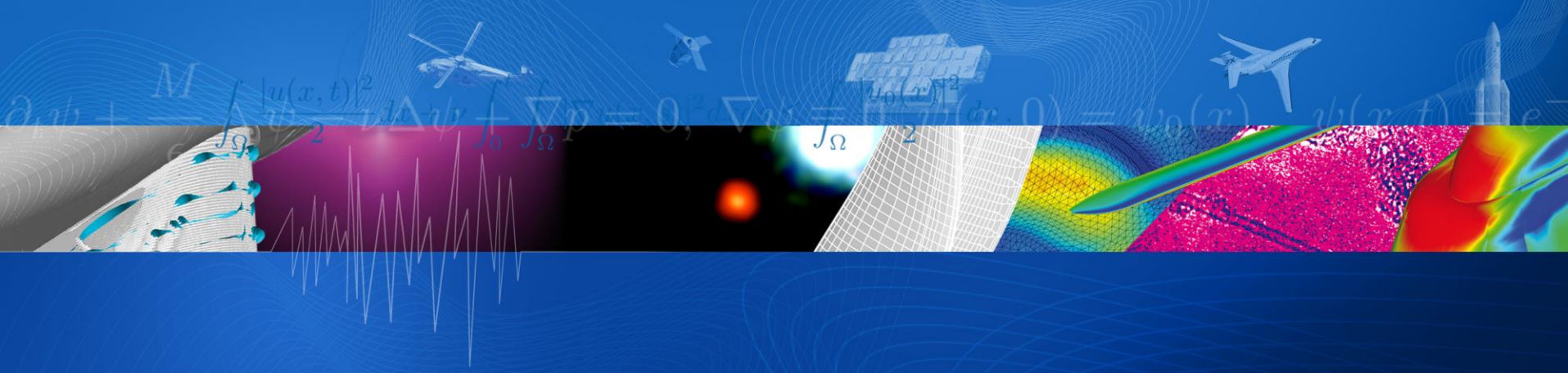
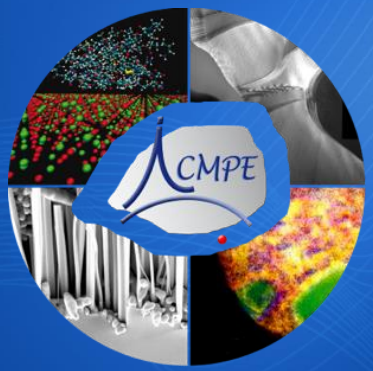


Ségrégation à la solidification dans des alliages ternaires Ti-Al-W

Thomas Vaubois[1], Mikael Perrut[1], Jean-Marc Joubert[2]

[1] Onera – The French Aerospace Lab, Châtillon
[2] – ICMPE/CMTR, Thiais



ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB

Journées du Gdr TherMatHT
Vendredi 12 Janvier 2018

Ségrégation à la solidification dans le cas d'alliage Ti-Al-W

Introduction – Contexte

I. Étude expérimentale du système ternaire Ti-Al-W

- Démarche
- Relation composition-microstructure

II. Ségrégation à la solidification dans des alliages Ti-Al-W

- Voies de solidification des alliages TiAl
- Micro-ségrégation
- Influence de la lacune de miscibilité de la phase β

Conclusion

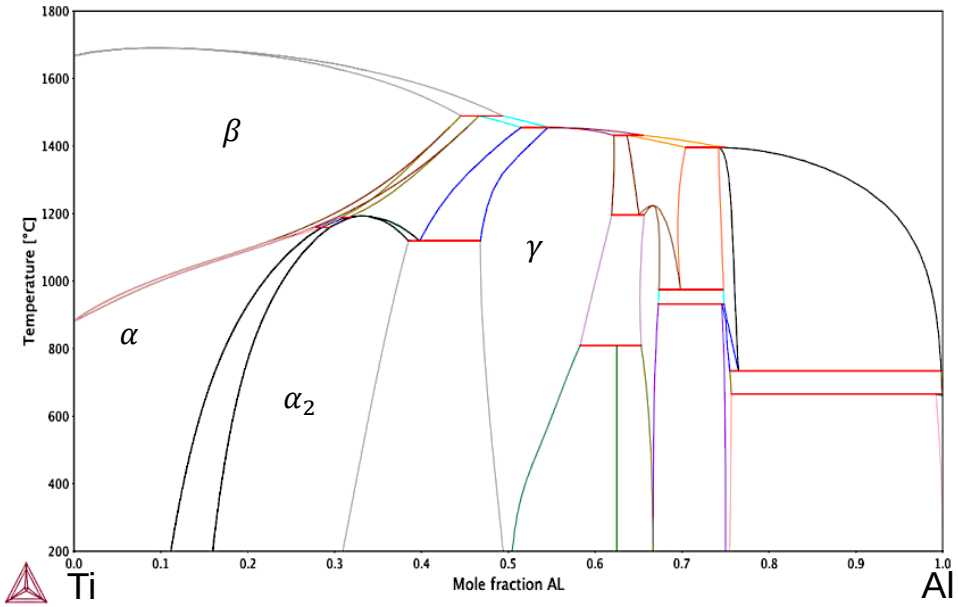
Contexte

- Utilisation d'alliages base TiAl pour des applications aéronautiques telles que des aubes de turbines basses pression.
- Intérêt pour additions d'éléments réfractaires (Nb, W) pour accroitre la température de fonctionnement.
- Système ternaire Ti-Al-W relativement méconnu.

Turboréacteur LEAP (CFM International, 2014)

Le système binaire TiAl

Diagramme binaire Ti-Al [1]



Principales phases

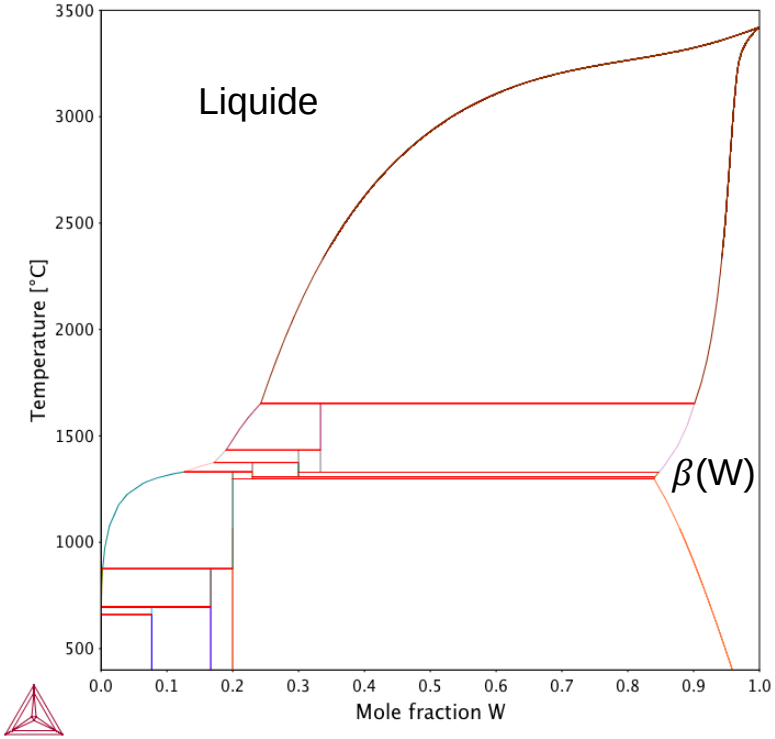
Phase	Structure cristallographique
α	hexagonale compacte *(A3)*
α_2 *(Ti_3Al)*	hexagonale *($D0_{19}$)*
β	cubique centrée *(A2)*
β_0	cubique *(B2)*
γ *(TiAl)*	quadratique *($L1_0$)*

[1] V. Witusiewicz, A. Bondar, U. Hecht, S. Rex, and T. Velikanova, “The Al–B–Nb–Ti system : III. Thermodynamic re-evaluation of the constituent binary system Al–Ti,” *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 465, no. 1–2, pp. 64 – 77, 2008.

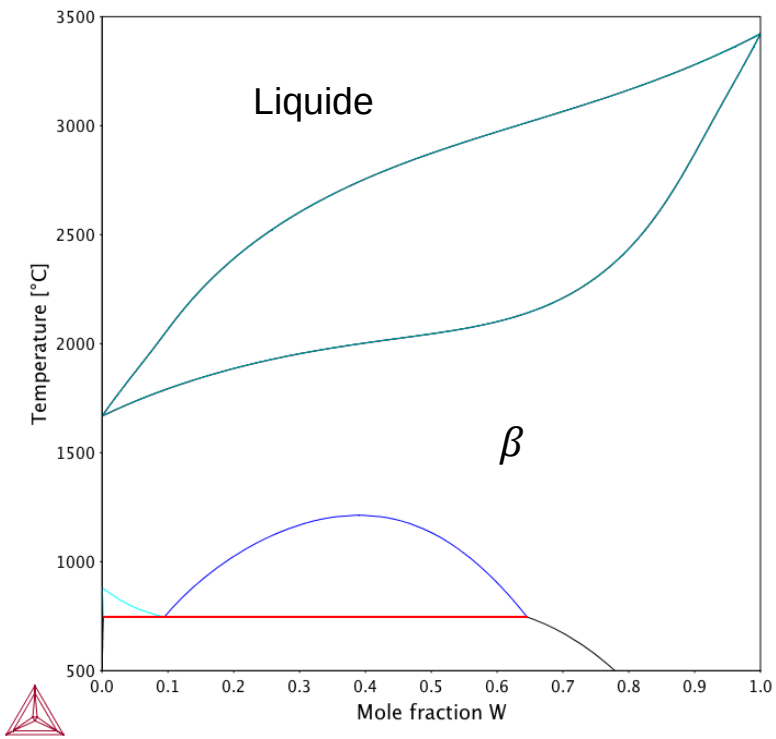
Les diagrammes binaires

- Selon données thermodynamiques COST 507 [2]

Al-W



Ti-W

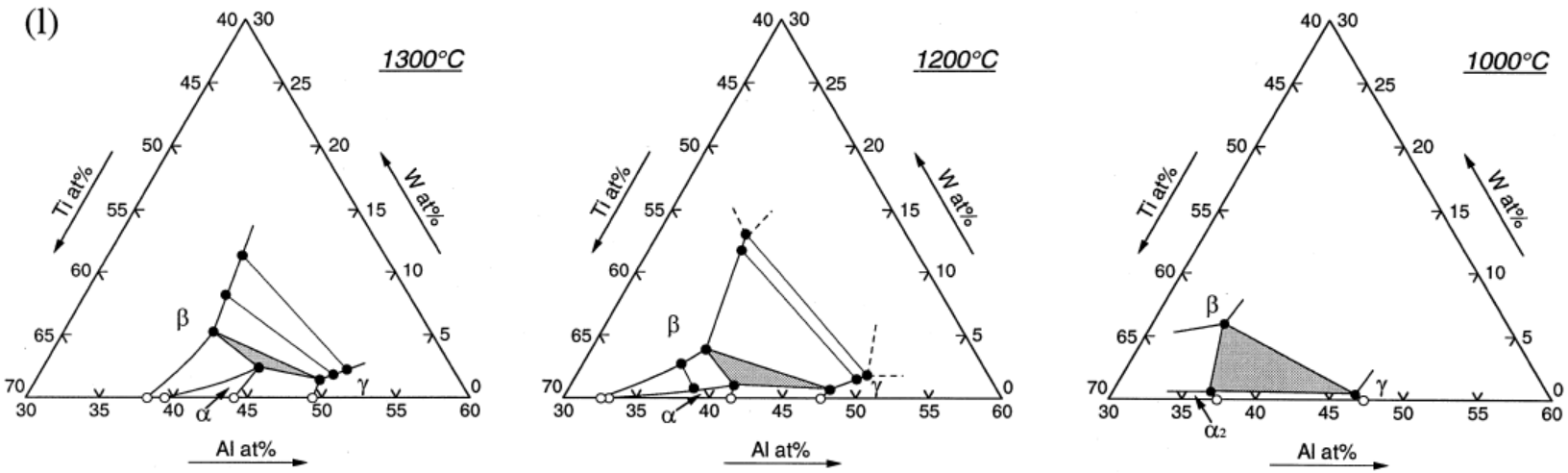


[2] COST 507: *Thermochemical database for light metal alloys (Volume 2),* 1998

Introduction - Enjeux

- Connaissance du système ternaire Ti-Al-W partielle [3]

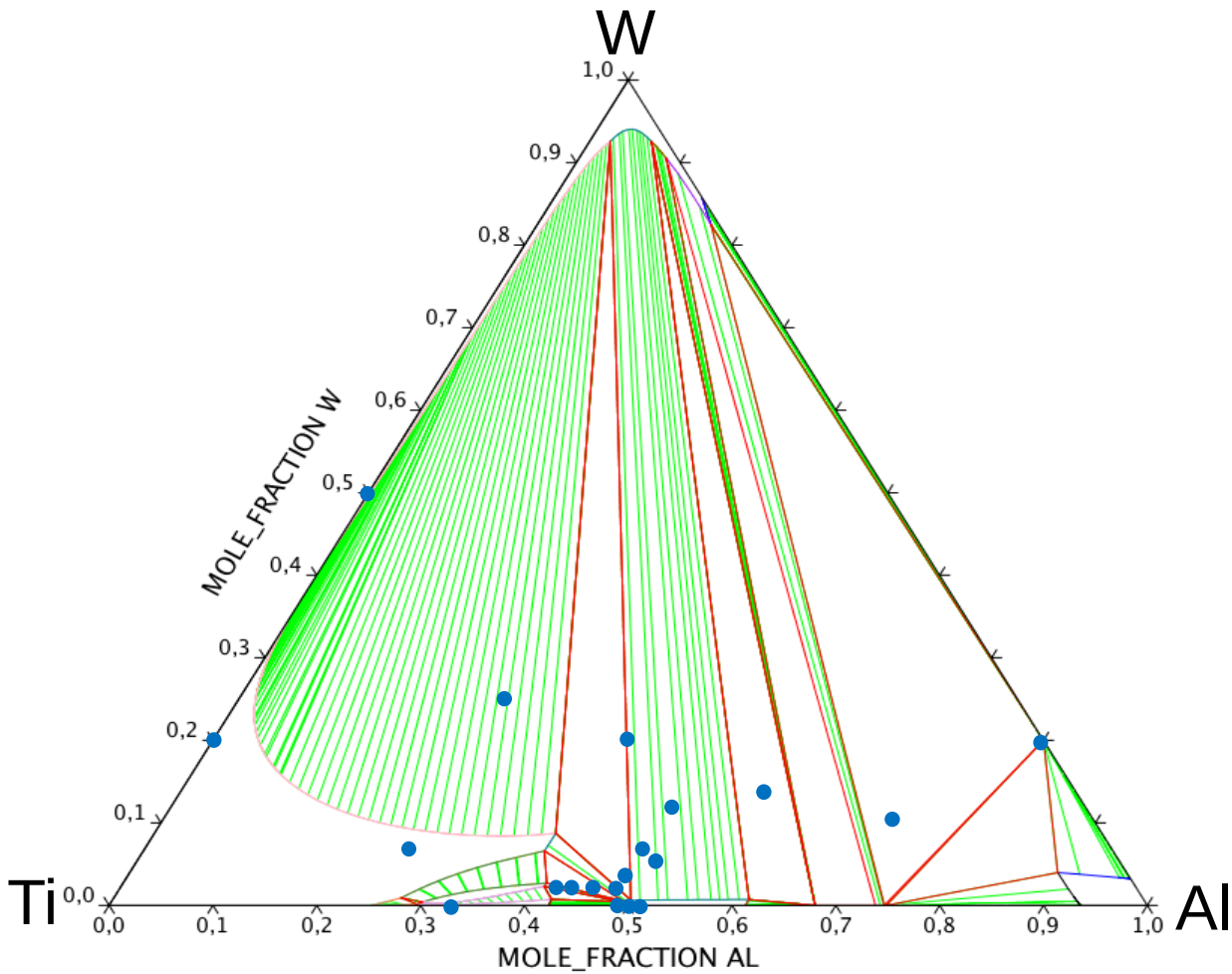
- Optimisation de la description CALPHAD (*CALculation of PHAse Diagrams*) de ce système.



[3]. Kainuma et al. « Phase equilibria among α(hcp), β(bcc) and γ(L10) phases in Ti–Al base ternary alloys. » *Intermetallics, vol. 8, no. 8, pp. 855–867, 2000.*

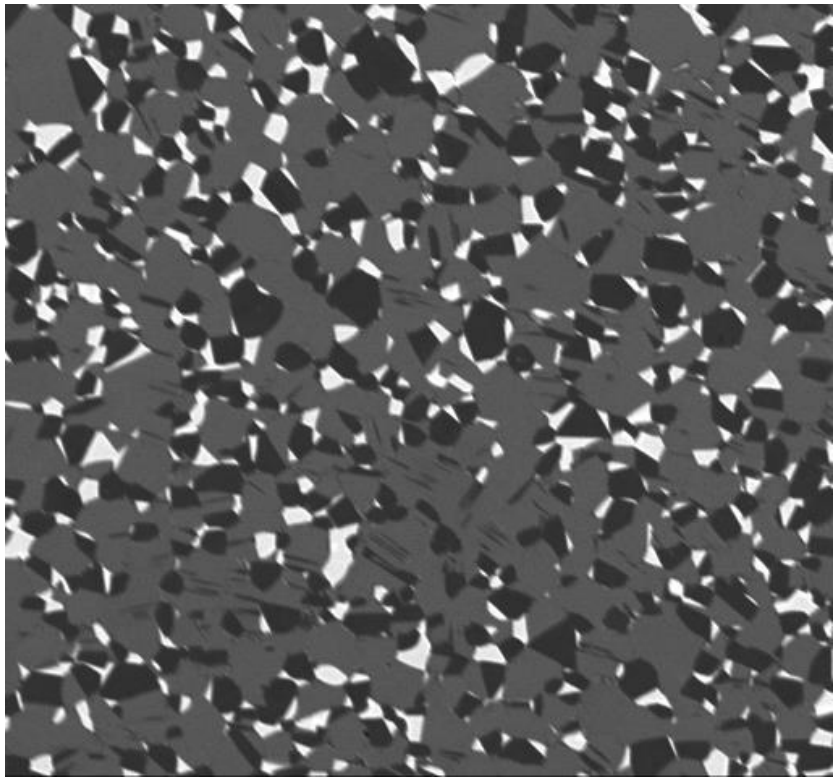
I) Étude expérimentale du système ternaire Ti-Al-W

- Section isotherme à 1200°C [2]



I) Démarche – Analyse EDS et analyse d'images

Nuance $Ti_{53}Al_{45}W_2$



Filé à 1250°C puis traité à 1300°C/4heures, trempe air

Analyse EDS

Moyenne de 7 résultats obtenus par analyse EDS avec standard

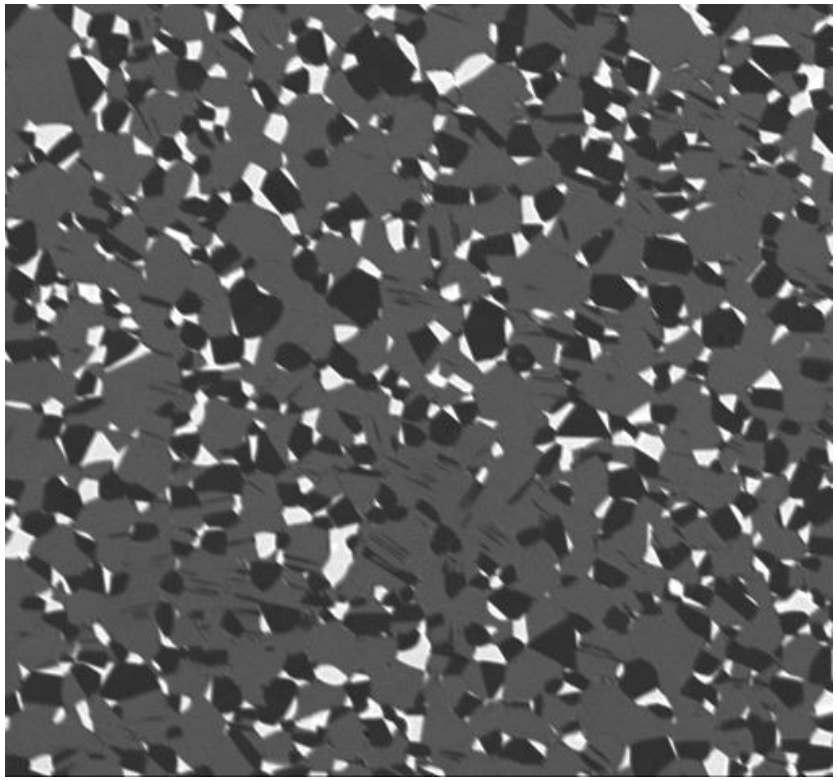
Domaine sondé	Teneur en Ti (%.at)	Teneur en Al (%.at)	Teneur en W (%.at)
β	57,2	37,7	5,1
α	55	43,1	1,9
γ	50,8	48,0	1,2

Analyse d'images

Phase	β	γ	α
Fraction volumique	11,7	32,1	56,2

I) Démarche – Analyse EDS et analyse d'images

Nuance $Ti_{53}Al_{45}W_2$



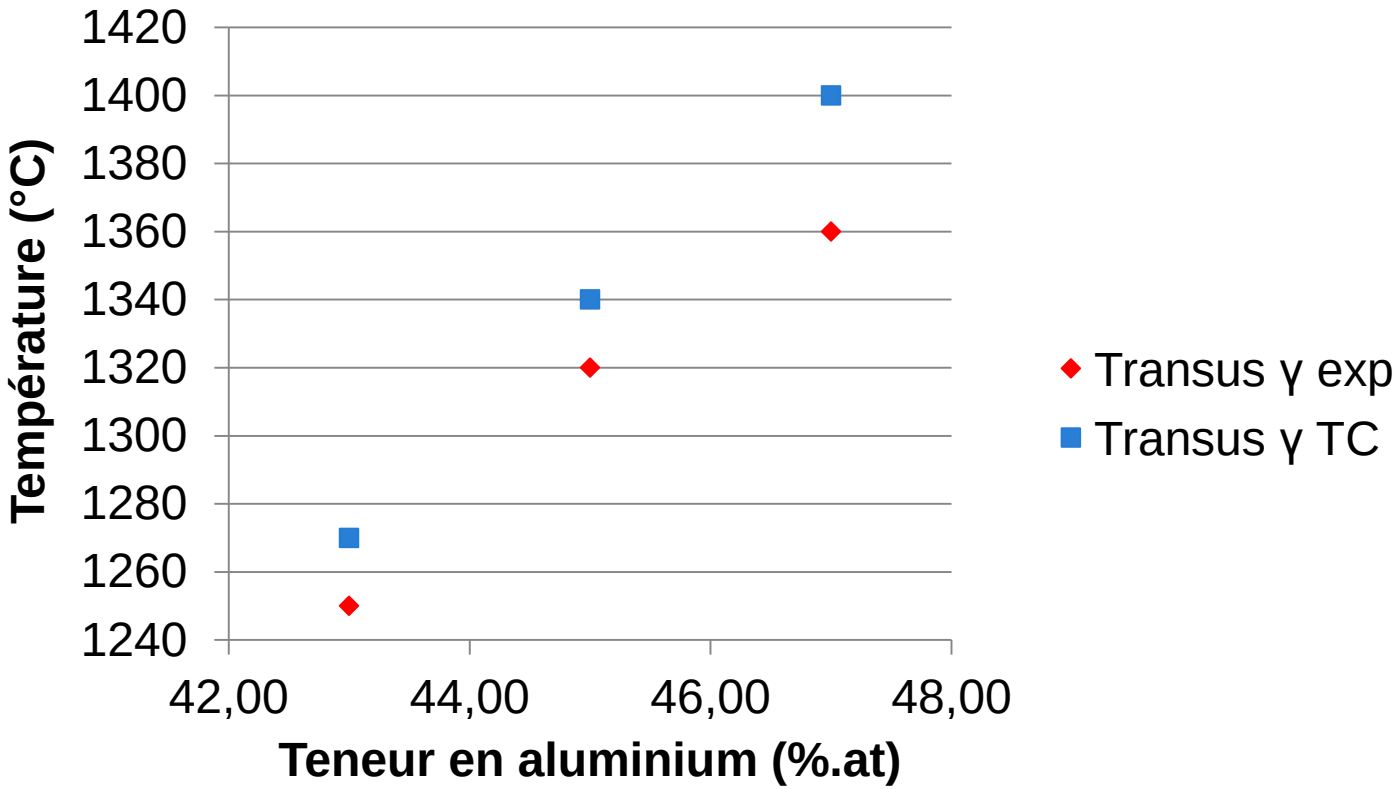
Filé à 1250°C puis traité à 1300°C/4heures, trempe air

Bilan

	Teneur en Ti (%.at)	Teneur en Al (%.at)	Teneur en W (%.at)
Composition attendue	53,0	45,0	2,0
Composition calculée	52,8	45,3	1,9

I) Étude expérimentale du système ternaire Ti-Al-W – Influence de l'aluminium

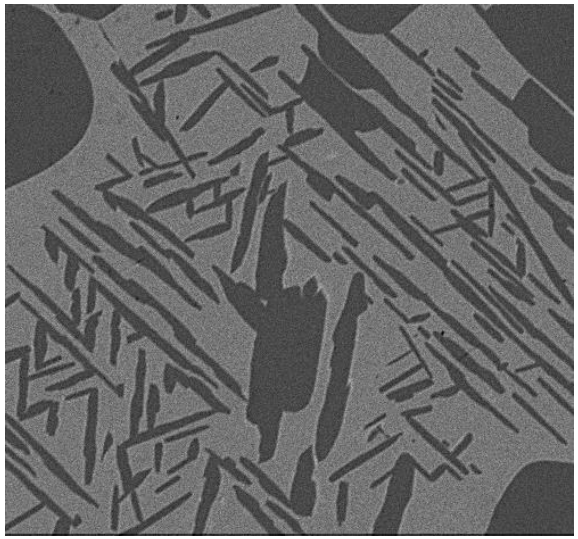
- Influence de l'aluminium sur le transus gamma pour un alliage à 2%.at de tungstène : Comparaison entre données COST et résultats expérimentaux



=> Décrochage vers les hautes teneurs en Al

Influence de l'aluminium sur le transus gamma pour un alliage à 2%.at W

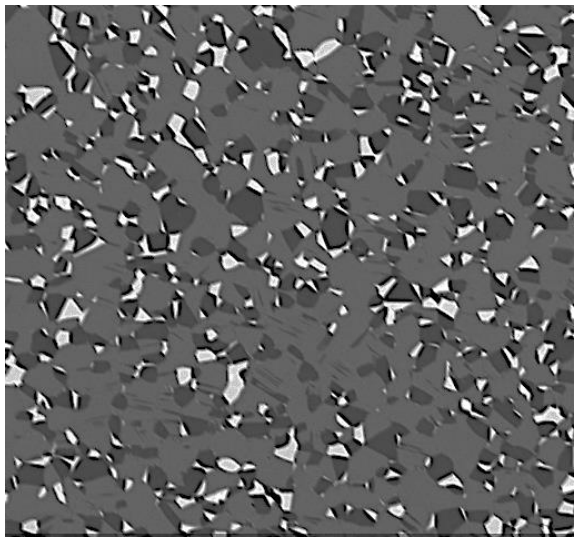
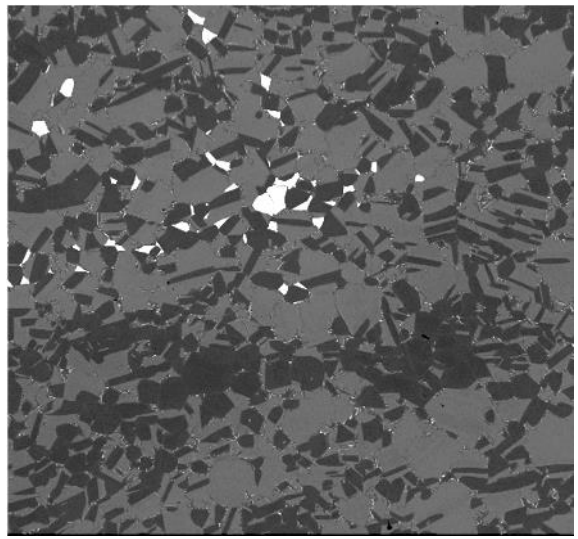
- Caractérisation microstructurale de l'évolution de la fraction de phase gamma à 1300°C

$Ti_{55}Al_{43}W_2$	$Ti_{53}Al_{45}W_2$	$Ti_{51}Al_{47}W_2$
		

40µm

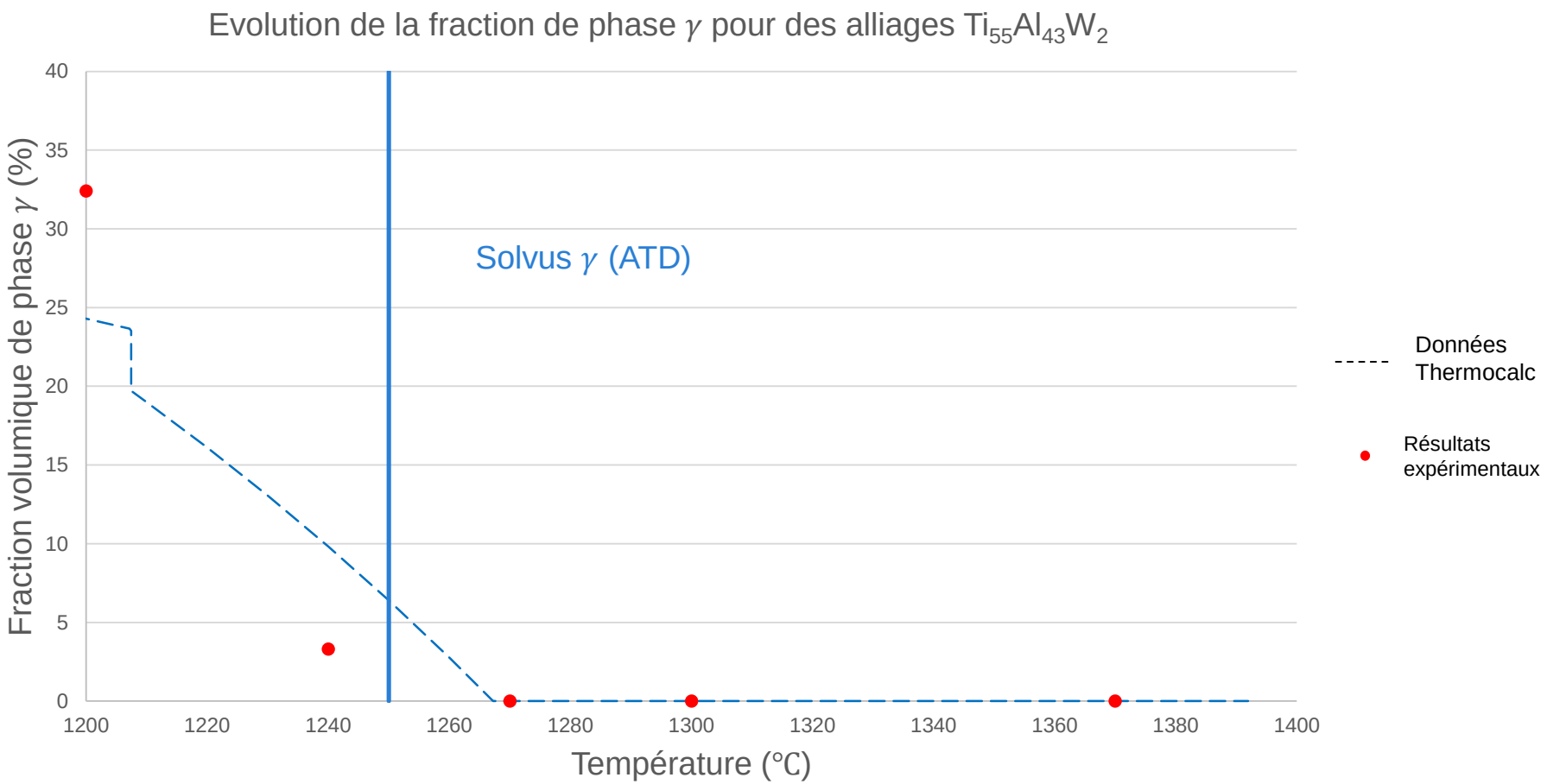
Influence de l'aluminium sur le transus gamma pour un alliage à 2%.at W

- Caractérisation microstructurale de l'évolution de la fraction de phase gamma à 1300°C

$Ti_{55}Al_{43}W_2$	$Ti_{53}Al_{45}W_2$	$Ti_{51}Al_{47}W_2$
		

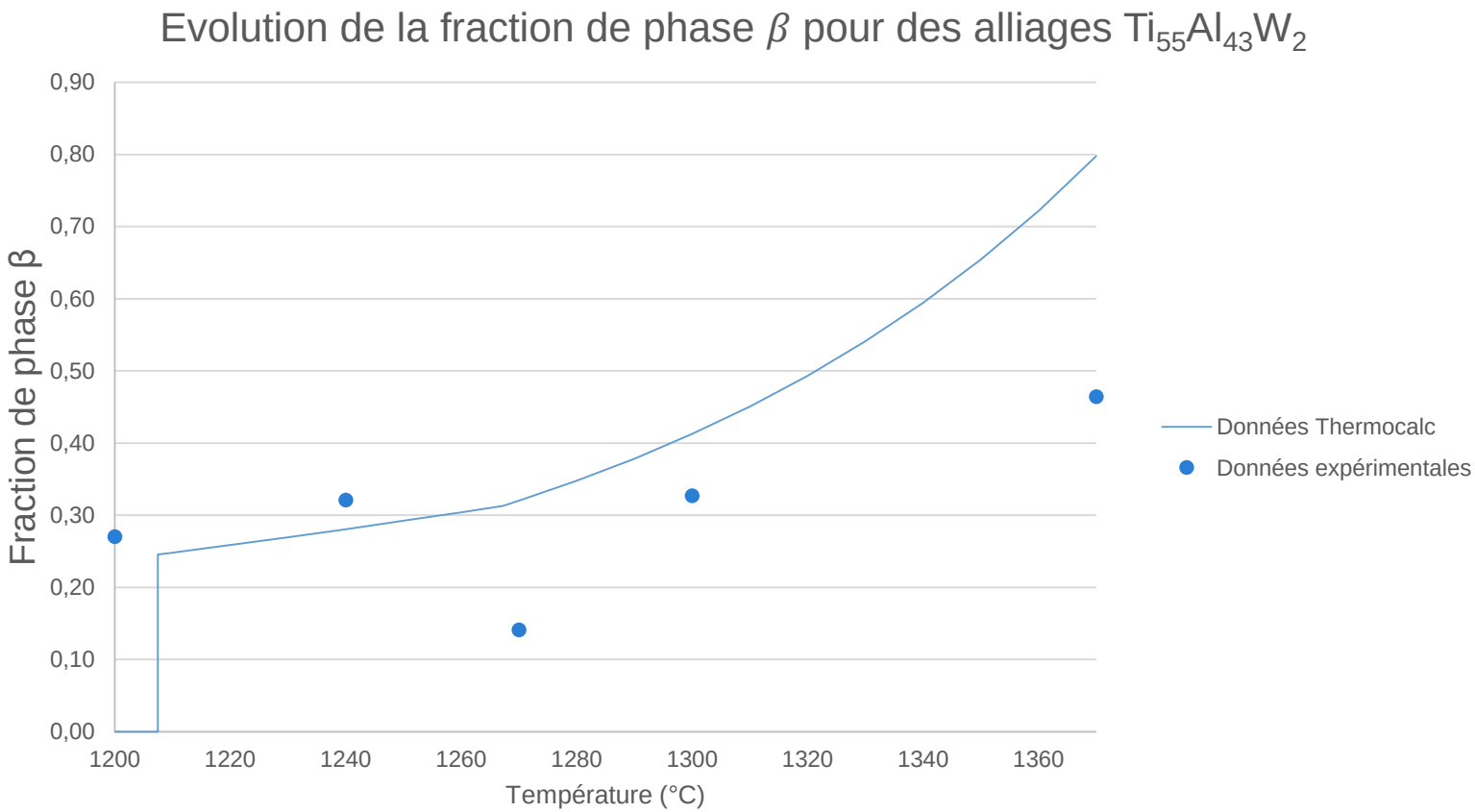
40µm

Démarche – Échantillons à 43%.at d'aluminium et 2%.at de tungstène



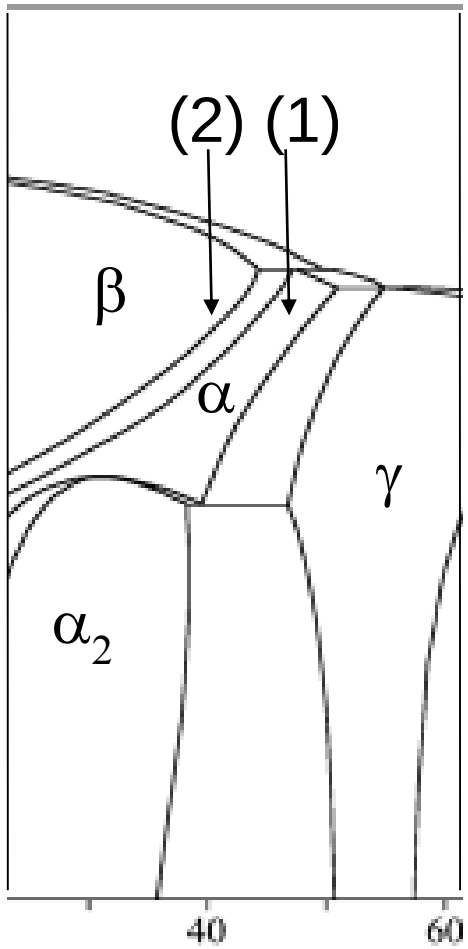
Stabilité en température du transus γ en comparaison d'un alliage TiAl classique.

Démarche – Échantillons à 43%.at d'aluminium et 2%.at de tungstène



- Accroissement significatif de la stabilité de la phase β en comparaison d'alliages TiAl conventionnels

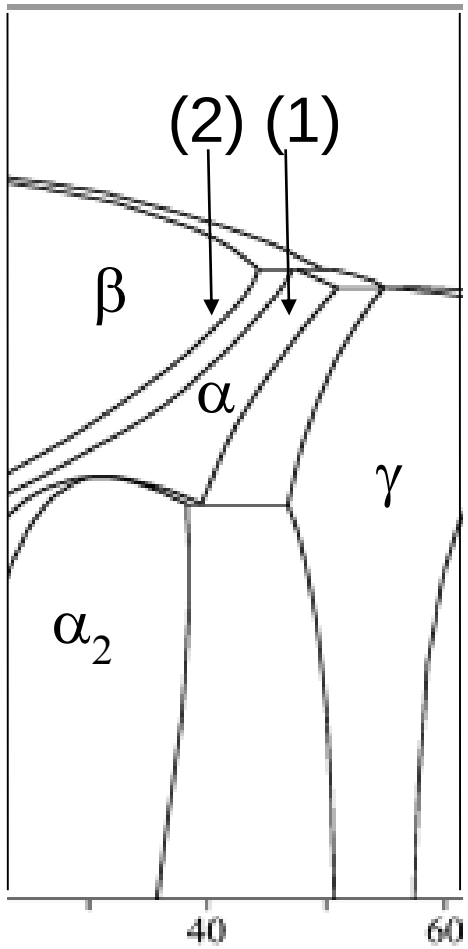
II) 2 Voies de Solidification



II) 2 Voies de Solidification

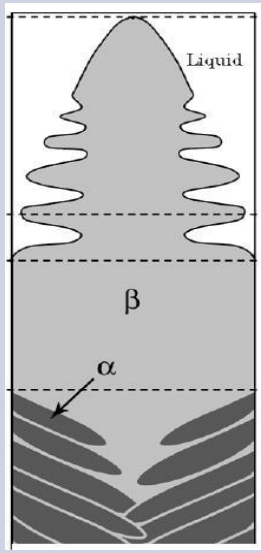
Solidification via la phase α

Réaction péritectique : Un seul grain α par dendrite *(simulation champ de phase)*

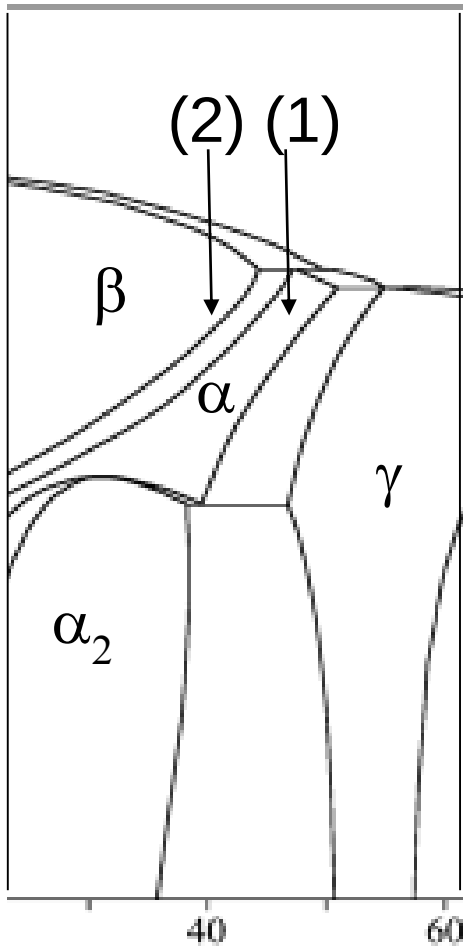


II) 2 Voies de Solidification

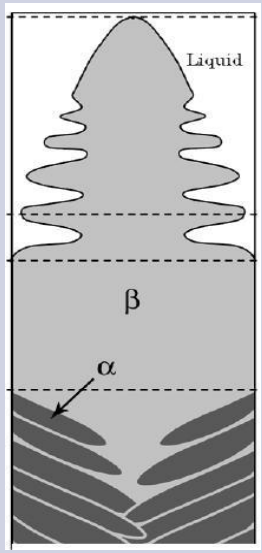
Solidification via la phase β

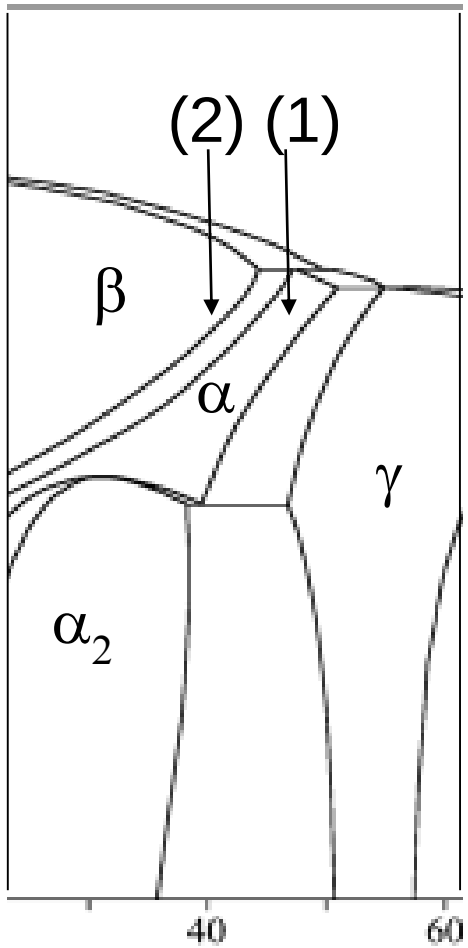


Formation solide-solide de lattes α (12 variants possibles par grain β)

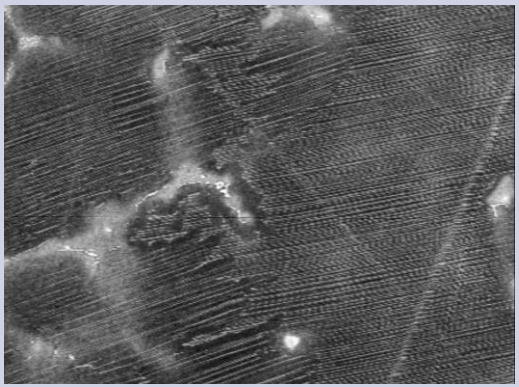
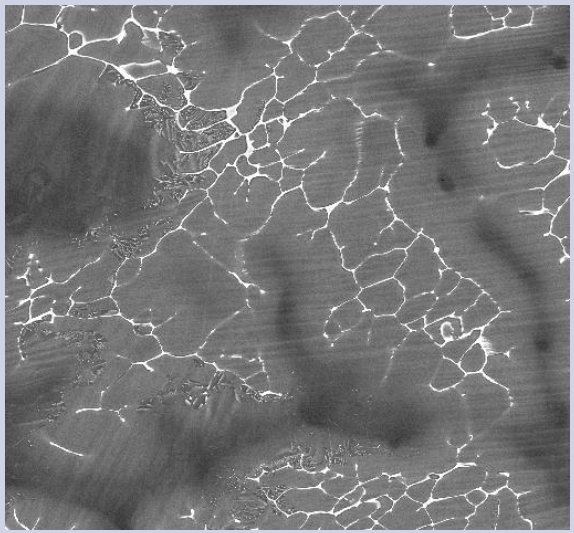


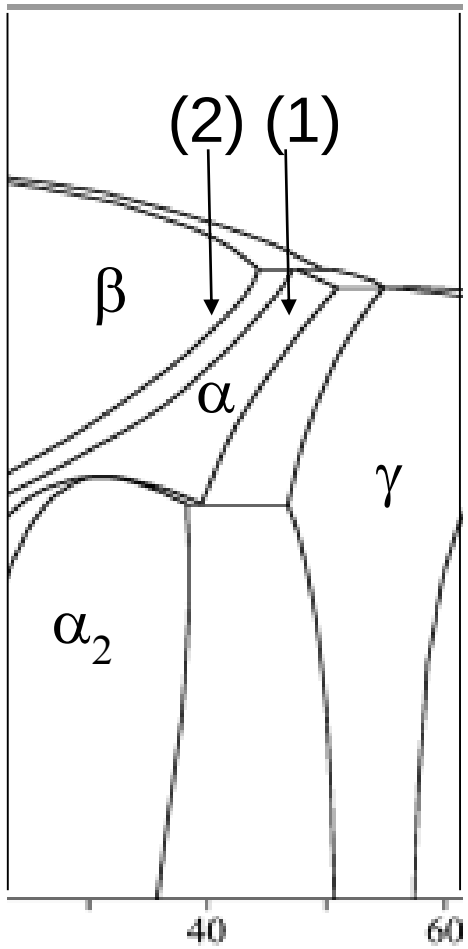
II) 2 Voies de Solidification

Solidification via la phase α	Solidification via la phase β
	
Réaction péritectique : Un seul grain α par dendrite *(simulation champ de phase)*	Formation solide-solide de lattes α (12 variants possibles par grain β)



II) 2 Voies de Solidification

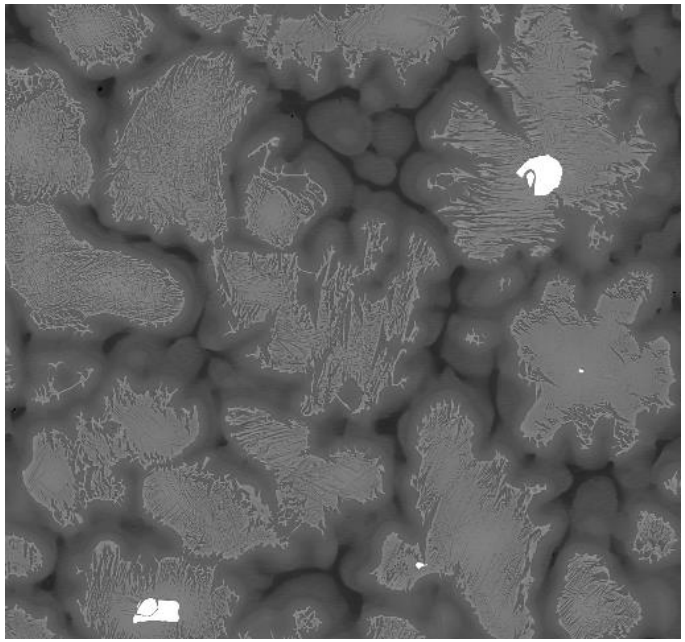
Solidification via la phase α	Solidification via la phase β
 50 µm	 40 µm



Effet de texture : Impact sur les propriétés mécaniques

Ségrégation à la solidification

Nuance $Ti_{47}Al_{47}W_6$



A haute température => Phase liquide
Germination d'une première phase β ($β_1$) riche en tungstène à partir du liquide
Formation d'une phase β secondaire ($β_2$), à teneur en tungstène plus faible, à partir du liquide et des grains de $β_1$ => **Réaction péritectique**
Réaction entre le liquide et la phase solide $β_2$ pour former la phase α
Troisième réaction péritectique : Formation de la phase γ ayant une teneur en tungstène faible

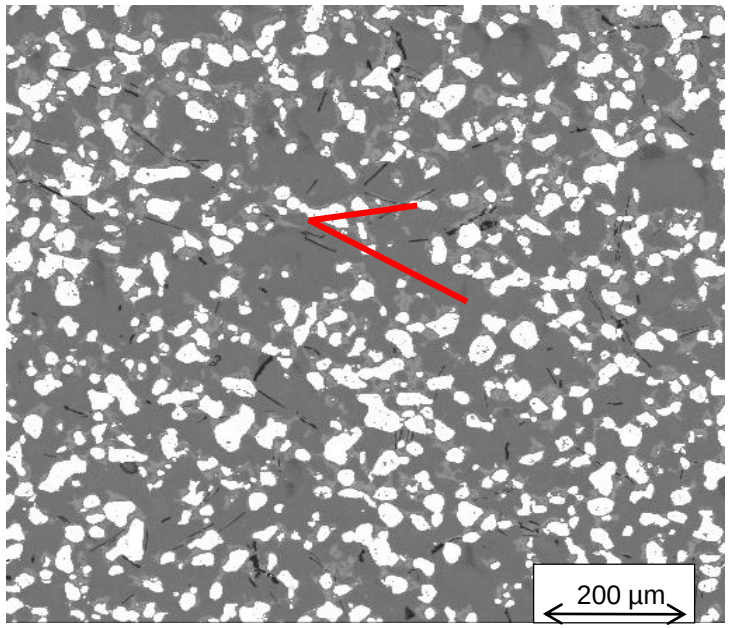
Ségrégation à la solidification – Nuance $Ti_{40}Al_{48}W_{12}$

Observation de la décomposition de la phase en deux phases distinctes :

- L'une riche en W
- L'autre riche en Ti

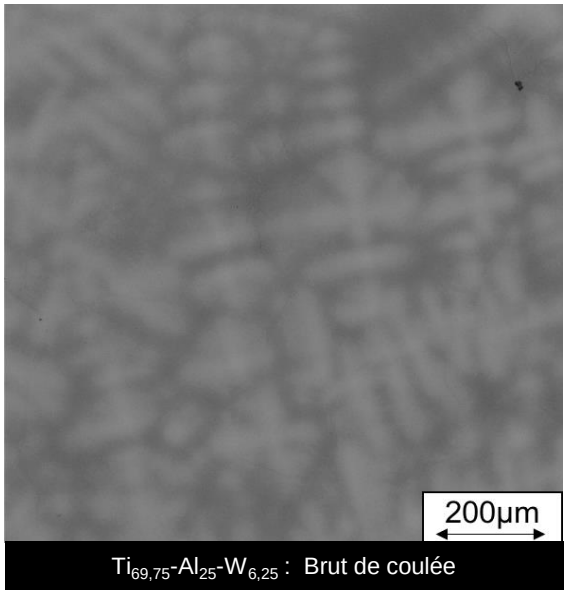
Phase primaire cubique β très riche en W (~ 70 at.%)

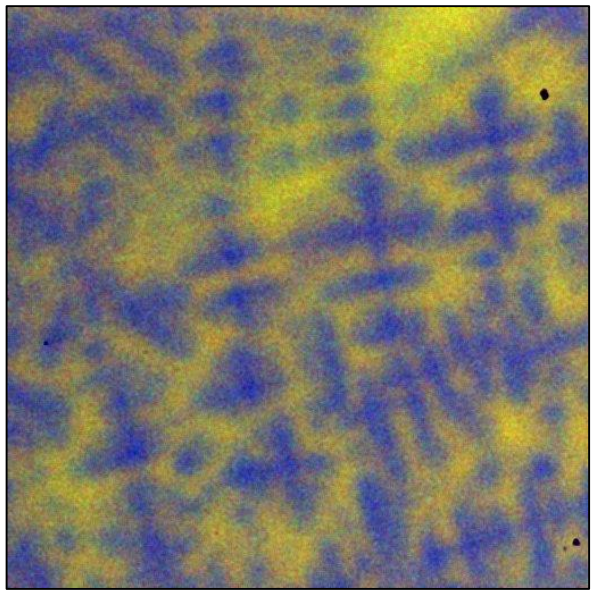
$k_W = C_{Sol}/C_{Liq} \sim 6$

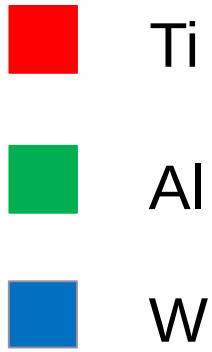


Ti_{40}-Al_{48}-W_{12} : brut de coulée

Ségrégation à la solidification – Cas d'un alliage de composition $Ti_{68,75}$-Al_{25}-$W_{6,25}$







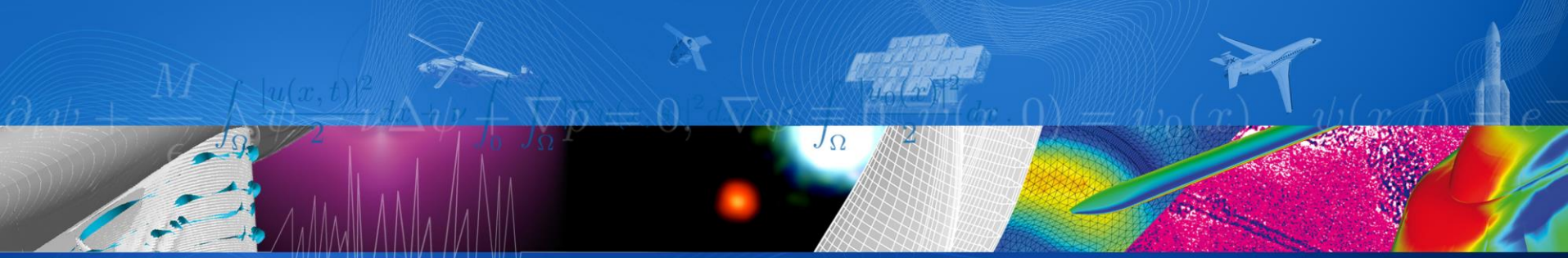
- Solidification monophasée β
- Forte concentration du tungstène en cœur de dendrite
- Rejet du titane vers le liquide

Conclusion

- Ecarts significatifs entre les données thermodynamiques et nos résultats expérimentaux.

- Nécessité de compléter notre étude du système ternaire Ti-Al-W par des analyses complémentaires (MET, DRX in-situ,…).

- Décomposition de phase β : phénomène complexe et ayant une influence forte sur la solidification.



Merci pour votre attention !

ONERA

THE FRENCH AEROSPACE LAB