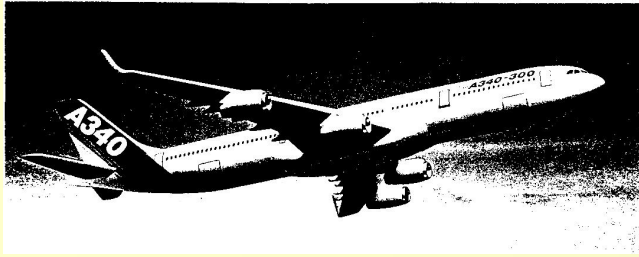


**PREVISION DE L'EVOLUTION
MICROSTRUCTURALE
DE SUPERALLIAGES A HAUTE
TEMPERATURE**

P. Berthod, S. Michon, L. Aranda, J.C. Gachon

Laboratoire de Chimie du Solide Minéral
UMR7555 – BP239
Faculté des Sciences, Université Henri Poincaré Nancy 1
54506 Vandoeuvre-lès-Nancy - FRANCE



INTRODUCTION

superalliages

élaboration -> structure hors équilibre

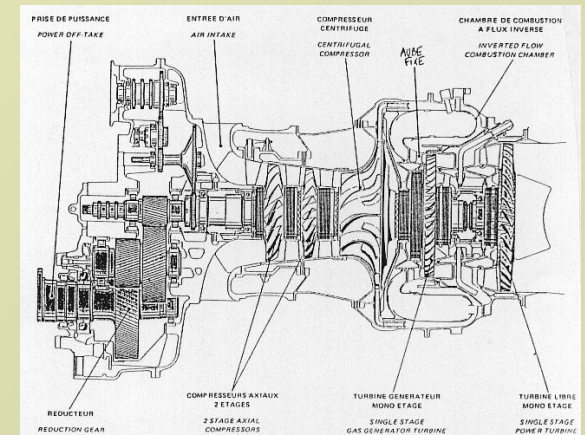
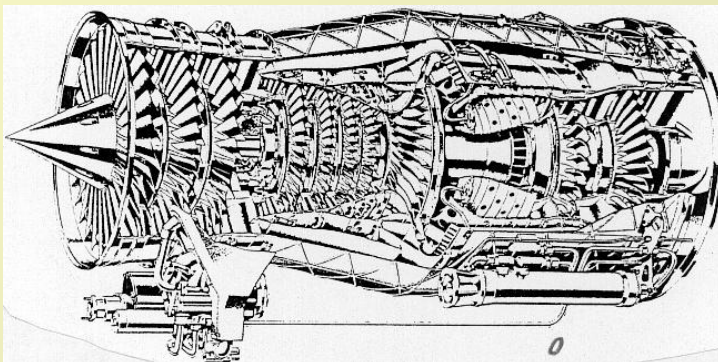
utilisation à très haute température

($T > 1000^{\circ}\text{C}$, turbines aéro. , terrestres)

et donc :

évolution microstructurale

vers l'état d'équilibre
thermodynamique à T



Vers quelle microstructure l'alliage converge-t-il ?



Que deviennent les propriétés initiales ?

MODELISATION THERMODYNAMIQUE EQUILIBRE DE PHASES

composition chimique  structure à long terme

ou

composition chimique  microstructure voulue
sur le long terme

PRINCIPE

COMPOSITION CHIMIQUE

élaboration
de l'alliage

calculs
thermodynamiques

expositions à H.T.
analyse micrographique
analyse thermique

COMPARAISONS

nature des phases
fractions volumiques

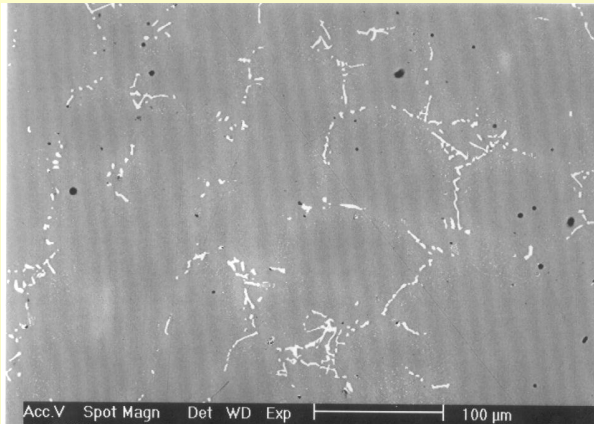
T_{solidus}



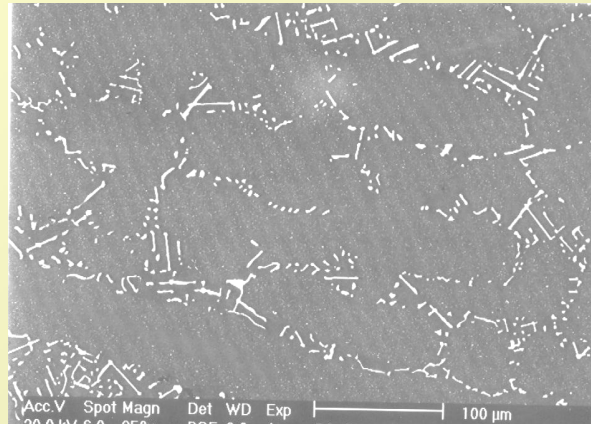
ELABORATION DE 5 SUPERALLIAGES BASE COBALT PAR FONDERIE

Composition	Co	Ni %m	Cr %m	C %m	W %m	Ta %m
Cobalt 1	reste	8.6	28	0.22	5.8	3.0
Cobalt 2	reste	8.7	28	0.37	/	5.8
Cobalt 3	reste	8.9	29	0.49	/	8.5
Cobalt 4	reste	8.5	29	0.38	5.8	3.0
Cobalt 5	reste	8.9	29	0.98	/	5.8

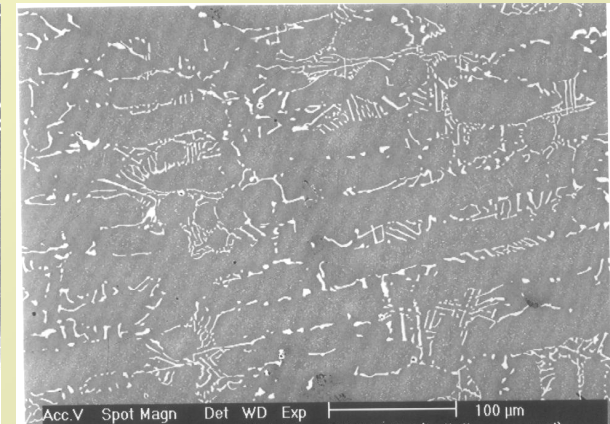
MICROSTRUCTURES OBTENUES



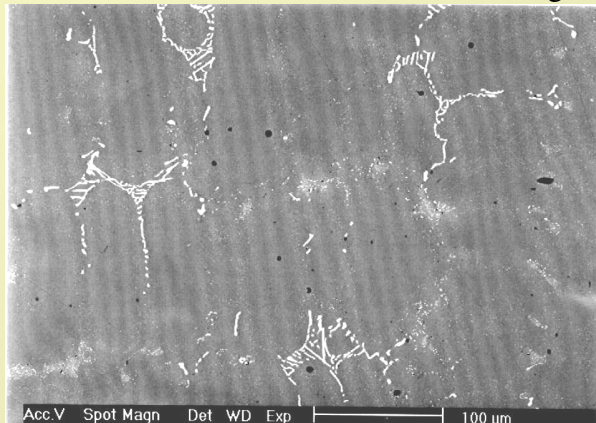
alliage Cobalt 1



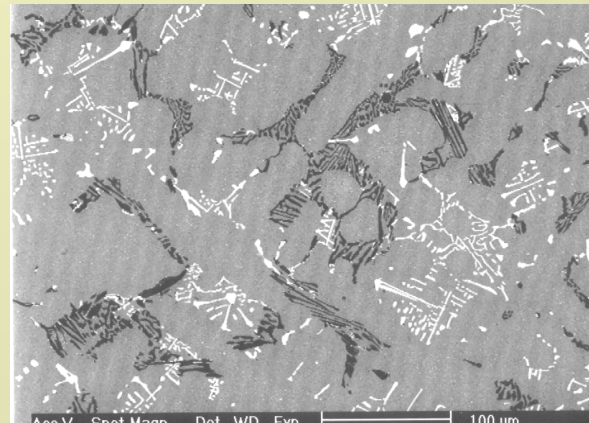
alliage Cobalt 2



alliage Cobalt 3



alliage Cobalt 4

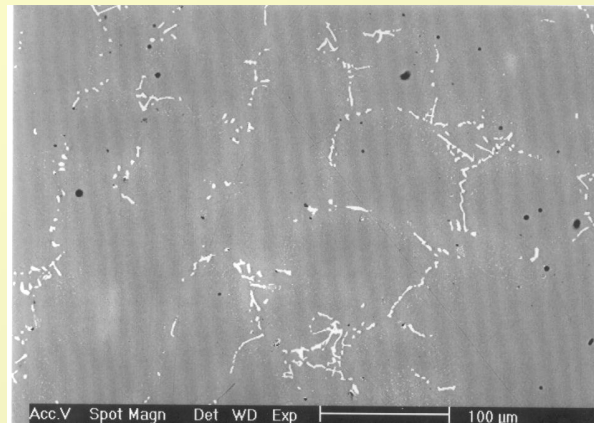


alliage Cobalt 5

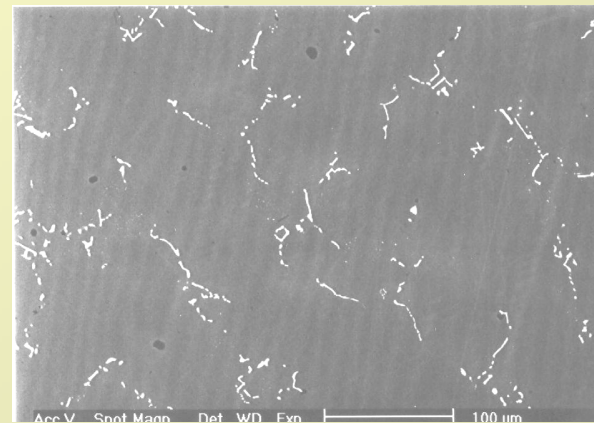
matrice Co (fcc), carbures MC, M₇C₃, M₂₃C₆

MICROSTRUCTURE EN FONCTION DE LA TEMPERATURE

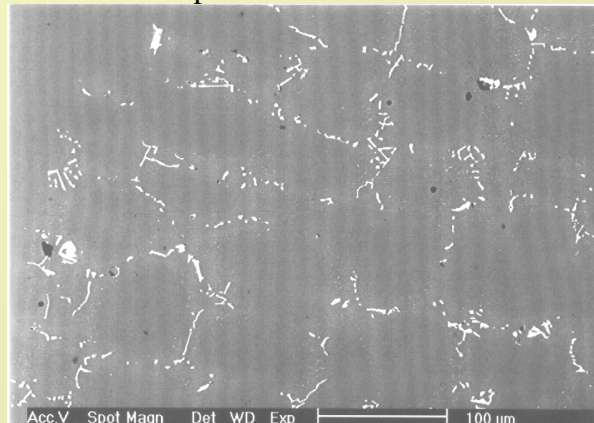
Exemple de l'alliage Cobalt 1



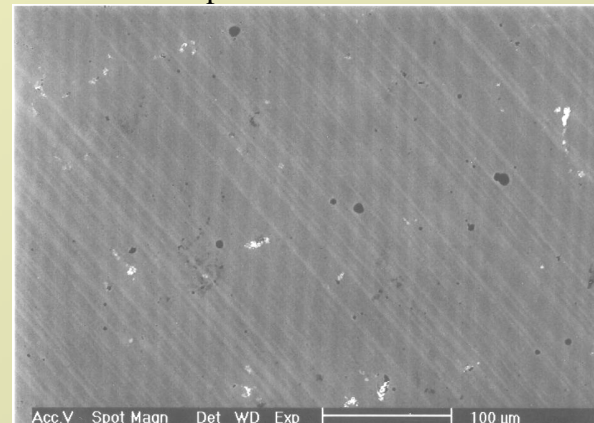
après 10h à 1000°C



après 5h à 1100°C



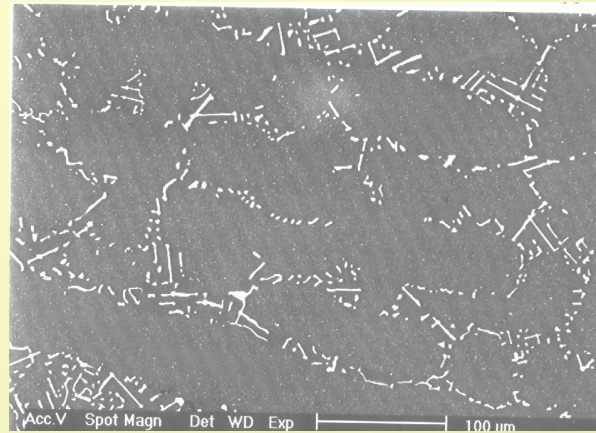
après 5h à 1200°C



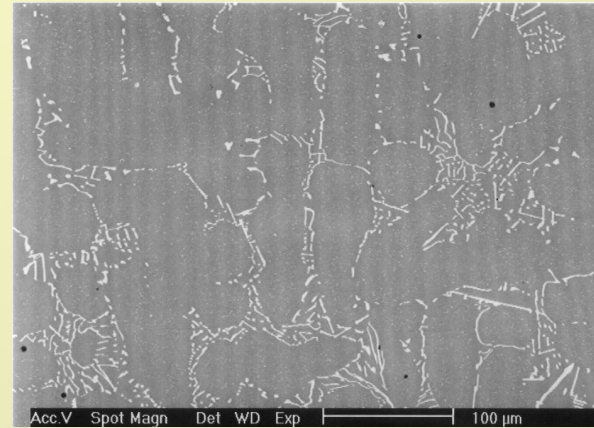
après 5h à 1300°C

MICROSTRUCTURE EN FONCTION DE LA TEMPERATURE

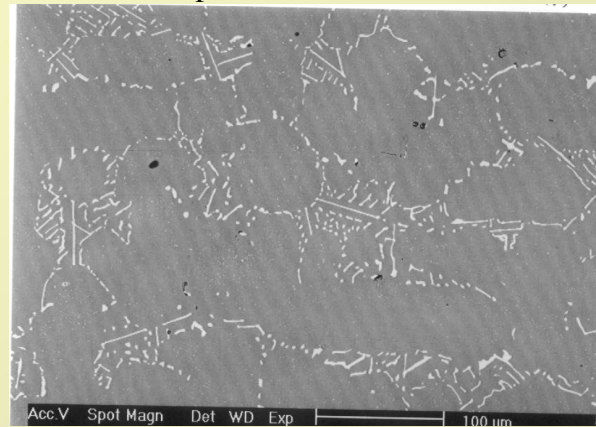
Exemple de l'alliage Cobalt 3



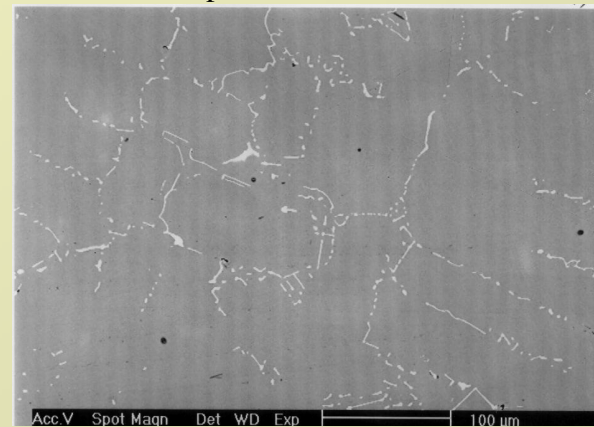
après 10h à 1000°C



après 5h à 1100°C



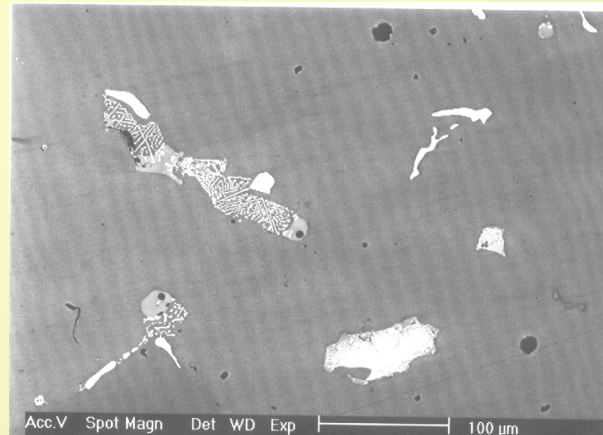
après 5h à 1200°C



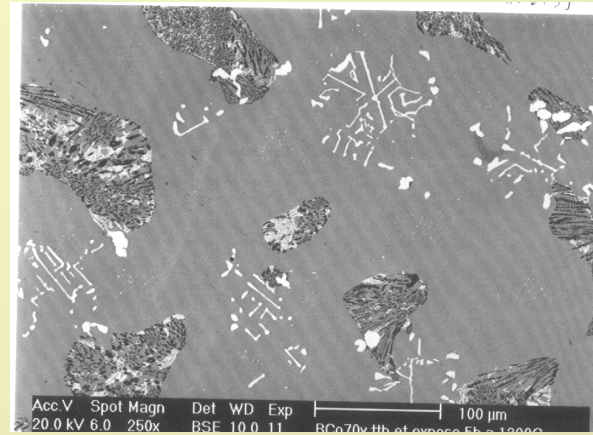
après 5h à 1300°C

MICROSTRUCTURE EN FONCTION DE LA TEMPERATURE

Exemple d'alliages partiellement fondus à 1300°C

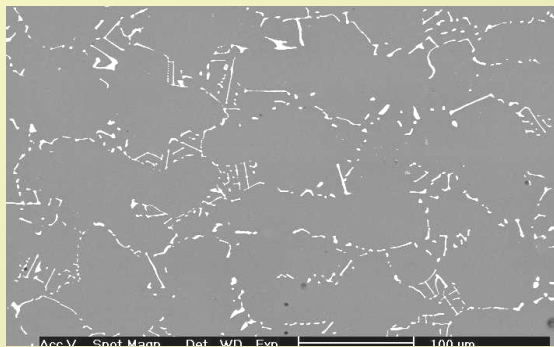


Cobalt4 à 1300°C

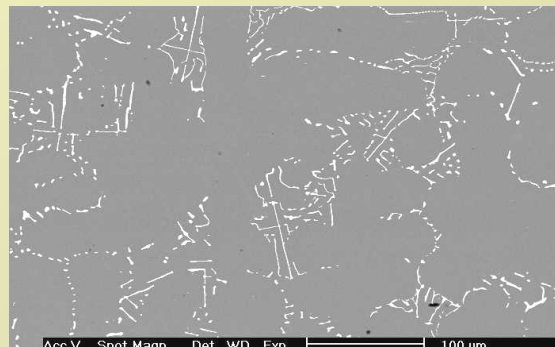


Cobalt5 à 1300°C

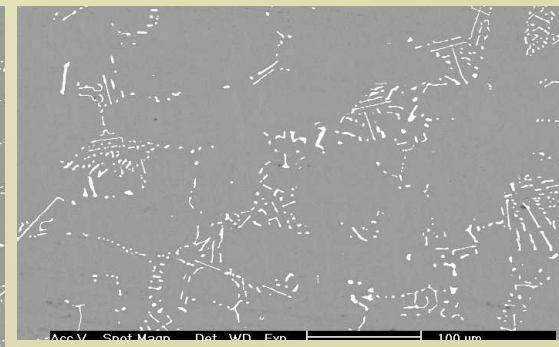
Evolution de Cobalt2 dans le temps à 1300°C



en fin de montée à 1300°C



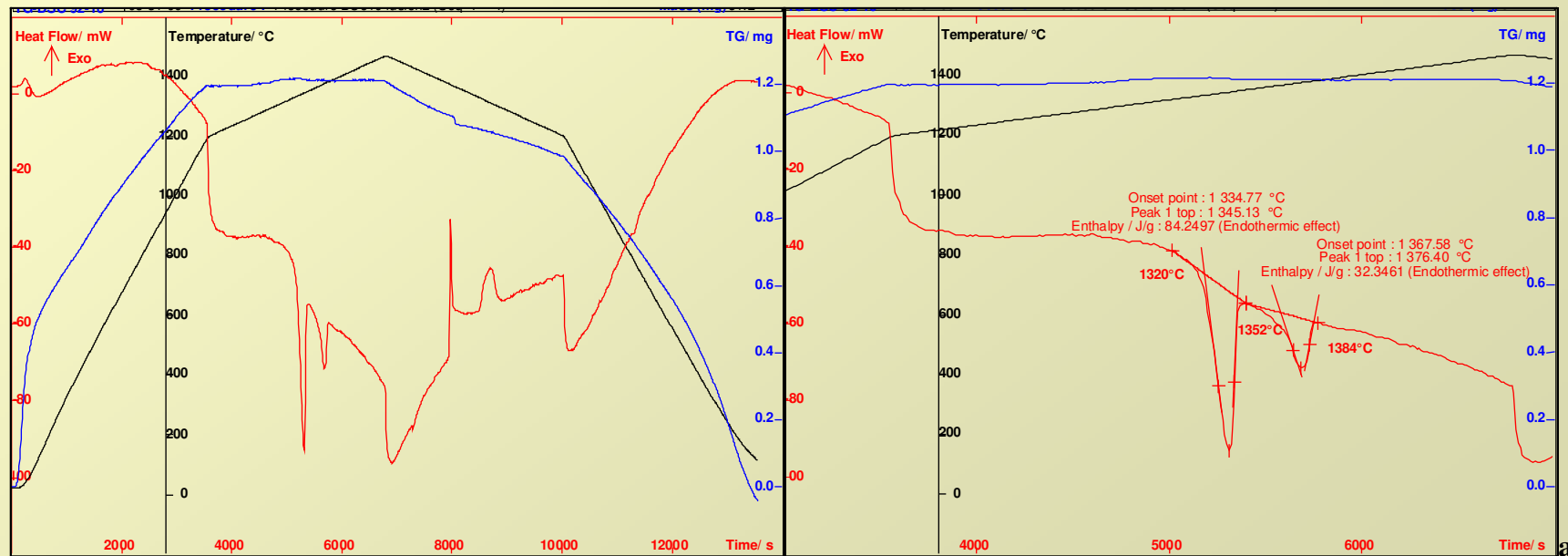
après 5 heures à 1300°C



après 20 heures à 1300°C

ANALYSES THERMIQUES

alliage	Cobalt2	Cobalt3	Cobalt4	Cobalt5
T_{solidus}	1290°C	1320°C	1288°C	1291°C



Analyse thermique de Cobalt3

CALCULS THERMODYNAMIQUES (Thermo-Calc)

alliages temp.	Cobalt 1	Cobalt 2	Cobalt 3	Cobalt 4	Cobalt 5
$T_{\text{solidus}} (\text{°C})$	1257	1287	1277	1253	1277
1200°C	MC 1.49% M_7C_3 $M_{23}C_6$ 0.03%	MC 3.14% M_7C_3 $M_{23}C_6$	MC 4.65% M_7C_3 $M_{23}C_6$	MC 1.49% M_7C_3 $M_{23}C_6$ 3.72%	MC 3.31% M_7C_3 7.95% $M_{23}C_6$
1100°C	MC 1.54% M_7C_3 $M_{23}C_6$ 0.67%	MC 3.35% M_7C_3 $M_{23}C_6$	MC 4.81% M_7C_3 $M_{23}C_6$	MC 1.54% M_7C_3 $M_{23}C_6$ 4.37%	MC 3.40% M_7C_3 8.33% $M_{23}C_6$
1000°C	MC 1.59% M_7C_3 $M_{23}C_6$ 1.01%	MC 3.47% M_7C_3 $M_{23}C_6$ 0.10%	MC 4.92% M_7C_3 $M_{23}C_6$	MC 1.58% M_7C_3 $M_{23}C_6$ 4.70%	MC 3.43% M_7C_3 $M_{23}C_6$ 13.6%

fractions volumiques calculées à partir des fractions massiques

$$\text{suivant } f_{\text{vol}}(\varphi_j) = \frac{\frac{f_m(\varphi_j)}{\rho_{\varphi_j}}}{\sum_i \left(\frac{f_m(\varphi_i)}{\rho_{\varphi_i}} \right)}$$

COMPARAISON DES RESULTATS

alliages temp. / phase	Cobalt 1		Cobalt 2		Cobalt 3		Cobalt 4		Cobalt 5	
	exp. (% surf)	calcul (% vol)	exp. (% surf)	calcul (% vol)	exp. (% surf)	calcul (% vol)	exp. (% surf)	calcul (% vol)	exp. (% surf)	calcul (% vol)
1200°C										
MC	2.2	1.49	5.4	3.14	7.5	4.65	2.9	1.49	4.9	3.31
M ₇ C ₃	/	/	/	/	/	/	?	/	5.8	7.95
M ₂₃ C ₆	/	0.03	/	/	/	/	?	3.72	/	/
1100°C										
MC	1.9	1.54	7.1	3.35	10	4.81	2.4	1.54	5.2	3.40
M ₇ C ₃	/	/	/	/	/	/	?	/	5.3	8.33
M ₂₃ C ₆	/	0.67	/	/	/	/	?	4.37	/	/
1000°C										
MC	2.4	1.59	4.8	3.47	8.9	4.92	2.5	1.58	5.6	3.43
M ₇ C ₃	/	/	/	/	/	/	?	/	/	/
M ₂₃ C ₆	/	1.01	/	0.10	/	/	?	4.70	5.3	13.6

rapport des fractions vol / surf proche de 1,6 pour les MC

alliages temp. / phase	Cobalt 1	Cobalt 2	Cobalt 3	Cobalt 4	Cobalt 5
1200°C MC	1.48	1.72	1.61	1.95	1.48
M ₇ C ₃					0.73
1100°C MC	1.23	2.12	2.08	1.56	1.53
M ₇ C ₃					0.64
1000°C MC	1.51	1.38	1.81	1.58	1.63
M ₂₃ C ₆					0.39

valeurs du rapport $\frac{f_{vol}\phi_i}{f_{surf}\phi_i}$

CONCLUSIONS

Bonne cohérence sur :

**la nature des phases
l'évolution de leurs teneurs avec T**

Cohérence moyenne sur :

**valeurs de T_{solidus}
teneurs des phases***

**(*mais existence d'un rapport
de proportionnalité entre surf. et vol. ?)**