

Evolution microstructurale d'un superalliage base cobalt de fonderie à haute température

Conséquences sur ses propriétés thermomécaniques

Sylvain MICHON, Lionel ARANDA,
Patrice BERTHOD, Pierre STEINMETZ

Laboratoire de Chimie du Solide Minéral (UMR 7555)
Université Henri Poincaré Nancy 1
BP 239 – 54506 Vandoeuvre-les-Nancy Cedex, FRANCE

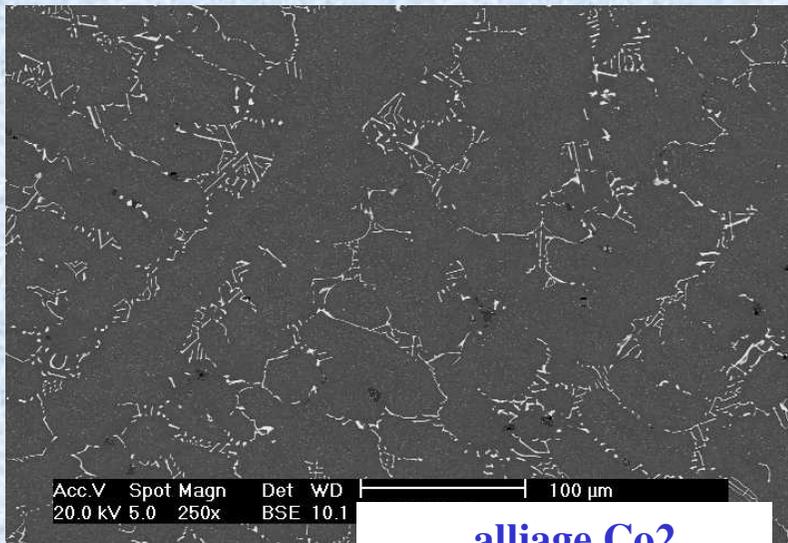
Problématique

Superaliage base cobalt de solidification renforcé TaC

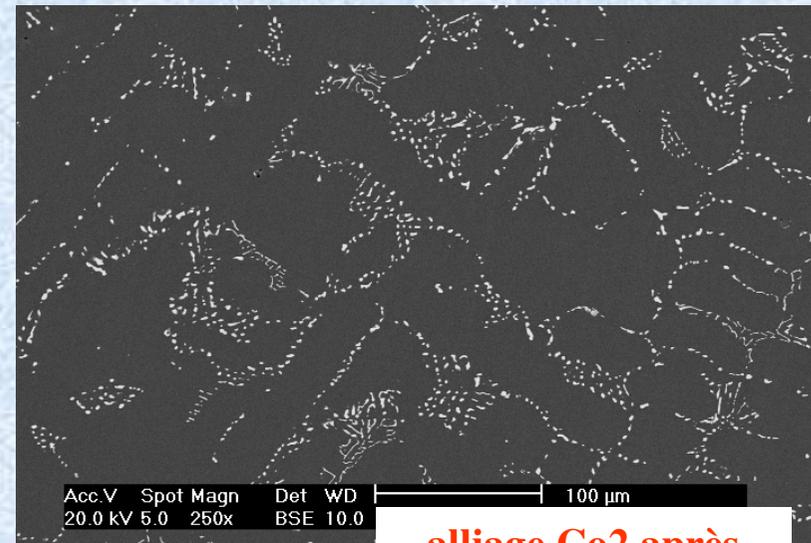
exposition prolongée à haute température

⇒ évolution de la fraction volumique des TaC

⇒ évolution morphologique (fragmentation des TaC)



**alliage Co2
initial**



**alliage Co2 après
400h à 1200°C**

Conséquences sur les comportements thermiques et mécaniques ?

Essais réalisés

Elaboration par fonderie de 4 alliages à \neq populations de TaC

% en masse	Co	Ni	Cr	C (visé)	Ta	W
Co2	reste	8,90	28,72	0,37	4,86	/
Co1	reste	8,80	29,1	0,22	3,15	6,95
Co3	reste	8,49	29,0	0,37	5,72	6,27
Co4	reste	8,59	29,3	0,49	8,20	/

Expositions à T suffisante (1200°C) pendant 25, 100 et 400 h

Quantification surfacique des carbures TaC ; analyses EDS

Calculs Thermo-Calc (v. N) suivant composition pour 1200°C ; comparaisons

Duretés à l'ambiante

Coefficients de dilatation thermique

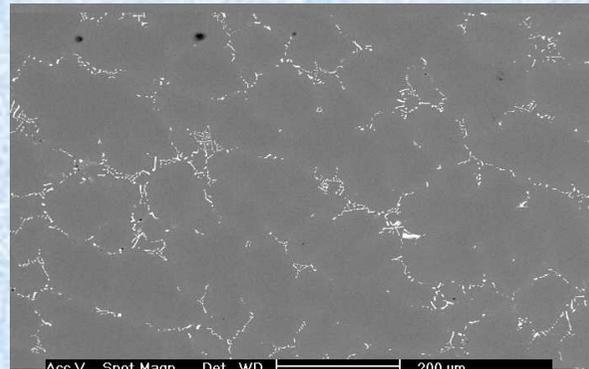
Essais de traction à 900, 1000 et 1100°C (Rm, Rp0,2, E, allgt)

Expositions à haute température

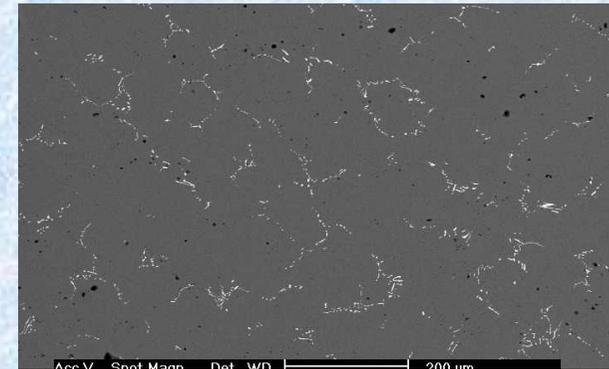
différents effets

sur les TaC :

Co1 : raréfaction

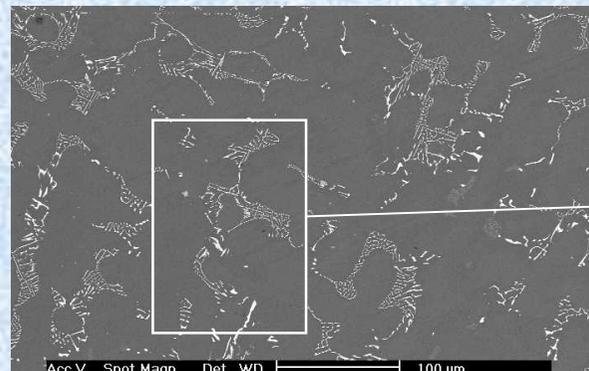


Co1 à l'état brut

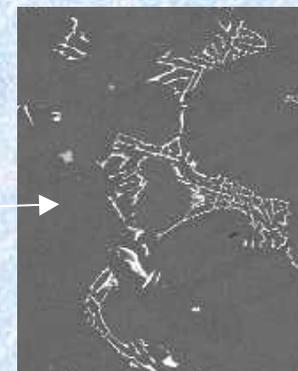


Co1 après 100 h à 1200°C

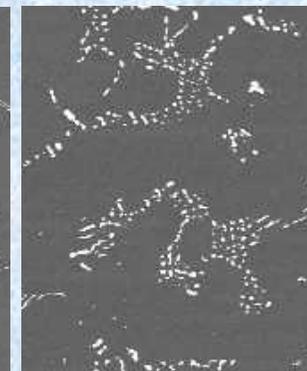
Co2 et Co3 :
fragmentation



Co3 à l'état brut

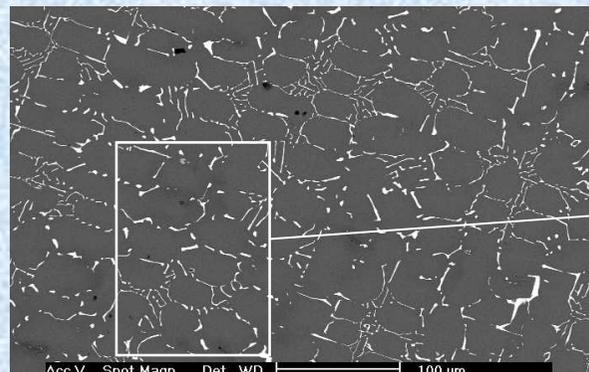


Co3 brut grossi 2 fois

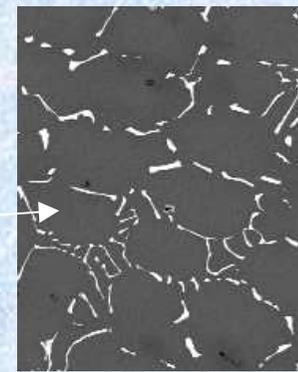


Co3 100h à 1200°C

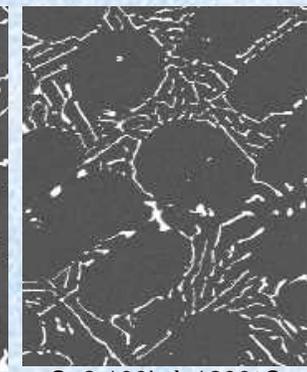
Co4 :
peu d'effet



Co4 à l'état brut



Co3 brut grossi 2 fois



Co3 100h à 1200°C

Comparaison avec la modélisation thermodynamique

analyse d'images (photos MEB)

+ analyses EDS au MEB

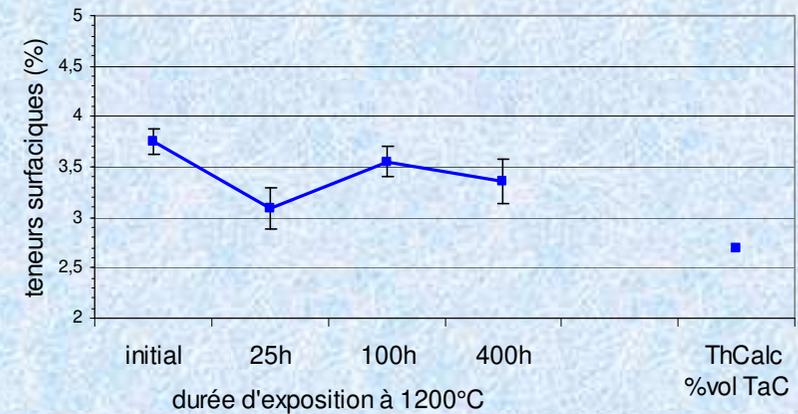


globalement, pour les 4 alliages :

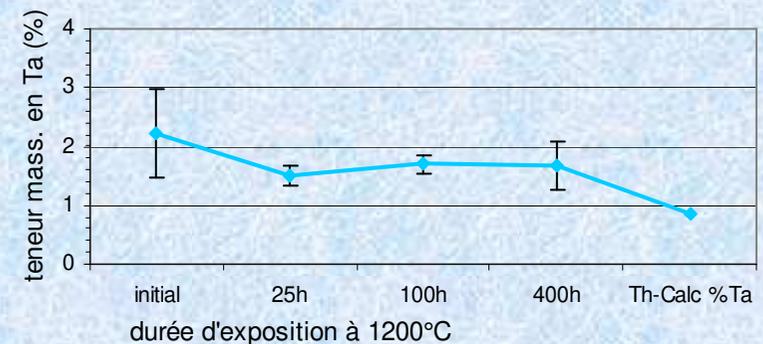
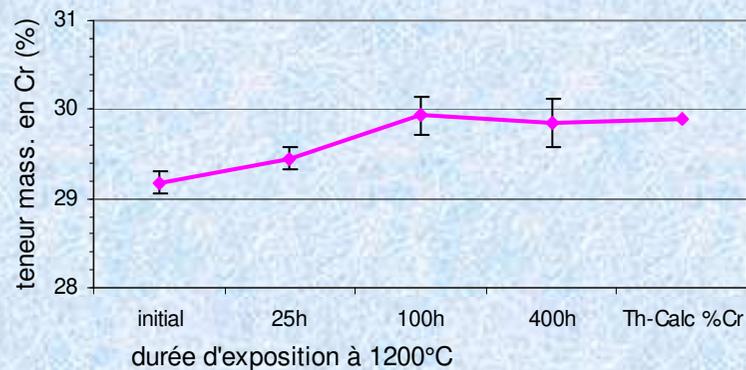
convergence vers les fractions TaC

et vers les compositions de matrice

(Cr, Ta) prévues par Thermo-Calc



$$f_{\text{mass}}(\varphi_j) = \frac{\rho_{\varphi_j} \cdot f_{\text{vol}}(\varphi_j)}{\sum_i (\rho_{\varphi_i} \cdot f_{\text{vol}}(\varphi_i))}$$



Résultats de dureté

La dureté Vickers 30kg est :

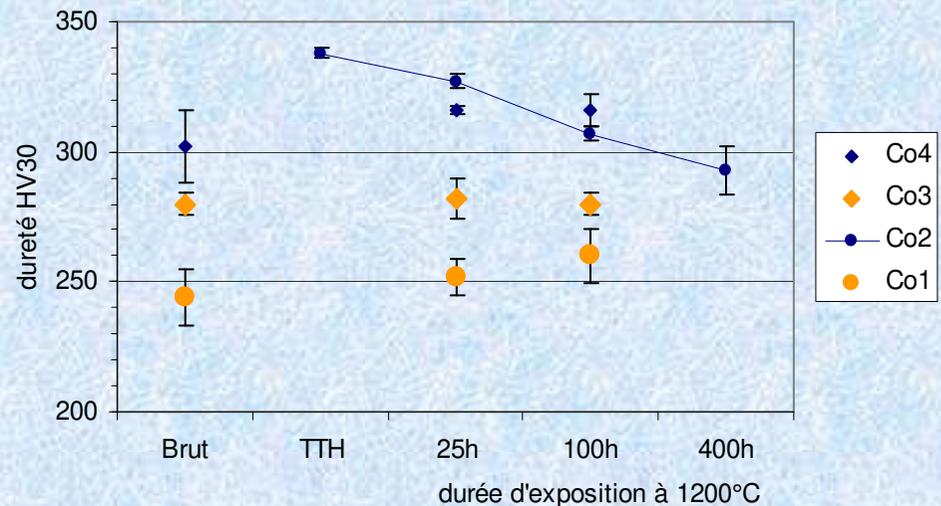
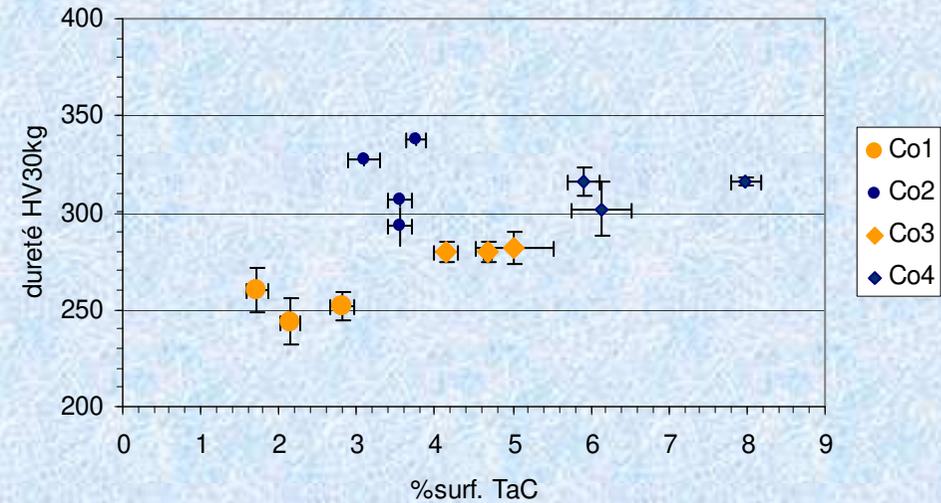
fonction croissante du %surf. de TaC

augmentée par le t. th. initial (Co2)

diminue avec la durée à 1200°C (Co2)

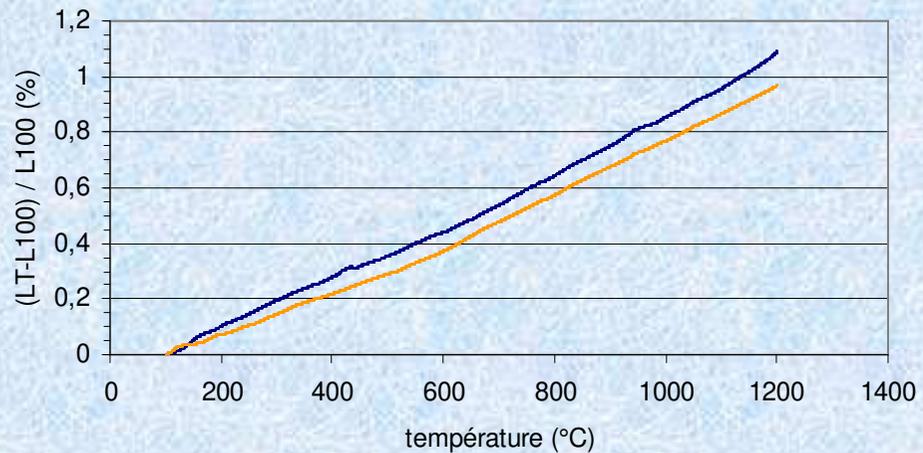
ou reste stable (autres alliages)

(microdureté Hv32g matrice : grande influence du dense réseau de carbures)

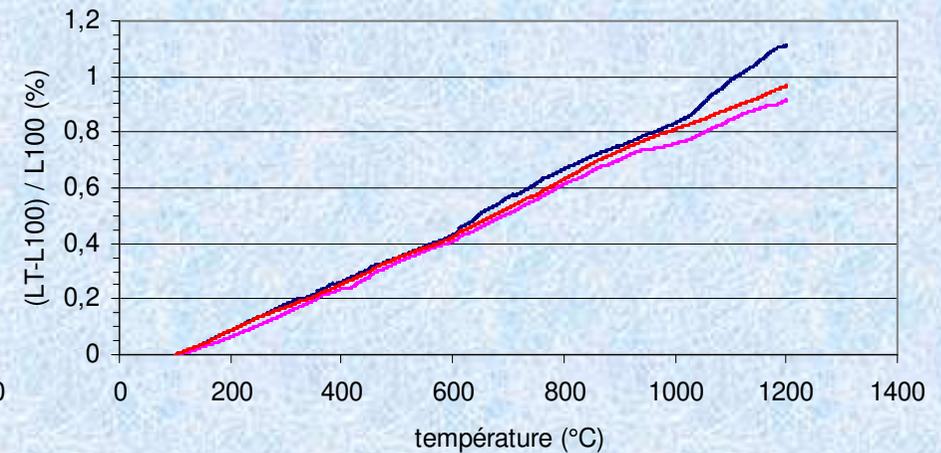


Résultats dilatométriques (1/2)

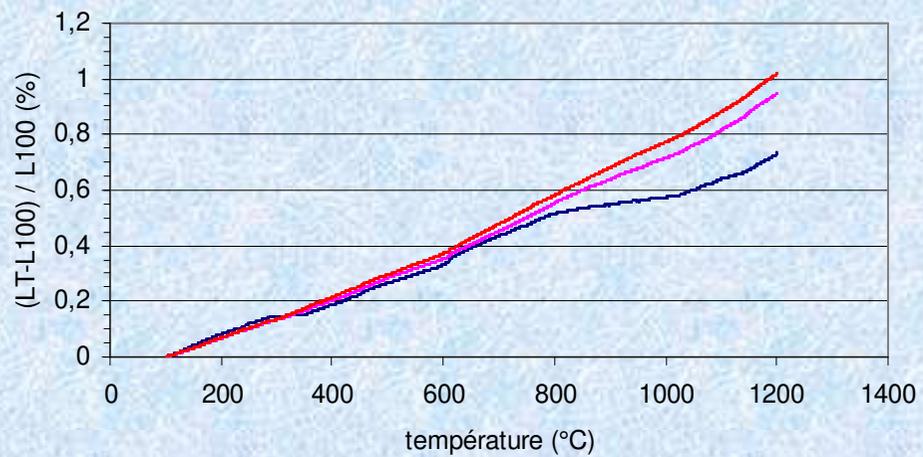
Courbes au chauffage : effet de la durée d'exposition à 1200°C



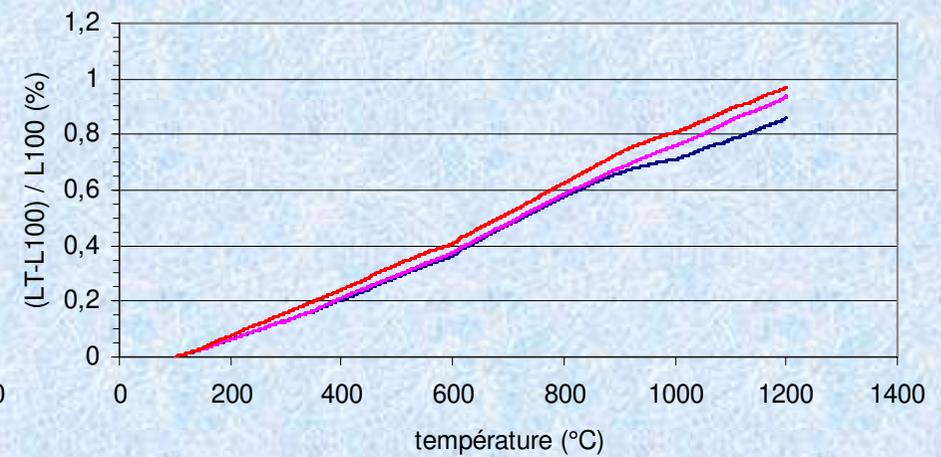
— Co2 brut — Co2 400h



— Co1 brut — Co1 25h — Co1 100h



— Co3 brut — Co3 25h — Co3 100h



— Co4 brut — Co4 25h — Co4 100h

Résultats dilatométriques (2/2)

Coefficients de dilatation ($10^6 \cdot \alpha$ en $^{\circ}\text{C}^{-1}$) :

Il existe deux zones sur chaque courbe : **100-600 $^{\circ}\text{C}$** et **600-1200 $^{\circ}\text{C}$**

0-600 $^{\circ}\text{C}$	Co1	Co2	Co3	Co4		600-1200 $^{\circ}\text{C}$	Co1	Co2	Co3	Co4
état brut (ou traité pour Co2)	8,57	8,90	7,38	7,61		état brut (ou traité pour Co2)	alpha non mesuré	10,71	alpha non mesuré	alpha non mesuré
exposé 25h à 1200 $^{\circ}\text{C}$	8,17	essai non réalisé	7,45	7,70		exposé 25h à 1200 $^{\circ}\text{C}$	8,45	essai non réalisé	9,91	9,27
exposé 100h à 1200 $^{\circ}\text{C}$	8,45	essai non réalisé	7,70	8,17		exposé 100h à 1200 $^{\circ}\text{C}$	9,02	essai non réalisé	10,82	9,37
exposé 400h à 1200 $^{\circ}\text{C}$	essai non réalisé	7,43	essai non réalisé	essai non réalisé		exposé 400h à 1200 $^{\circ}\text{C}$	essai non réalisé	9,95	essai non réalisé	essai non réalisé

Coefficient de dilatation \uparrow lorsque :

* **T mesure \uparrow**

* **% surf. TaC \downarrow**

* **durée à 1200 $^{\circ}\text{C}$ \uparrow**

Essais mécaniques (1/2)

caractéristiques de traction de Co2 à 900°C

effet de la durée d'exposition à 1200°C

Rm ↑, Rp0,2 ↑, Allgt ↓ quand %TaC ↑

Évolution Rm et Rp

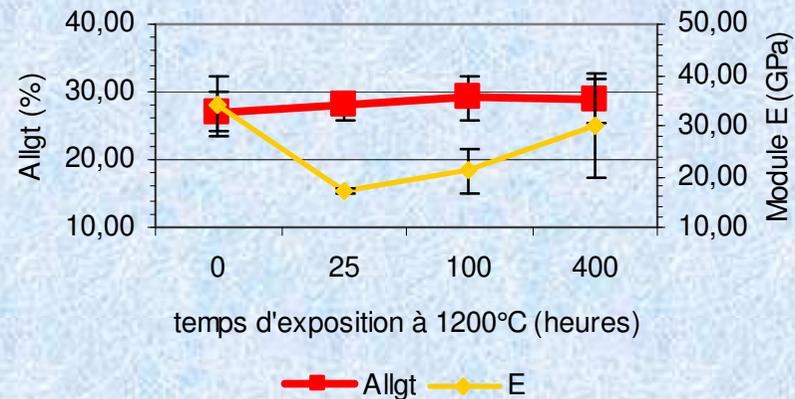
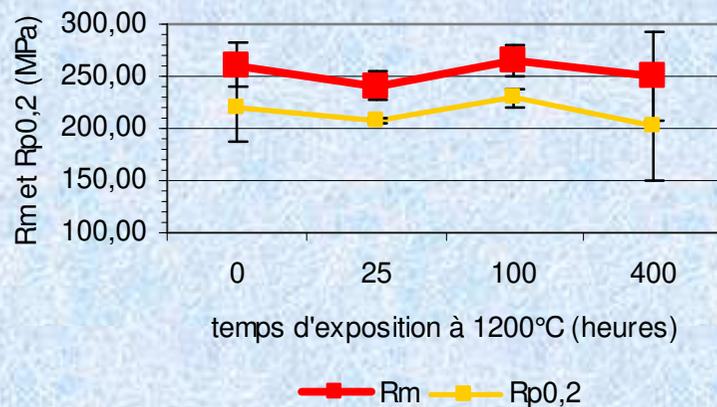
≅ celle de la fraction de TaC

Rôle du t.th. de durcissement et de Ta en sol.

Durcissement par Ta

de la solution solide Co

traction 900°C	Co1	Co2	Co3	Co4
Rm (MPa)	247	261	293	278
Rp0,2 (MPa)	183	220	226	248
Allgt (%)	38	27	28	27

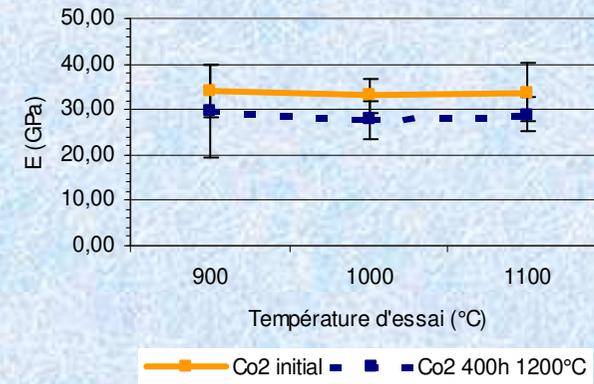
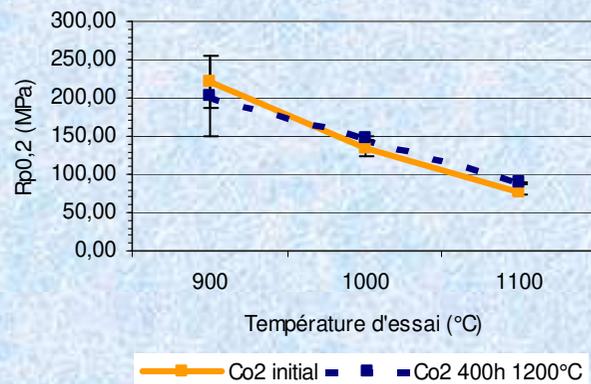
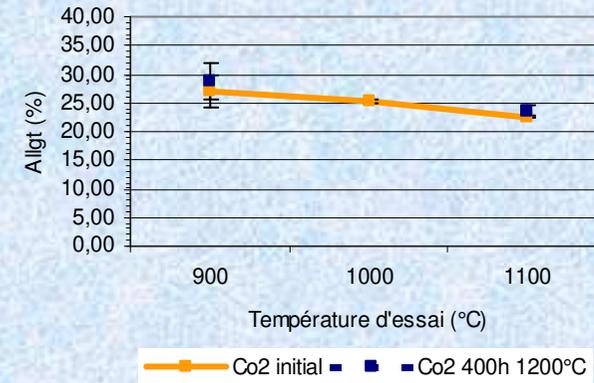
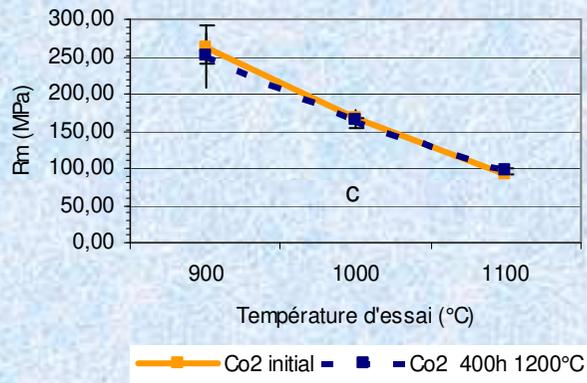


Essais mécaniques (2/2)

caractéristiques de traction de Co2 à plus haute T

effet d'une exposition de 400h à 1200°C : **peu sur Rm, Rp et Allgt**

sensible sur E



Synthèse / interprétations (1/2)

microstructure

- * % surfacique et intégrité des TaC évoluent à 1200°C, de ≠ manières :

convergence vers l'équilibre thermodyn. 1200°C

minimisation de l'énergie interfaciale

dureté

- * ↑ quand %TaC ↑ (entre alliages) mais peu d'effet de la fragmentation :

dureté phase TaC ($\cong 3000\text{Hv}$) \gg celles des matrice et alliages

dilatation thermique

- * \exists 2 régimes pour 2 intervalles en température :

hérités du cobalt 13 (25-500°C) à $23 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ (500-1000°C)

- * α ↑ quand %TaC ↓ et le degré de fragmentation ↑ :

les TaC imposent +/- leur faible α ($= 6 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ sur 20-1100°C)

traction à chaud

* $R_m \uparrow$, $R_{p0,2} \uparrow$, $Allg^t \downarrow$ quand $\%TaC \uparrow$ (entre alliages, à $900^\circ C$)

importance mécanique des TaC \forall leur morphologie

* R_m , $R_{p0,2}$, $Allg^t$ évoluent légèrement avec expo $1200^\circ C$ (Co2, $900 < T < 1100^\circ C$)

la fragmentation est sans conséquence sensible (essais à court terme)

comportement^{ts} en ductilité et fissuration indép^{ts} de la morphologie TaC

* E est sensiblement diminué avec expo $1200^\circ C$ (Co2, $900 < T < 1100^\circ C$)

la rigidité \downarrow avec la perte croissante de continuité du réseau TaC

($E=285 GPa$ à $20^\circ C$)

Conclusion

Travail à très haute température des alliages base Co renforcés TaC

⇒ changements TaC possibles

⇒ s'il y en a : chg^t surtout morphologiques

⇒ peu de conséquences sur le comportement en traction à chaud

⇒ effets sur la dilatation thermique et sur la rigidité de l'alliage

Pas de perte de propriétés mécaniques à chaud (traction statique)

Augmentation des risques associés aux chocs thermiques

ou aux hétérogénéités fortes en température

Incidence sur le fluage ?