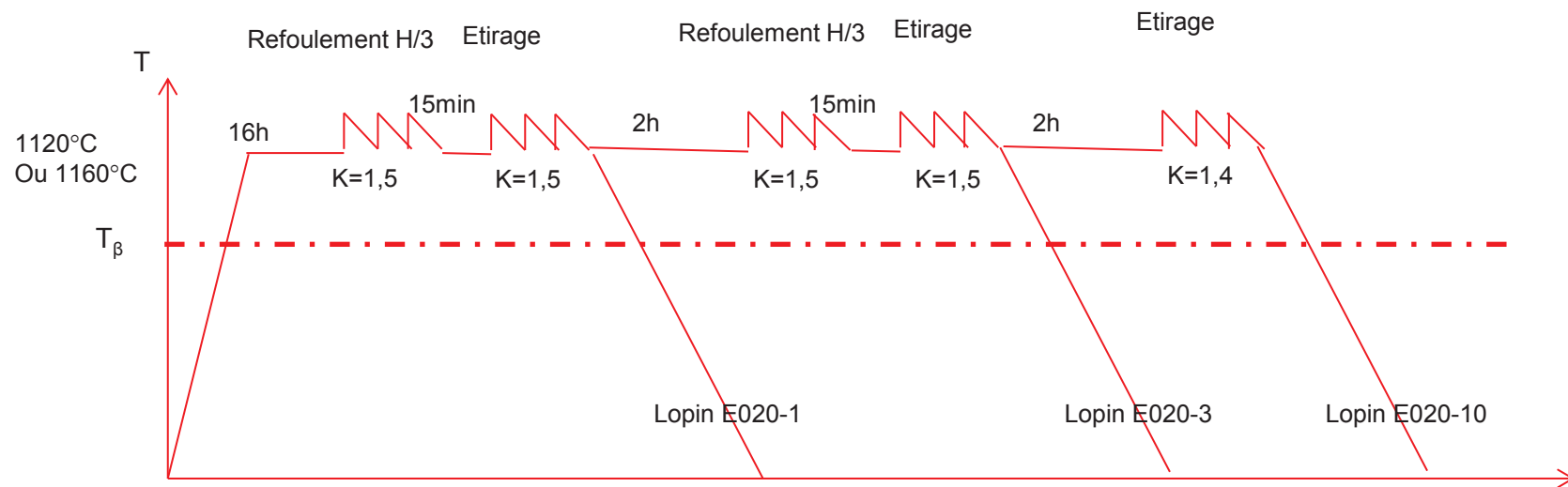
**16 décembre 2013**



- Retour sur les résultats précédemment obtenus
- Derniers résultats sur la cinétique de recristallisation à haute température

# Retour sur les résultats précédemment obtenus

- Rappel du principe des essais  
– Premier forgeage beta

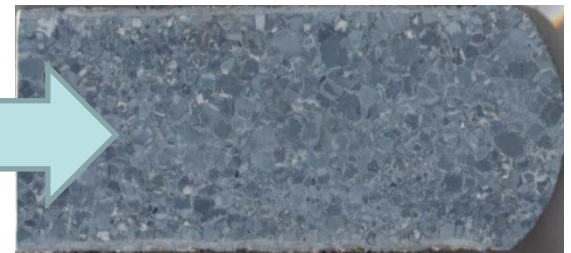
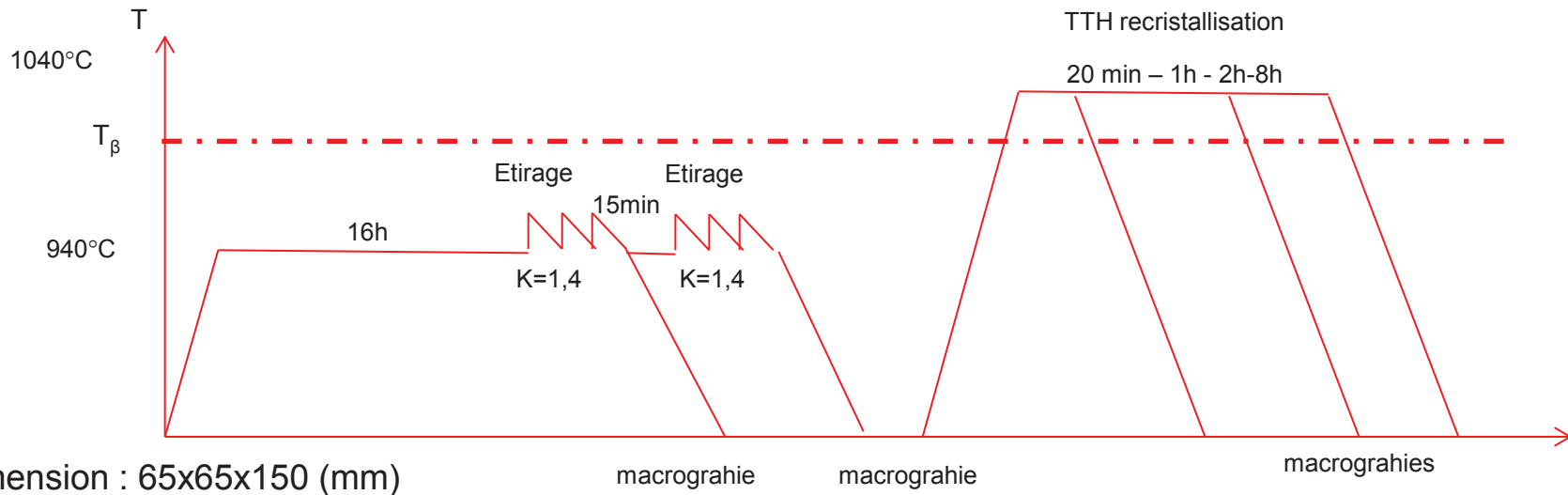


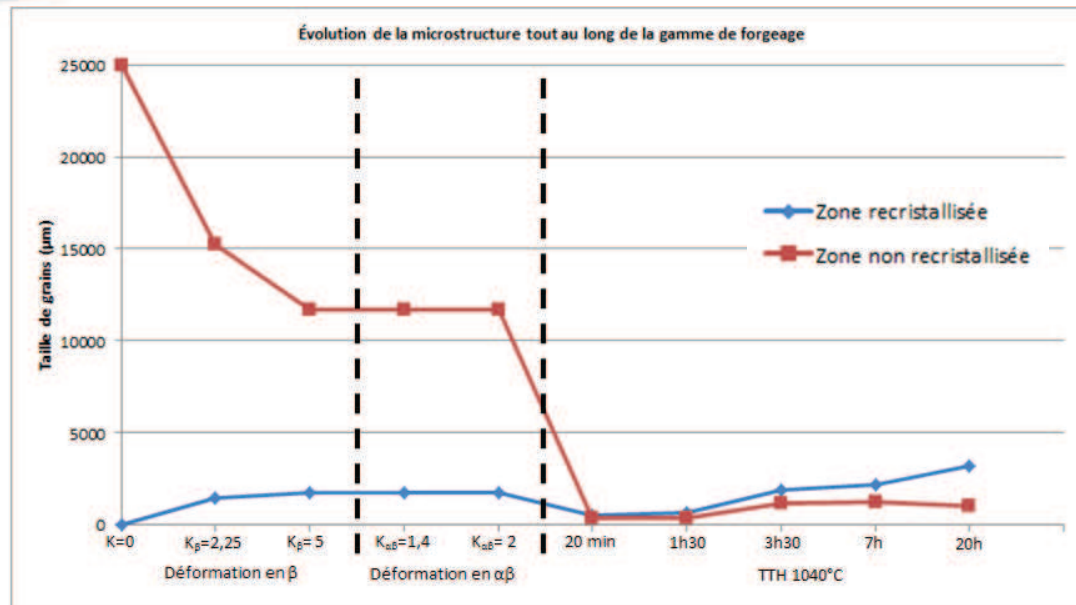
Dimension : 65x65x150 (mm)



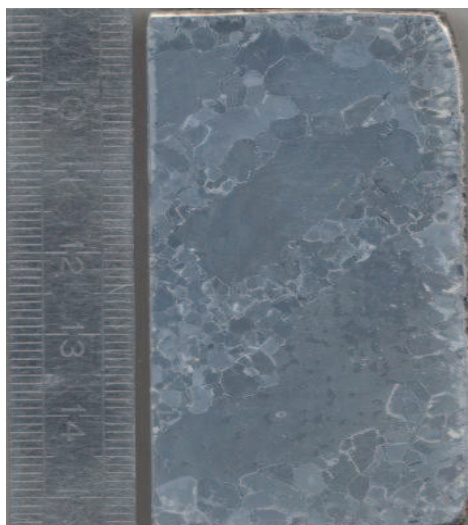
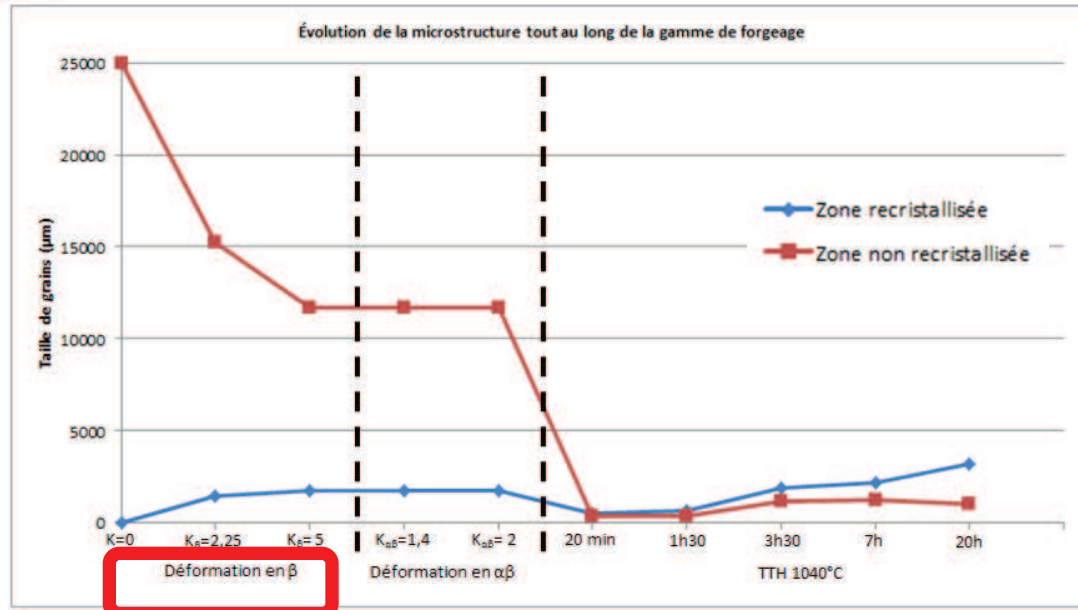
# Retour sur les résultats précédemment obtenus

- Rappel du principe des essais
  - Forgeage alpha/beta

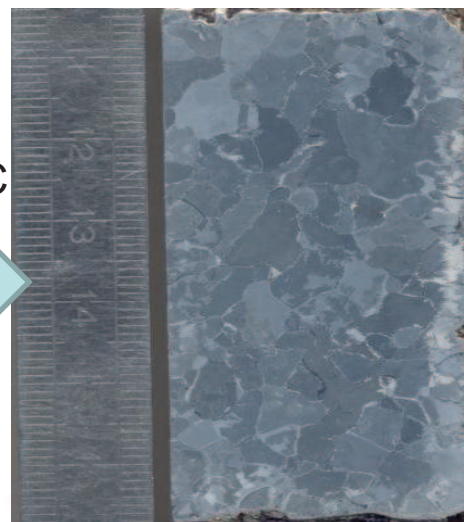




# Principaux enseignements des essais



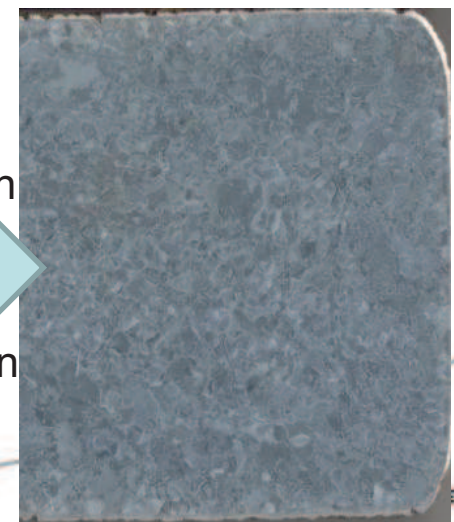
2h à 1120°C

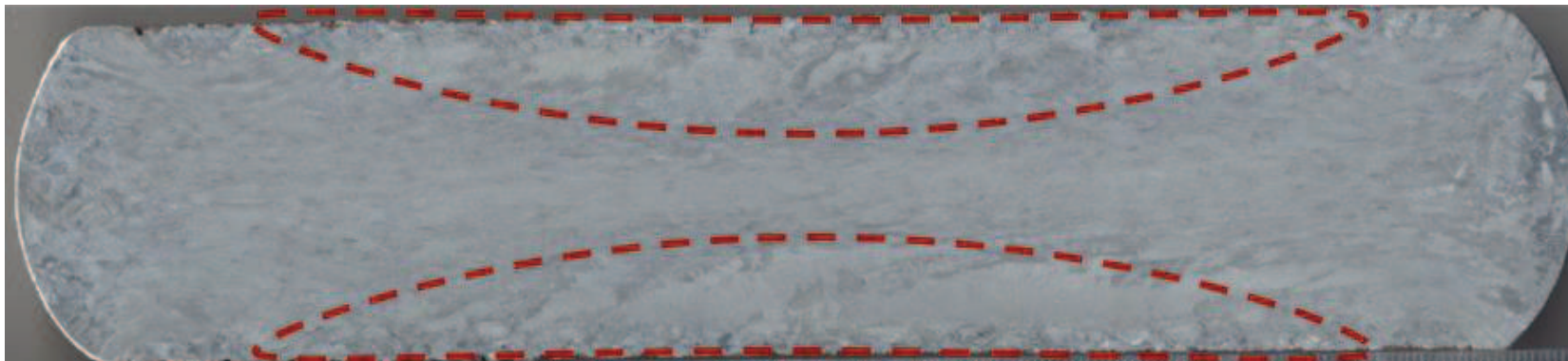
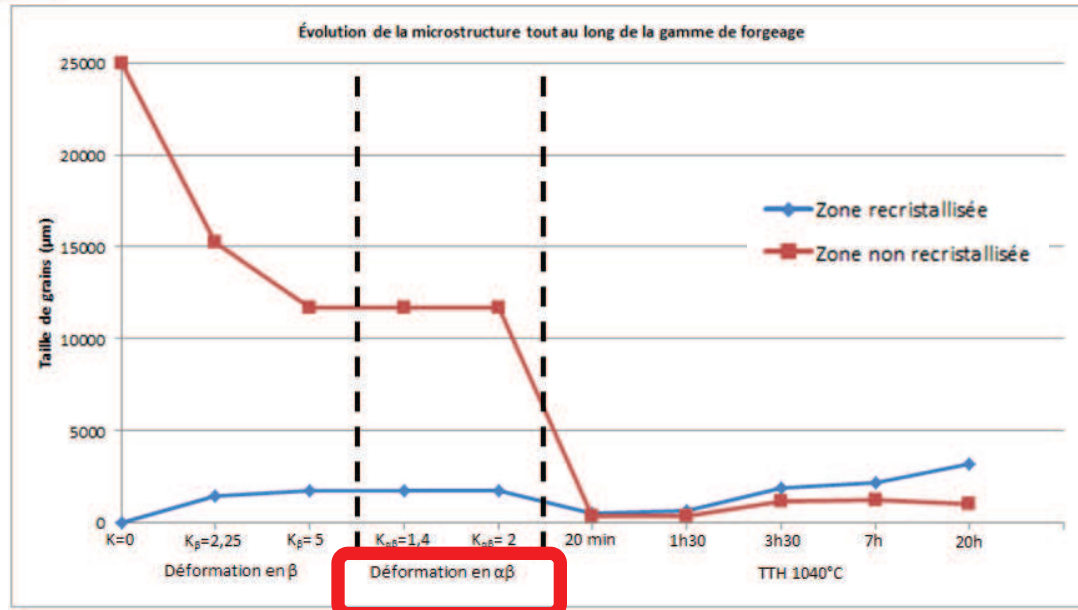


déformation



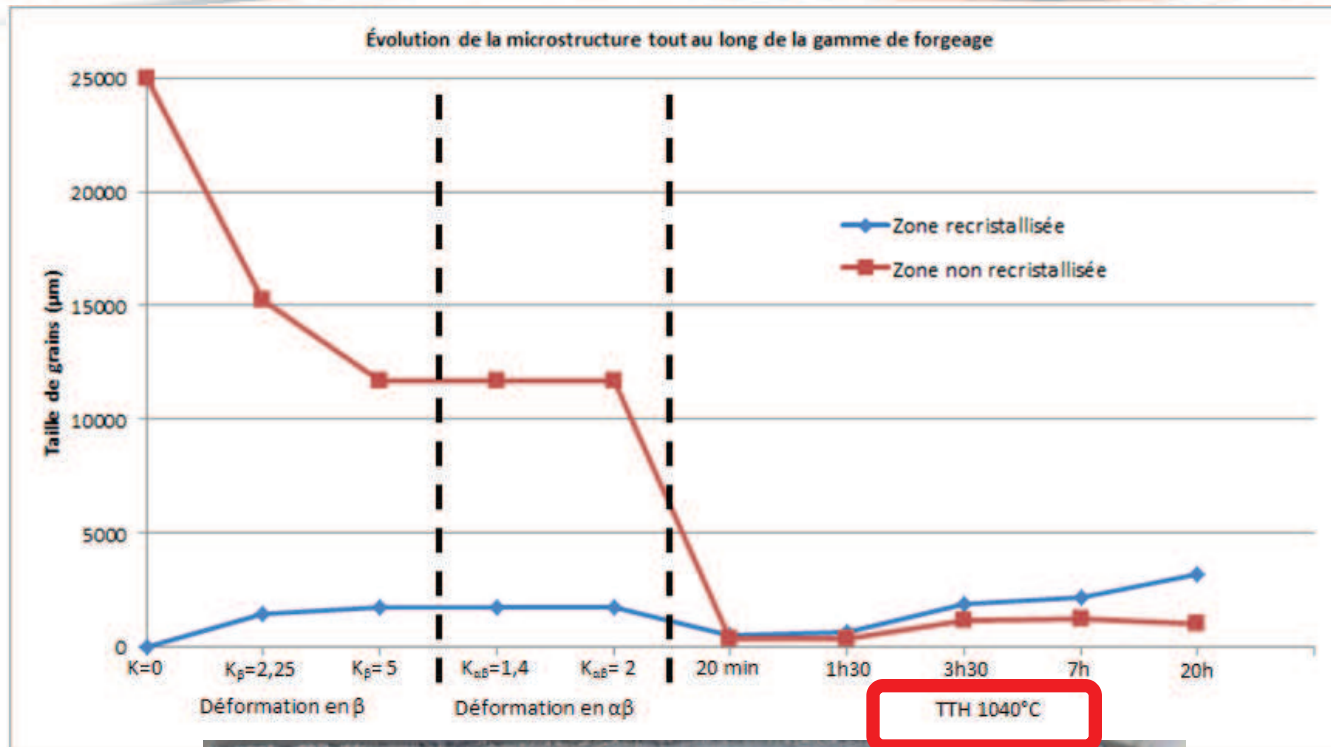
déformation  
1120°C







## Principaux enseignements des essais

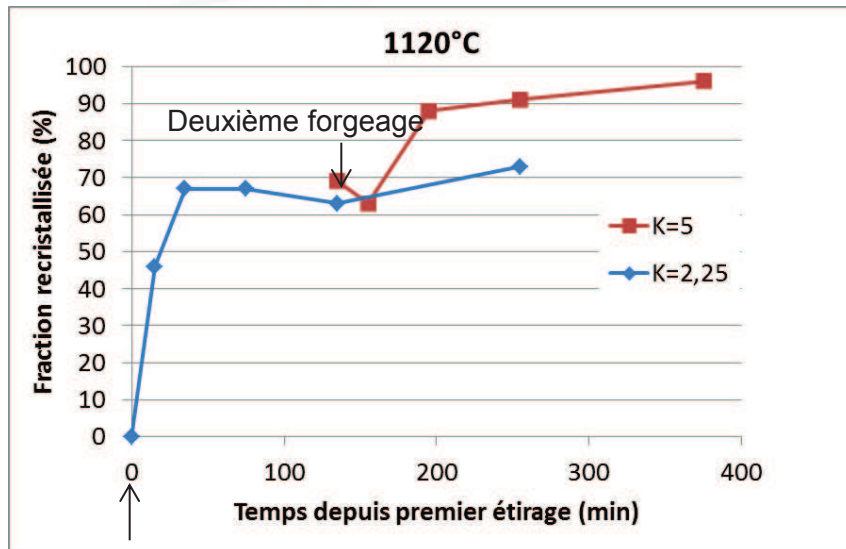




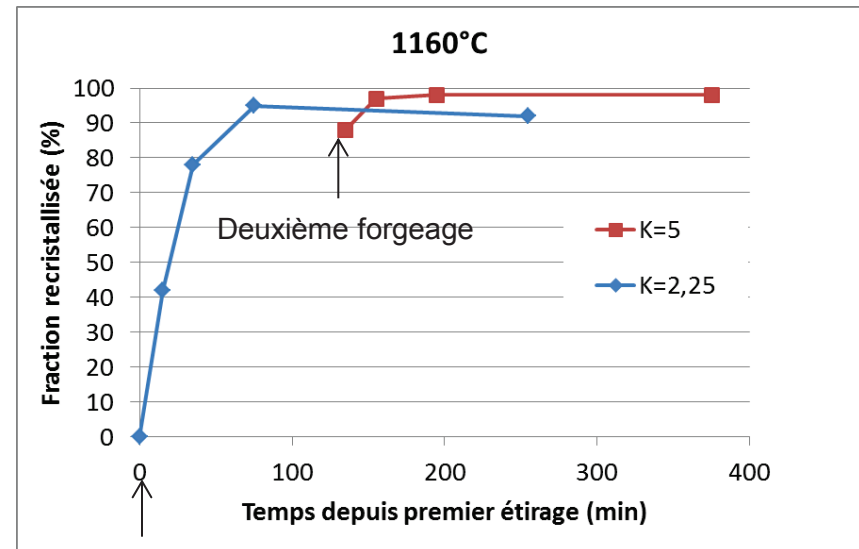
- Au final, lors du traitement de recristallisation, les zones situées dans des ex-grains beta mal recristallisés au cours du premier forgeage ont des structures qui restent fines.
- Plus la recristallisation lors du premier forgeage est complète, plus la structure est homogène lors du traitement à 1040°C.

- Etude de l'impact des remises au feu lors de forgeages à 1120°C ou à 1160°C :
  - Des prélèvements ont été réalisés sur brut de forge et remis au feu (à température de forgeage).
  - Le but de ces essais est de décomposer le cycle de recristallisation au cours du forgeage.

# Essais complémentaires Fraction recristallisées



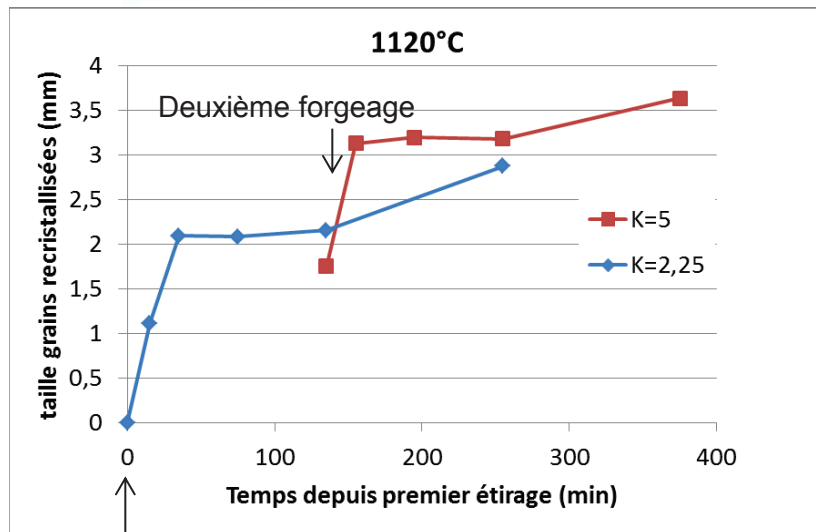
Premier forgeage



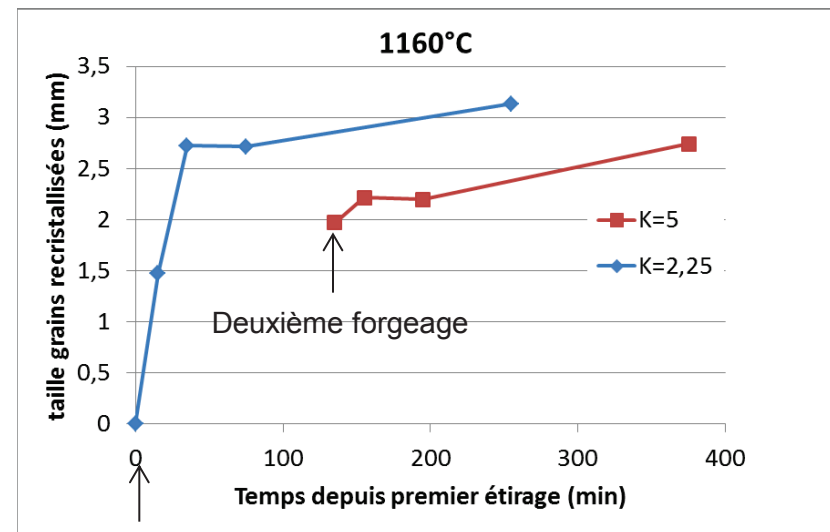
Premier forgeage

- La recristallisation s'accomplit dans l'heure qui suit le forgeage.
- La cinétique de recristallisation est bien plus rapide à 1160°C.
- Beaucoup de variabilité dans les résultats (la déformation semble assez hétérogène).

# Essais complémentaires Tailles de grains recristallisés



Premier forgeage



Premier forgeage

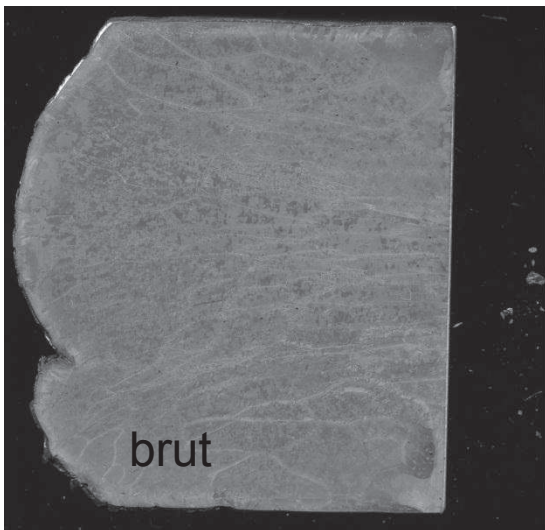
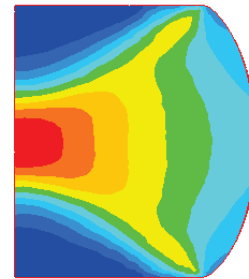
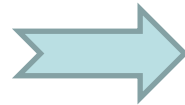
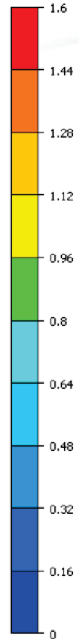
- Le forgeage en 2 chaudes à 1160°C permet de recristalliser a priori 2 fois, ce qui permet d'affiner plus la structure qu'à 1120°C.

- Etude de l'impact de la déformation sur la recristallisation
  - Des lopins cylindriques ont été prélevés sur lingot (H=180 mm)
  - Des refoulements ont été réalisés avec des remises au feux de quartiers.

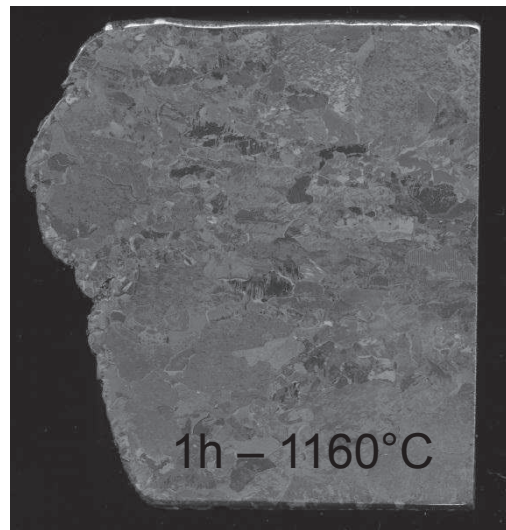


# Essai de compression – 1160°C

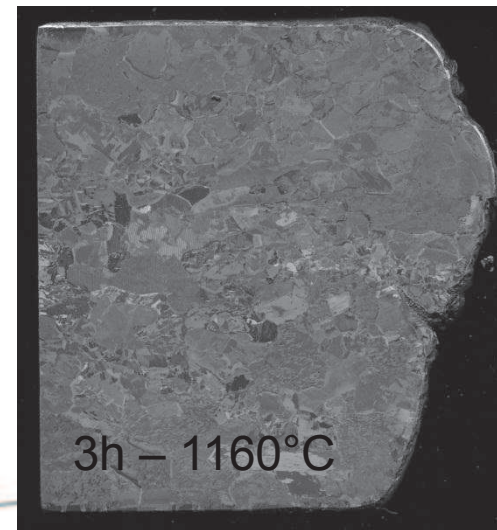
Déformation équivalente [3D elem...  
Fin



brut



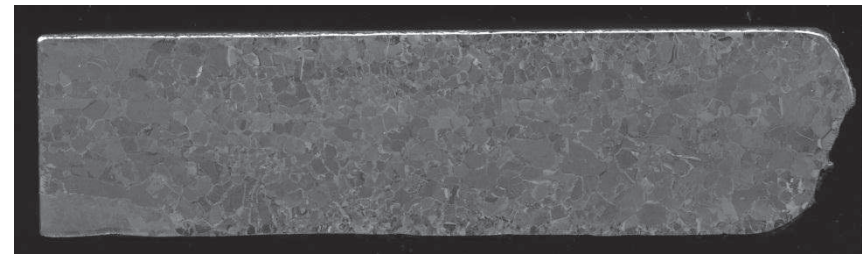
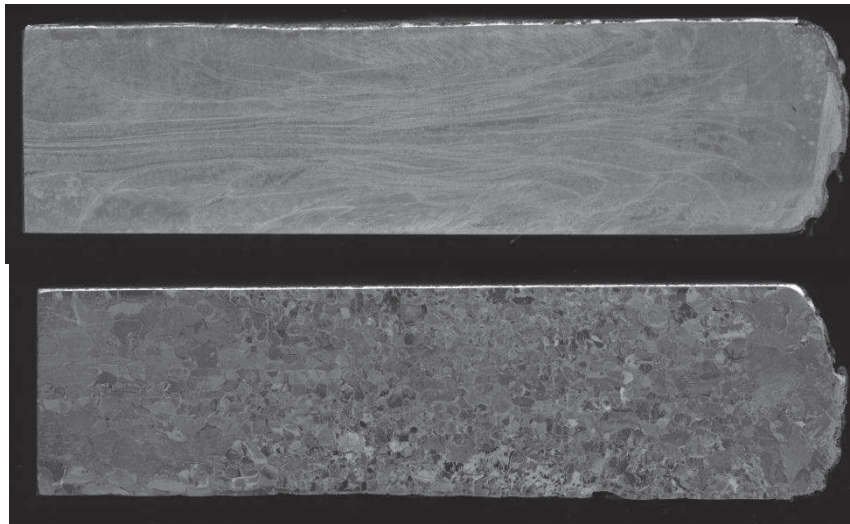
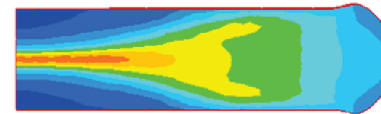
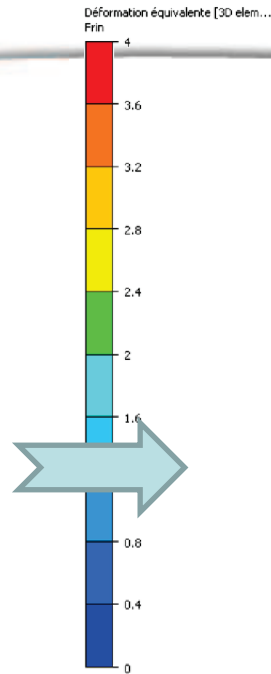
1h – 1160°C



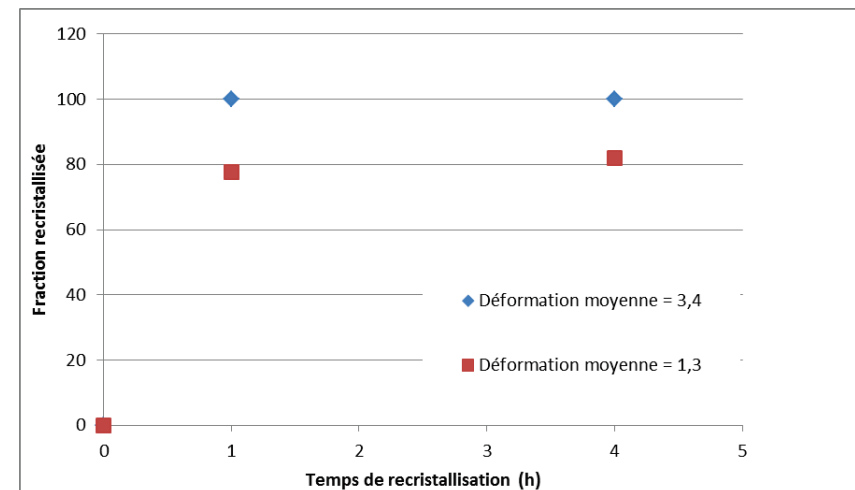
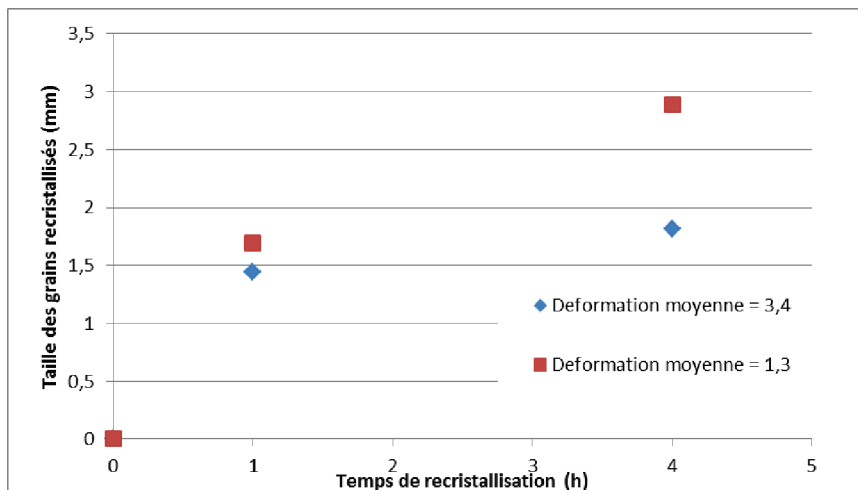
3h – 1160°C



# Essai de compression – 1160°C



- Ces essais confirment bien que la recristallisation est statique.
- Les tailles de grains et les fractions recristallisées obtenues – à même niveau de déformation cumulée – sont proches de ceux obtenus en étirage.
- Confirmation que la structure recristallise surtout dans l'heure qui suit la déformation à 1160°C.





## Réunion R&D UKAD 16/12/2013

1. Retour sur le déplacement au CRITT (cotation des microstructures en TA6V, produits longs)
2. Retour sur les gammes de transformation “aval UKAD”

# 1. Retour sur le déplacement au CRITT

Déplacement le 27/12/2013 au CRITT (cotation microstructures produits longs)

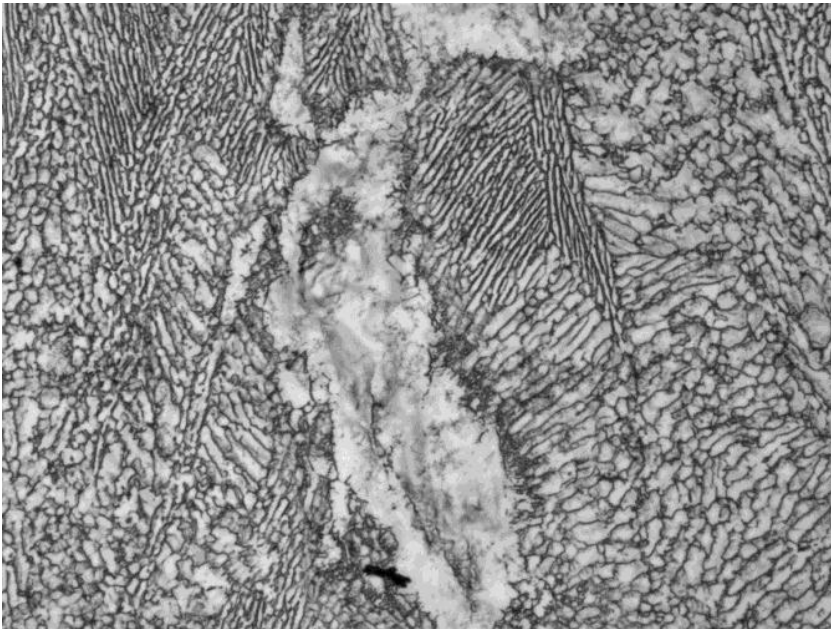
- ❑ But : coter les microstructures de quatre LL récentes
  
- ❑ Avant le déplacement
  - O.Lurdos : 2 LL non conformes + 2 LL limites
  - LMET : 4 non conformes
  
- ❑ Cotation du CRITT :
  - 2 LL non conformes
  - 2 LL conformes
  
- ❑ Les critères de cotation restent très subjectif. Au moins 2 personnes au LMET sont formées : M.Dulat, B.Berger (+ T.Sahut)
- ❑ Le LMET appliquait des critères trop sévères
- ❑ Définition de 3 niveaux : A1-A4 : conforme / A5-A9 : déclassement /  $\geq$  A10 rebut

# 1. Retour sur les gammes de transformation “aval UKAD”

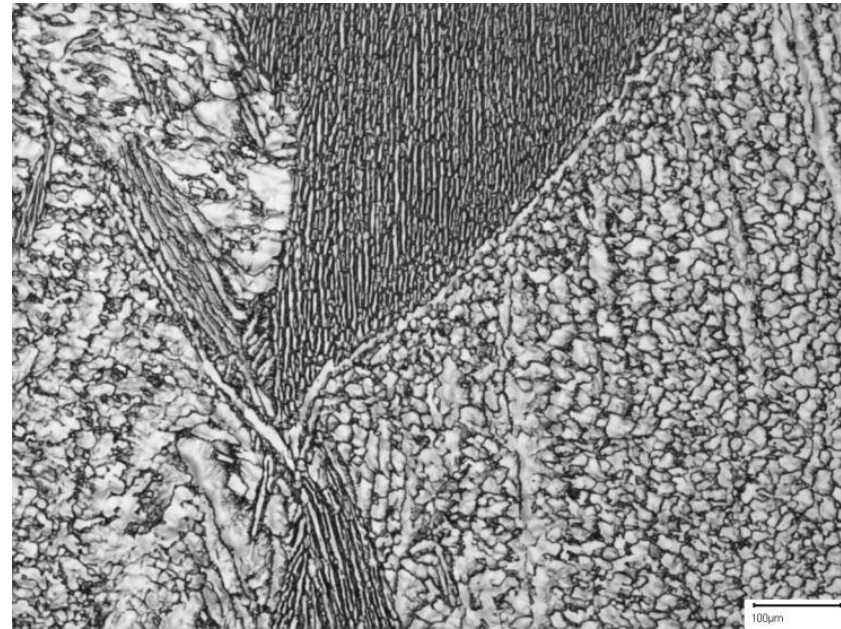
## Rappel de la gamme actuelle, gamme référence

Observation des demi-produits forgés au stade Carré Angle Abattu  
270mm de coté (CAA270)

Microstructures grossières observées de manière généralisée



Exemple CAA270

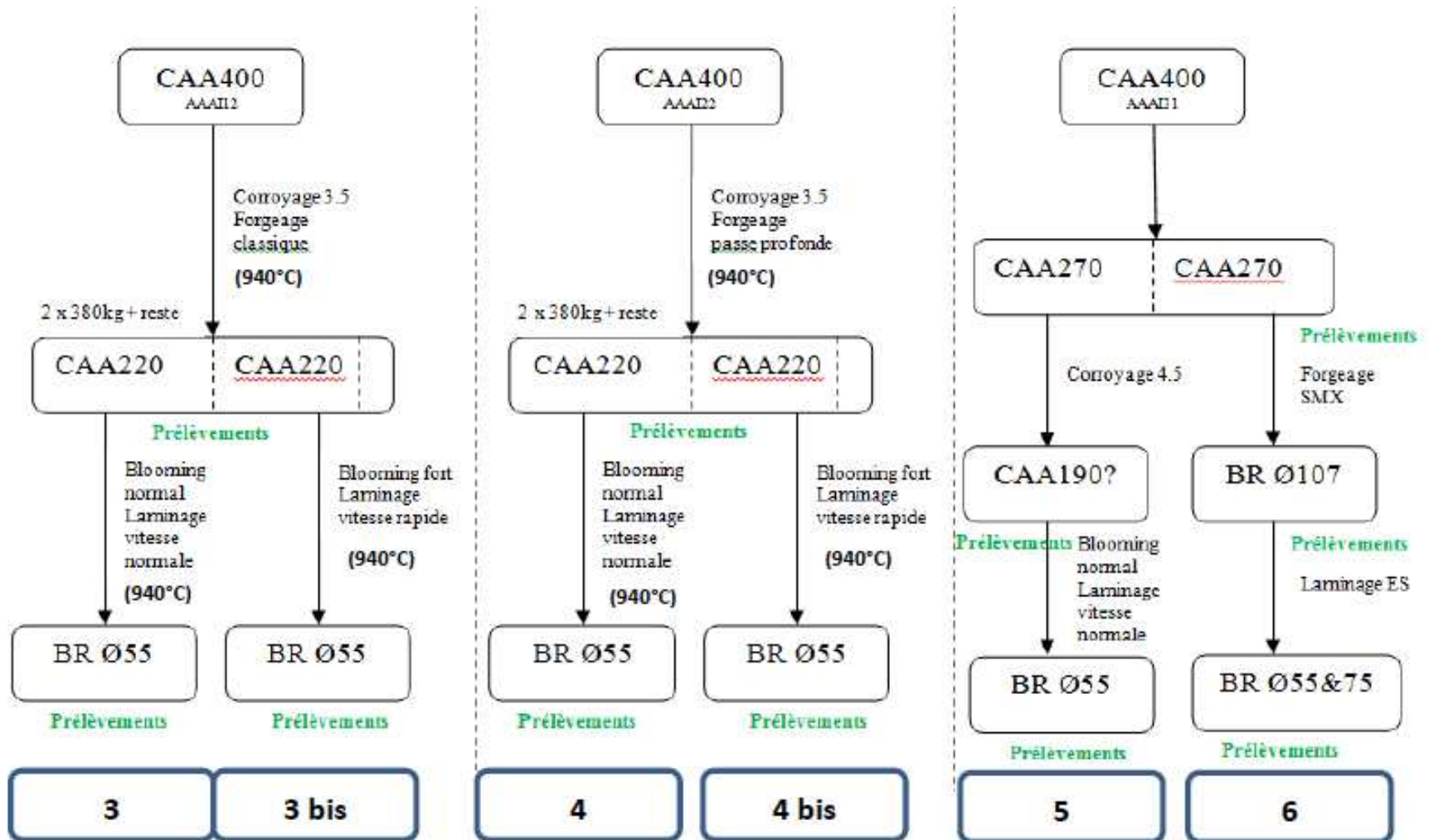


Exemple CAA270

# 1. Retour sur les gammes de transformation "aval UKAD"

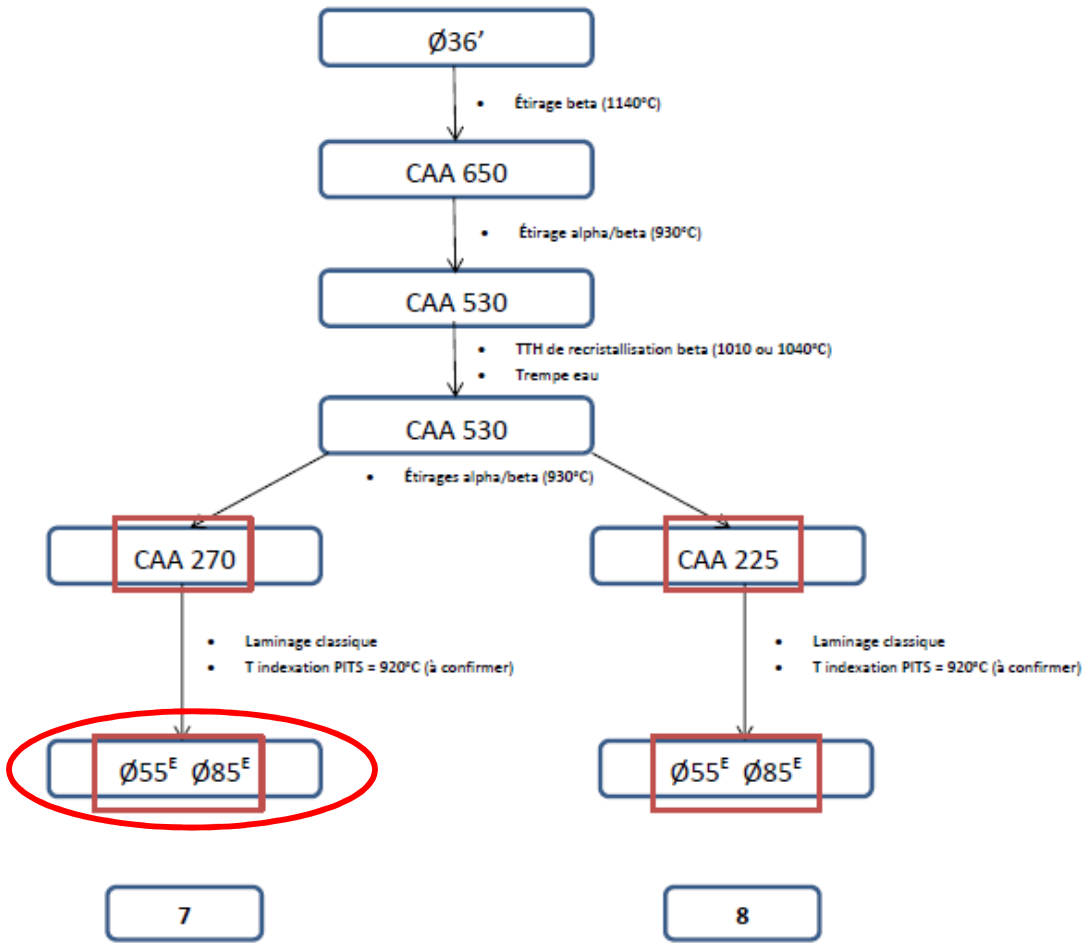
## □ Gammes variantes 3 à 6 pour Stainless

- Gamme amont au CAA400 : idem à la gamme de référence (pas de refoulement, pas de trempe)
- Gammes 3-3bis-4-4bis : microstructures idem à la gamme de référence
- Gammes 5 et 6 : en cours de transformation

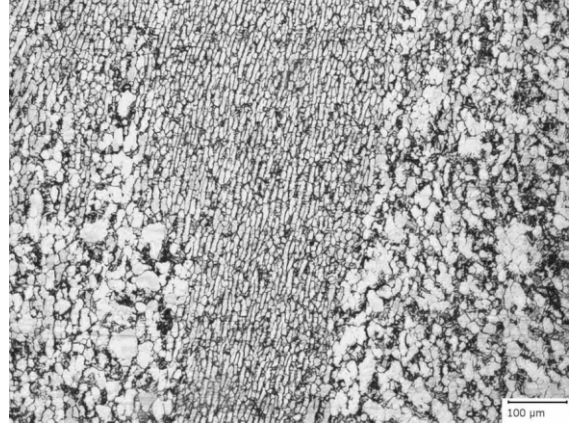


# 1. Retour sur les gammes de transformation "aval UKAD"

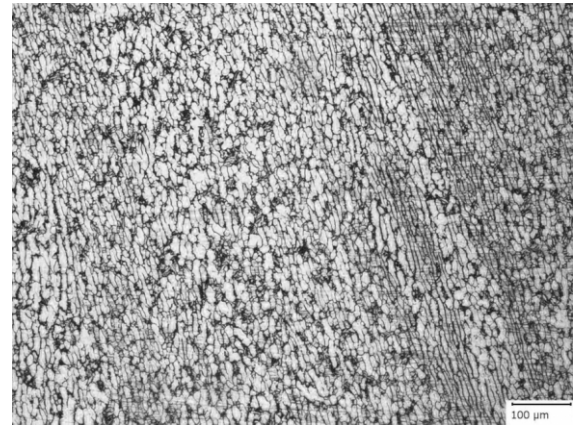
- Gammes variantes 7 et 8 pour Stainless (voir barre à aube)
  - Critères appliqués :
    - Pas de refoulement
    - Trempe eau
    - Gamme construite pour maximiser le corroyage  $\alpha/\beta$  final



Laminage mercredi



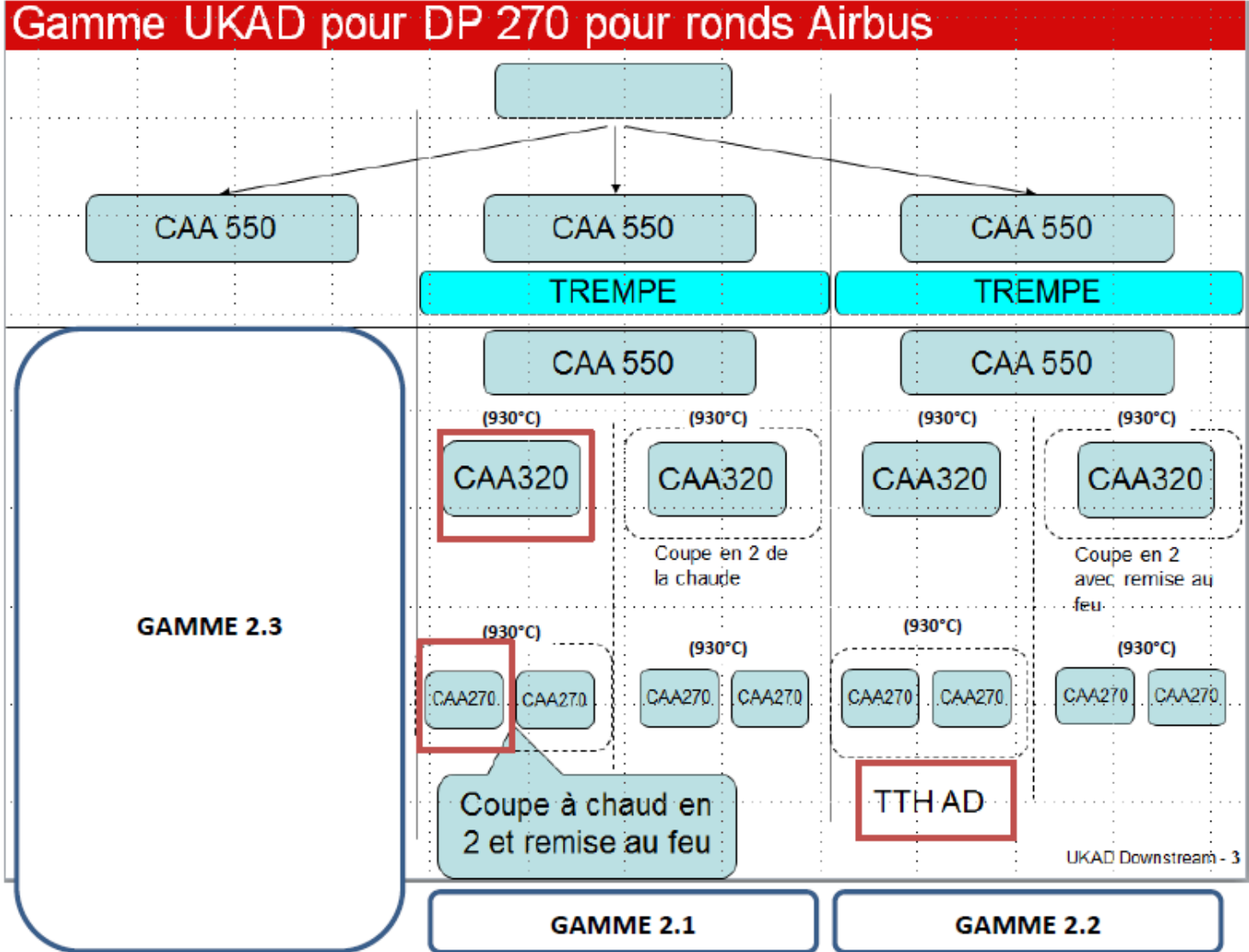
Exemple CAA270



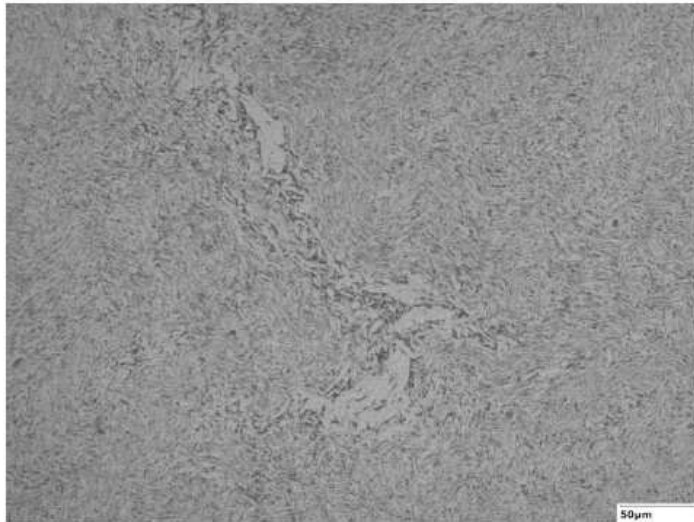
Exemple CAA220

# 1. Retour sur les gammes de transformation "aval UKAD"

- ❑ Gamme aéro pour produits longs Airbus
- ❑ Caractérisations en cours



# 1. Influence d'un traitement thermique

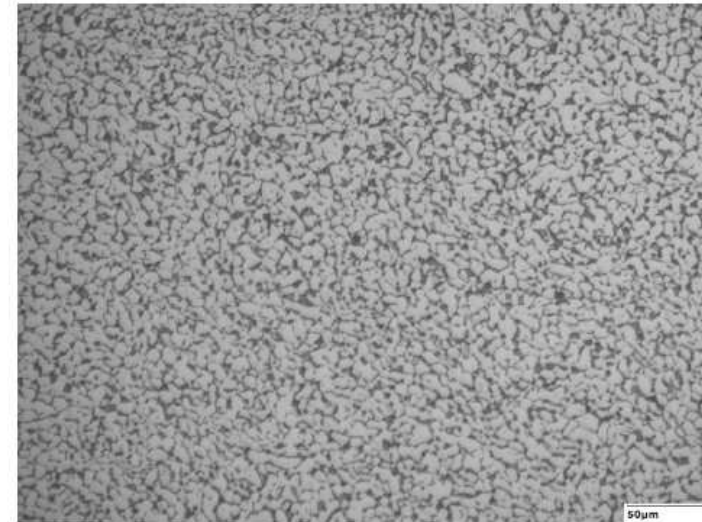


**Annexe 9f** : barre T  
Périphérie - sens T - x200 (amas de phase alpha)

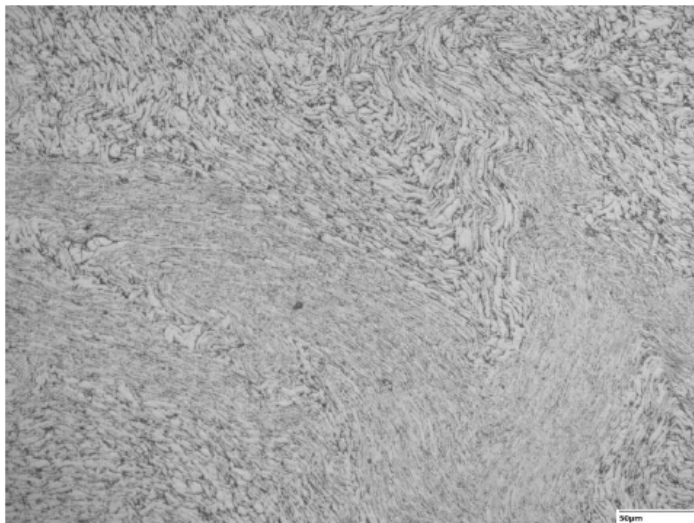


« **A10 deviens A3** »

**Annexe 10** : Aspect des microstructures après traitement thermique 900°C/2h/air



Microstructure majoritaire observée en périphérie / mi-rayon / cœur des barres LL96163 - LL 6164 - LL96165 et LL96166



**Annexe 5b** : barre repère 4  
Périphérie - sens T - x200  
(zone ponctuellement A10)

- Abbattement des cara. méca.
- TTH à appliquer sur le “dernier” demi-produit
- Sur Ø101 pour application barre à aube

Référence	Rm [MPa]	Rp 0,2 [MPa]	A% 5d	Z %
<b>ST UK 6001</b>	≥ 900	≥ 800	≥ 12	≥ 35
LL96163, barre 1	889	786	15,0	41
LL96163, barre 2	883	782	15,0	46
LL96164, barre 3	888	795	14,5	43
LL96164, barre 4	887	795	15,0	51
LL96165, barre 5	892	787	15,0	46
LL96165, barre 6	882	781	15,0	39

**Tableau 3** : Caractéristiques mécaniques dans l'état thermique 900°C / 2h / AIR + 730°C / 1h30 / AIR (traitement laboratoire).

**AUBERT&DUVAL**



Annexe 5

# **Bilan projet UKAD et actions à venir**



- Trempe
  - valider modélisations sur prélèvements brut de trempe
- Presse
  - Eprouver modèle pour efforts en refoulement
  - Poursuivre les comparaisons sur une gamme TA6V
- Four
  - Logique de capitalisation du savoir
  - des essais programmés non réalisés suite à nouveaux besoins
  - cas du Ti 10 2 3
- Fin initialement prévue à mi 2014
  - OK pour aspects trempe et presse
  - suite probable sur les aspects fours



- Attente des résultats sur dernier essai
- Des progrès sur les aspects modélisations
  - stage d'Alexandre BALLAN
  - des résultats cohérents avec les essais
  - objectifs sur phase delta non atteints : à poursuivre en dehors d'UKAD
- Fin du projet prévu en 2014
  - rebondir sur autres gammes superalliages
  - PER 706 avec Pamiers ?



- Pas toujours de cohérences gammes / résultats
  - collecte d'informations difficiles (T fin de chaude ?, ... )
  - nécessité **ABSOLUE** de mettre en place un suivi sur essais, variantes de gammes, ...
  - proposition d'assistance de la part de la R&D (Mariline) avec rituels R&D / Laurent / Philippe / Jean-Charles
- Des avancées en 2013 ...
  - stage de Jordan GARLOPEAU : forgeages amont
  - stage d'Etienne ARCHAUD : forgeage aval
    - les moyens Ancizes ne permettront pas d'avancer
- ... Mais la route est encore longue
  - objectif : prédire la globularisation
  - TIMET vient de faire le même constat



- Poursuite des actions en 2014
  - même répartition ARDEM / Ancizes : forgeage amont / forgeage aval
  - ARDEM : travaux sur recristallisation du grain  $\beta$
  - Ancizes : globularisation avec essais spécifiques à l'ENSM-SE (stage Master)
- Sur le plus long terme
  - suite stage Master en thèse (effet des déformations 3D)
  - Besoin de revoir également nos gammes sur Ti 10 2 3
    - Très forte pression de MESSIER
  - Approche plus amont en //
    - Modélisation en "champ complet"
    - En partenariat TIMET / MESSIER ?
    - Action hors UKAD
    - Essais de laboratoire à l'AFRC ?



- Quels besoins spécifiques sur gamme 706 ?
  - effets bouts de barre, comparaisons tas plats / étampes ?
  - modélisations microstructures (comme pour le 706) ?
- Possibilité de faire des essais à échelle réduite
  - projet de presse à l'AFRC
- Faire un bilan sur les résultats US
  - a-t-on vraiment besoin de forger sur angles ?
- Besoins sur contraintes résiduelles (aval UKAD) ?
- La globularisation est-elle seulement une question de forgeage ?
  - analyse, conditions d'élaboration, ...
  - reste un sujet central sur le long terme
    - Cf. besoins sur aval UKAD
- Stratégie et autres objectifs sur le long terme ?