

# Cr et Mo dilués dans Pd

Objektyp: **Chapter**

Zeitschrift: **Archives des sciences [1948-1980]**

Band (Jahr): **22 (1969)**

Heft 3

PDF erstellt am: **22.07.2024**

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

cristallin comme l'ont montré Hirst et al. (V.6), mais les déviations à la loi de Curie-Weiss à plus basse température peuvent très bien illustrer un effet Kondo sur l'Yb. Une température de Kondo d'environ  $15^\circ \text{K}$  est alors suggérée par la température de Curie-Weiss négative  $\theta$  de l'alliage le plus dilué; il est probable que la légère diminution de  $\theta$ , en valeur absolue, pour les concentrations supérieures en Yb soit due à des interactions Yb-Yb.

La figure V.6 illustre les mesures de susceptibilité concernant l'Yb dilué dans l'Au et l'Ag à température ambiante ( $T \cong 20^\circ \text{C}$ ). La dépendance linéaire de  $\chi_g^{\text{Yb}}$  dans l'Au en fonction de la concentration confirme la bonne solubilité de l'Yb dans l'Au jusqu'à une concentration d'au moins 6%; (V.4) a donné comme limite de solubilité 7% Yb dans l'Au. Rappelons que les mesures de susceptibilité en fonction de la température pour les concentrations jusqu'à 1% fournissent un moment effectif d'environ  $4,4 \mu_B$  en bon accord avec le moment théorique paramagnétique de l'Yb<sup>3+</sup>. La susceptibilité de l'Yb dans Ag est très faible, à cause de l'état bivalent non magnétique dans lequel se trouve l'Yb et la dépendance aléatoire de la susceptibilité en fonction de la concentration en Yb montre bien la mauvaise solubilité de l'Yb dans l'Ag, en accord avec les mesures de résistivité de Bijvoet (V.5). Des analyses à la microsonde de TREYVAUD ont confirmé ces faits concernant la solubilité de Yb (V.15): Yb se dilue bien dans les spécimens d'Au, mais reste à la surface des échantillons à base d'Ag pour les concentrations d'Yb supérieures à quelque 0,1%.

Des mesures préliminaires sur Yb en solution dans les alliages Au-Ag s'annoncent pleines d'intérêt (V.15). L'effet Kondo suspecté dans Au se manifeste d'une façon plus évidente dans les alliages. Les énergies de Fermi dans l'Ag et dans l'Au sont distantes de quelques dixièmes d'eV seulement, environ 0,3 eV. L'effet Kondo étant lié à la position de l'état lié virtuel de Friedel par rapport à l'énergie de Fermi de la bande de conduction du métal hôte, on peut prévoir pour l'Yb une largeur de l'état virtuel 4f d'environ 5 centièmes d'eV, en bon accord avec l'estimation de COQLIN et BLANDIN (V.10).

## VI. Cr ET Mo DILUES DANS Pd

Depuis les mesures magnétiques de GERSTENBERG (VI.1), les alliages dilués à base de Pd ont fait l'objet d'un nombre considérable de travaux. Actuellement le Pd tient bien sa place parmi les métaux-vedettes et l'intérêt, aussi bien théorique qu'expérimental, pour cet élément 4d et ses alliages avec les autres métaux de transition ne semble pas devoir faiblir. En témoignent les publications récentes effectuées au sujet du Pd « pur » ou de ses alliages Rh-Pd-Ag, Pd-Fe, Pd-Ni, etc...

Nous présentons ici des résultats de susceptibilité magnétique que nous avons obtenus dans des échantillons de Pd contenant moins de 2% de Cr, Mo et W (3 éléments de transition de la colonne VIA).

## VI.1. FAITS EXPÉRIMENTAUX ACQUIS

Dans cette partie nous allons rappeler des résultats concernant le système *Pd-Cr* connus avant nos propres mesures, et mentionner quelques résultats récents publiés pendant nos expériences.

GERSTENBERG (VI.1) a mesuré la susceptibilité magnétique de Pd + 1 et 3% de Cr, Mo et W. Le fait essentiel de ces résultats, ainsi que de résultats sur d'autres éléments de transition dilués dans le Pd, est que les susceptibilités mesurées à température ordinaire, par exemple, se reportent assez bien sur une courbe unique en fonction de  $c.Z$ , produit de la concentration atomique des impuretés  $c$  et du nombre  $Z$  d'électrons dans les couches extérieures non remplies des éléments de transition dissous, à l'exception des résultats concernant le Cr et le Re. Par exemple 1% Mo ou W ( $c=1$  et  $Z=6$ ) abaisse la susceptibilité du Pd de la même quantité que 6% Ag ( $c=6$  et  $Z=1$ ), alors que pour placer les susceptibilités de Pd + Cr sur la courbe  $\chi(c.Z)$  Gerstenberg a dû supposer  $Z_{Cr} \cong 3$  ! Donnant suite à l'hypothèse de BATES (VI.2), Gerstenberg rend ces  $Z$  électrons responsables du remplissage des trous de la bande  $4d$  du Pd, et ainsi de la diminution de susceptibilité.

BURGER (VI.3) a également mesuré la susceptibilité d'alliages dilués *Pd-Cr*, et de ces mêmes alliages hydrogénés à saturation; c'est-à-dire que dans ce dernier cas ce sont les électrons de l'hydrogène qui sont supposés remplir les trous  $4d$  du Pd et que la susceptibilité mesurée est celle due aux moments magnétiques du Cr dilués dans une matrice magnétiquement neutre. Burger a ainsi trouvé un moment effectif paramagnétique d'environ  $4,7 \mu_B$  par atome de Cr dans PdH, et du même ordre de grandeur dans les alliages non hydrogénés.

SCHWALLER et WUCHER (VI.4) ont mesuré la résistance électrique des alliages *Pd-Cr*, et trouvé des minima de résistivité à 23, 33 et 53° K pour 1, 2 et 4% Cr respectivement. Ainsi l'effet Kondo se manifeste dans des alliages à base de Pd aux propriétés magnétiques pourtant si complexes: d'après Gerstenberg (VI.1) le Cr ne semble pas avoir de moment localisé dans Pd, et ses électrons de valence remplissent la bande  $4d$  du Pd (ou plutôt une partie de ses électrons car  $Z_{Cr} \cong 3$  au lieu de 6!), comme ceux d'autres éléments de transition non magnétiques; d'après Burger (VI.3) au contraire le Cr a un moment localisé aussi bien dans Pd pur que dans Pd-H.

Les mesures magnétiques de Gerstenberg et Burger ont été effectuées à des températures supérieures à 77° K. Nous avons ainsi pensé pouvoir clarifier la situation dans le *Pd-Cr* par des mesures à plus basse température, dans le domaine de l'hélium liquide. Comme nous le verrons, les résultats de susceptibilité du *Pd-Cr* ne se laissent pas facilement interpréter, et un effet Kondo ne peut pas s'extirper sans équivoque...

GAINON et SIERRO (VI.5) ont pourtant mesuré dans *Pd-Cr* une puissance thermo-électrique positive et géante à basse température, avec un maximum à environ 30° K, ce qui peut également être une manifestation d'un effet Kondo.

Pour compléter l'éventail des résultats expérimentaux HEINIGER (VI.6) a aussi mesuré la chaleur spécifique à basse température de deux échantillons Pd + 0,1 et 1 % Cr.

Malgré la diversité de ces faits expérimentaux [on peut ajouter un bruit de coulisses (VI.7) laissant supposer que Pd-Cr devient faiblement ferromagnétique pour des concentrations de Cr d'environ 30 %] la situation semble délicate dans le Pd-Cr, et les résultats magnétiques ne sont pas aisés à analyser.

Très récemment STAR et al. (VI.8) ont rendu publics quelques résultats préliminaires de résistivité, susceptibilité et chaleur spécifique sur des alliages dilués Pd-Cr également, et ont tenté de les interpréter avec une théorie de compensation de spin magnétique (version NAGAOKA de l'effet KONDO).

## VI.2. NOS MESURES

VI.2.1. Pd « pur » : Avant d'étudier les alliages Pd + Cr, Mo et W, nous avons mesuré un échantillon de Pd « pur » préparé au four à arc (dans les mêmes conditions que les alliages Pd + éléments VIA) avec du Pd Engelhard de pureté 5N, livré sous forme « spongieuse ». Comme déjà signalé dans la table II.2, les mesures à températures ordinaires ( $T = 20^\circ \text{C}$ ) sont en très bon accord avec les résultats de MANUEL et St. QUINTON (VI.9), après correction pour les impuretés ferromagnétiques parasites (voir la partie II.2.3e). Mais à basses températures nos mesures divergent passablement des mesures de Manuel, malgré les corrections pour les impuretés paramagnétiques parasites. Il n'est pas inutile de rappeler ici le moment « géant » d'environ  $10 \mu_B$  par atome de Fe en solution dans Pd; pour  $T > 20^\circ \text{K}$  on peut facilement corriger une contribution en loi de Curie; pour  $T < 20^\circ \text{K}$  il faut tenir compte de la saturation paramagnétique du moment localisé parasite et appliquer une fonction de Brillouin.

Ultérieurement, pendant nos mesures d'alliages de Pd + Cr et Mo, nous avons appris l'importance d'effets métallurgiques, autres que les effets bien connus d'impuretés parasites, sur les susceptibilités mesurées pour des métaux. Deux facteurs métallurgiques peuvent notamment entrer en considération: le traitement mécanique (par exemple le travail à froid du lingot pour en tirer un spécimen de forme spéciale: dans notre cas le laminage et le meulage pour obtenir une sphère) et le traitement thermique (dans notre cas la trempe du lingot en fusion qui se produit quand on coupe l'arc et que le métal se refroidit en quelques secondes dans le creuset de cuivre).

Le travail à froid ne semble pas affecter d'une manière sensible la susceptibilité du Pd. Des recherches dans ce sens ont été effectuées par exemple sur des alliages Ag-Pd (VI.10) et sur du Pt (VI.11).

La trempe au contraire altère la susceptibilité du Pt. DEKHTYAR (VI.11) a observé des effets  $\Delta\chi$  (différence entre les susceptibilités mesurées pour un échantillon

trempe à partir d'une température  $T_i$  et pour le même échantillon refroidi lentement) dépendant de  $T_i$ . Pour un échantillon de Pt  $\Delta\chi/\chi$  varie entre 0 et 3% pour des températures de trempe entre 1500 et 1800° C. Dekhtyar explique cet effet en admettant que la trempe depuis des températures élevées crée des lacunes dans le réseau cristallin; et ainsi l'absence d'ions positifs en certains sites se manifeste par un excès de charges négatives qui élève la susceptibilité.

Nous avons donc recuit sous vide à 950° C pendant 75 minutes notre échantillon Pd 5N et de nouvelles mesures ont effectivement montré une diminution très sensible

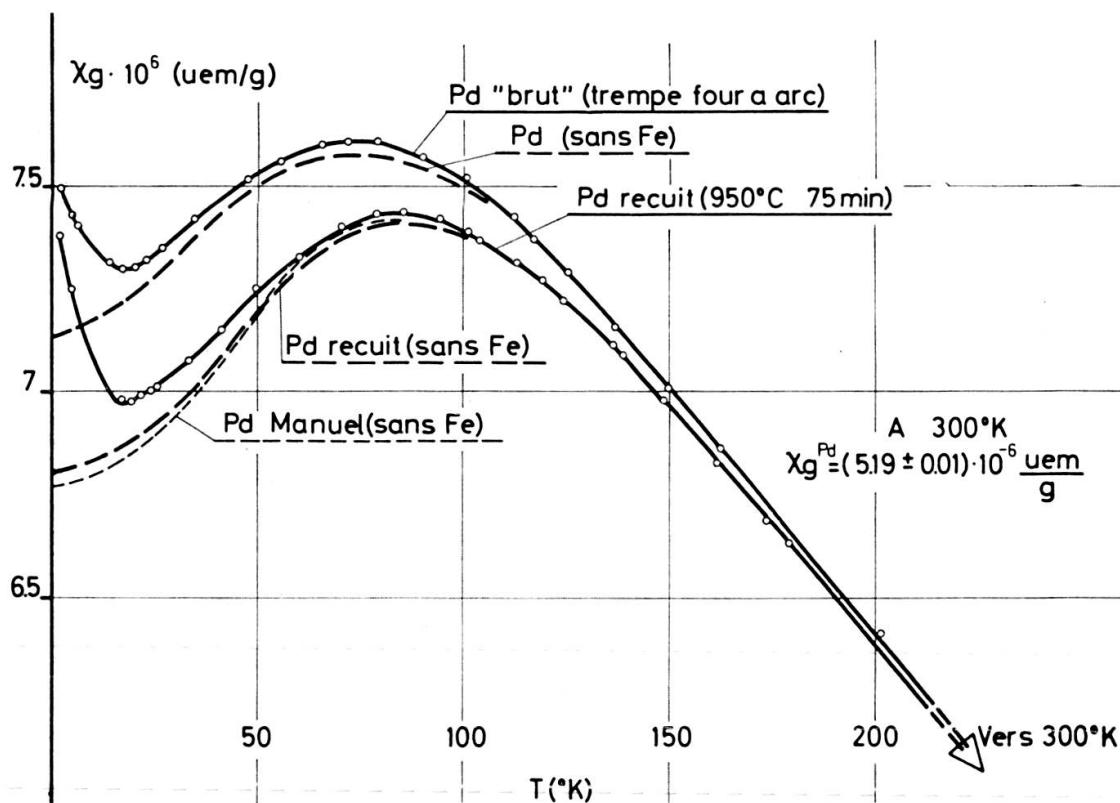


FIG. VI.1

à basse température de sa susceptibilité. Comme le signale Dekhtyar, un tel recuit semble suffisant pour une recristallisation complète du métal et une élimination des lacunes et contraintes survenues au cours d'une trempe.

La susceptibilité  $\chi(T)$  mesurée pour Pd recuit et corrigée des effets d'impuretés parasites, est en parfait accord avec les résultats de Manuel, comme on peut le constater sur la figure VI.1. On peut donc insister sur l'importance du traitement thermique subi par l'échantillon et son influence sur les résultats de susceptibilité, spécialement dans le cas d'un métal aussi paramagnétique que Pd. Mais, si un recuit semble éliminer les effets de la trempe, inévitable après fusion au four à arc, il peut néanmoins, effectué dans de mauvaises conditions, causer d'autres effets tels que la pollution du spécimen par des impuretés parasites supplémentaires ou par de

l'hydrogène..., effets importants dans le cas du Pd. En notant avec satisfaction la coïncidence de nos mesures avec celles de Manuel (mesures également corrigées pour les impuretés de Fe sur un échantillon de Pd également recuit) nous pouvons mentionner le fait suivant concernant les corrections pour impuretés: dans l'échantillon Pd « brut » (trempé au four à arc et travaillé à froid) nous pouvons estimer à 12 ppm Fe (1 ppm = 1 atome de Fe pour  $10^6$  atomes de Pd) la quantité de Fe dissous dans Pd et exhibant un moment « géant » (Fe PARAMagnétique) et à 6 ppm la quantité de Fe aggloméré en petits domaines (Fe FERROmagnétique); dans l'échantillon recuit nous estimons 17 ppm de « Fe PARA » et 3 ppm de « Fe FERRO ». Ainsi la quantité de « Fe FERRO » ayant passé en solution dans Pd au cours du recuit se manifeste sous forme de « Fe PARA » d'une manière plus ou moins quantitativement contrôlable. A ce propos on peut signaler un autre travail de DEKHTYAR (VI.12) montrant que la trempe de spécimens Pd-Fe en augmente la susceptibilité. Le fait que l'accord mentionné plus haut entre le nombre de ppm (Fe PARA + Fe FERRO) pour les échantillons trempé et recuit de Pd est obtenu avec un moment effectif paramagnétique de  $10 \mu_B$  par atome de Fe dans Pd [MANUEL et St QUINTON (VI.9) ont utilisé  $9 \mu_B$ , et chez GEBALLE et al. (VII.12) on trouve  $10,5 \mu_B$  environ], laisse supposer que l'effet observé par Dekhtyar dans Pd-Fe est plutôt dû à une augmentation de susceptibilité de la matrice Pd due à la trempe, qu'à une augmentation du moment effectif du Fe dans l'hôte Pd trempé.

On remarque également sur la figure VI.1 que le maximum à  $85^\circ \text{K}$  de  $\chi(T)$  du Pd est déplacé vers  $70$  à  $75^\circ \text{K}$  pour l'échantillon « trempé ». Il semble que les contraintes à l'intérieur du Pd causées par la trempe altèrent la structure de bande des électrons  $4d$  du Pd, de la même façon que l'adjonction de quelques 0,2 à 0,3 % Rh dans Pd. La complexité de l'allure de la courbe de densité d'états de la bande  $d$  du Pd est notoire, voir par exemple (VI.13), spécialement au voisinage du niveau de Fermi. Dans les métaux de grande susceptibilité la relation entre la susceptibilité magnétique  $\chi$  et le module de cisaillement  $G$  a été mise en évidence récemment par des mesures de vitesse ultra-sonore dans des alliages Rh-Pd-Ag [voir par exemple M. PETER, Actes de la société helvétique des sciences naturelles, p. 26 (1966)]. La structure de bande de cette série d'alliages n'est pas connue en détail, mais l'on peut supposer que des poches de trous sont situées sur les faces carrées de la zone de Brillouin de ces structures c.f.c. à base de Pd. Si une déformation est appliquée par cisaillement (ce qui se produit certainement en trempant un spécimen depuis une température suffisamment élevée) un transfert d'électrons, ou plutôt de trous s'effectue entre les différentes poches: le cisaillement élève par exemple l'énergie d'une paire de poches d'une quantité  $\gamma E_0$  ( $E_0$  est le potentiel de déformation) et abaisse conséquemment l'énergie des deux autres paires vers lesquelles les trous sont transférés. La variation du module de cisaillement est donnée par  $\Delta G = -2E_0^2 \chi / g^2 \mu_B^2$ . Il n'est donc pas exclu que ce transfert entre poches de trous rendant compte des anomalies de vitesse du son dans les alliages Rh-Pd-Ag en relation avec leur susceptibilité,

puisse également être l'explication de l'augmentation de la susceptibilité du Pd trempé sensible spécialement à basse température. Au cours de la trempe de fortes contraintes produisent des déformations par cisaillement. Le potentiel de déformation est responsable d'un transfert de trous entre les différentes poches, et par suite d'un renforcement du facteur de Stoner sur la susceptibilité.

VI.2.2. *Les alliages Pd + Cr, Mo et W* : La figure VI.2 illustre nos mesures de susceptibilités effectuées entre 1,5 et 300° K sur des échantillons Pd et Pd + 0,1, 0,3, 0,5, 1 et 2 % at. de Cr, non recuits. Les cercles représentent les mesures dans un champ appliqué d'environ 14 kOe: mis à part la faible dépendance en  $1/H$  de  $\chi_g$  attribuée aux impuretés ferromagnétiques, aucune autre dépendance du champ n'est détectée au-dessus de 20° K; pour les températures inférieures la saturation des impuretés parasites paramagnétiques se manifeste comme dans le Pd « pur ». Les courbes en pointillé représentent les mesures « corrigées » pour ces contributions paramagnétiques. Les courbes 1(G) et 3(G) sont tirées des mesures de GERSTENBERG (VI.1) pour des alliages Pd + 1 et 3 % Cr, et 2(S) et 4(S) des mesures de STAR et al. (VI.8) pour Pd + 2 et 4 % Cr.

Sur la figure VI.3 sont résumées les mesures sur nos spécimens, non recuits également, Pd + les mêmes concentrations de Mo. Un échantillon Pd + 1 % W a aussi été mesuré: on peut noter que sa susceptibilité « corrigée » des impuretés de Fe est la même que celle de Pd + 1 % Mo.

TABLE VI.1: *Le Fe dans nos alliages Pd+Cr, Mo ou W (Essai d'analyse magnétique)*

	Nombre d'atomes de Fe pour 10 <sup>6</sup> atomes de Pd	
	contribution PARAMagnétique	contribution FERROmagnétique
Pd 5N Engelhard « brut » (fondu et trempé au four à arc)	12	6
Pd 5N Recuit	17	3
Pd+0,1 % Cr	19	6
0,3	43	7
0,5	48	9
0,5 Recuit	51	7
1	18	7
2	17	5
Pd+0,1 % Mo	10	5
0,3	40	5
0,5	39	5
0,5 Recuit	43	3
1	15	4
2	15	3
Pd+1 % W	55	19
	(Fe dilué)	(Fe en « ilots »)

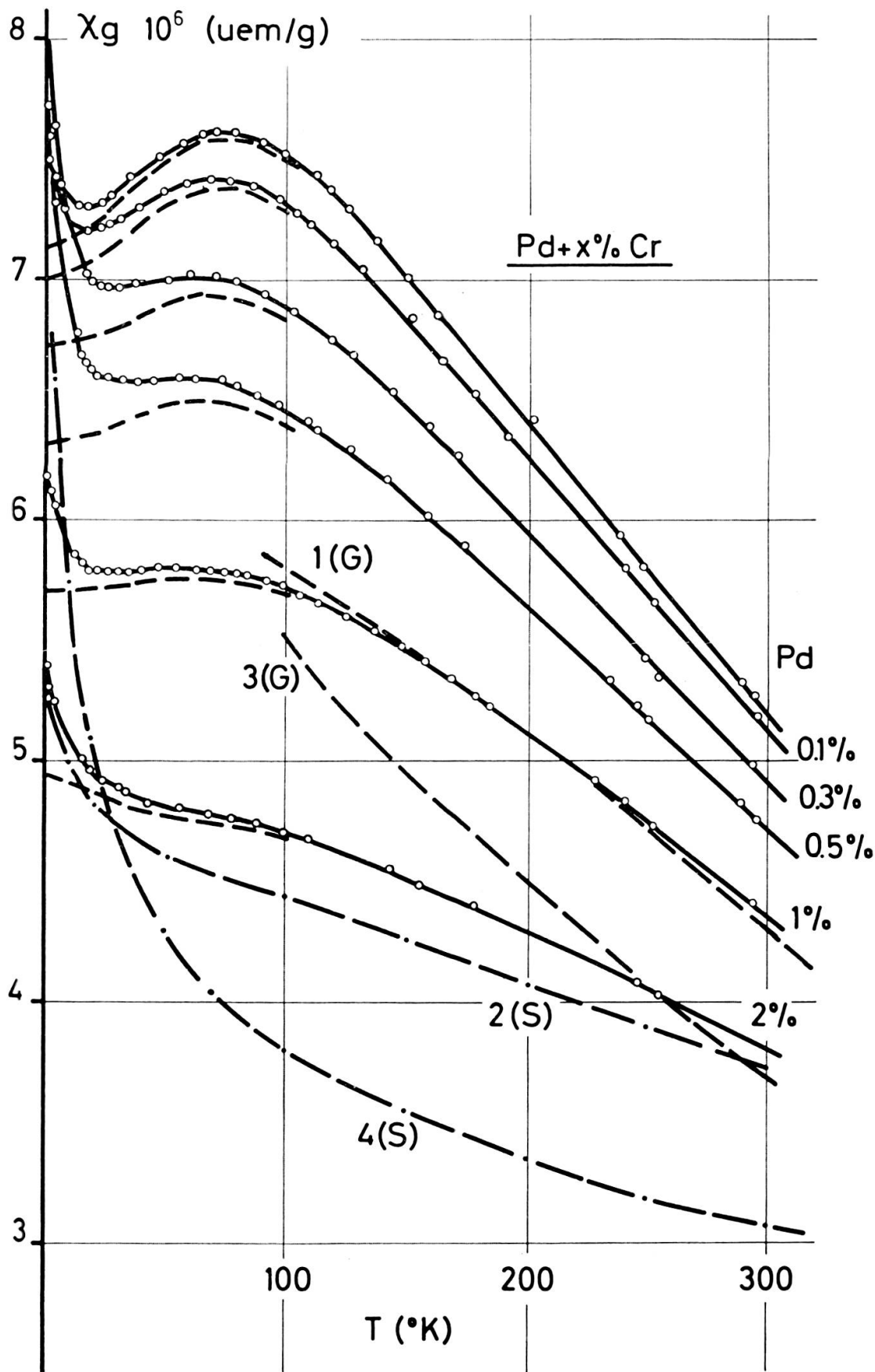


FIG. VI.2



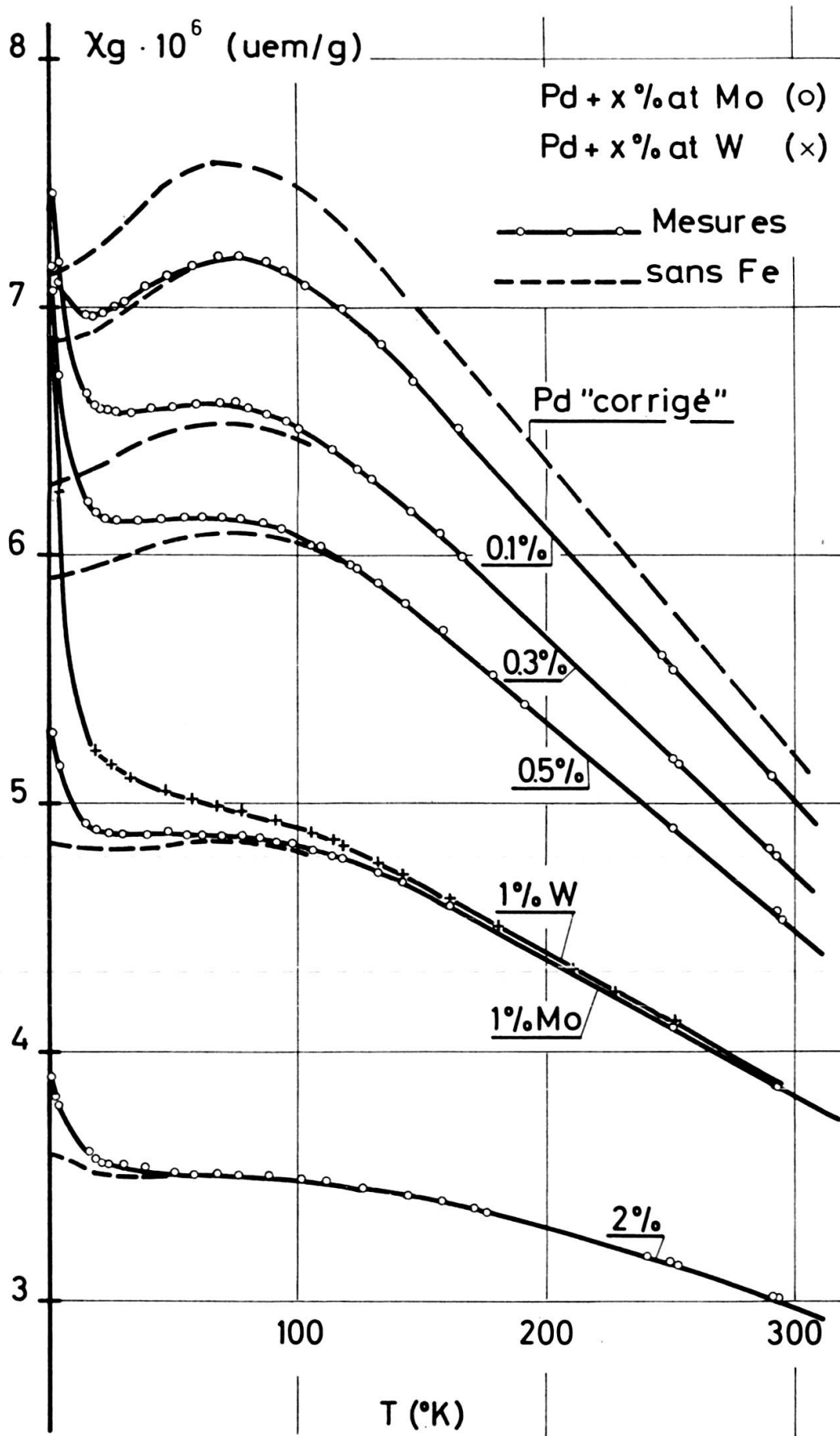


FIG. VI.3

La table VI.1 donne les résultats de nos analyses « par voie magnétique » de tous les échantillons que nous avons mesurés. On peut noter la quantité importante de Fe PARA hypothétiquement détectée dans les alliages contenant 0,3 et 0,5 % de Cr et de Mo: ainsi cette étape de l'interprétation de nos résultats de mesures n'est pas tout à fait satisfaisante. Pour éclaircir la situation des études plus détaillées seraient du plus haut intérêt: par exemple des mesures à très hauts champs [voir FONER\*] ou à champs faibles [voir MANUEL\*], accompagnées d'analyses chimiques complètes des spécimens.

### VI.3. DISCUSSION DES RÉSULTATS DE MESURES

Le but de l'analyse des résultats concernant les alliages Pd + Cr et Mo est d'obtenir la contribution des impuretés Cr à la susceptibilité totale mesurée pour Pd-Cr. Devant la complexité du problème nous avons opté pour une méthode très simple et spéculative.

Sur la figure VI.4 nous avons tracé plusieurs courbes représentant, pour ces alliages à base de Pd, les susceptibilités (extrapolées des mesures « corrigées ») aux températures 300 et 0° K en fonction des diverses concentrations en Cr, Mo et W.

Les mesures  $\chi_g(300^\circ \text{K})$  pour Pd + Mo et W sont en accord avec la courbe  $\chi = f(c.Z)$  de GERSTENBERG (VI.1): on peut ainsi admettre que 1 % Mo ou 1 % W abaisse la susceptibilité du Pd de la même façon que 6 % Ag; en partie les électrons de valence remplissent les trous 4*d* du Pd, et ceci proportionnellement au nombre d'électrons extérieurs des couches non remplies. D'une part il est bien connu que Pd<sub>0,40</sub>Ag<sub>0,60</sub> est diamagnétique: naïvement 60 électrons de l'Ag sont donc disponibles pour remplir les  $40 \times 0,36 \cong 15$  trous de la bande 4*d* du Pd. Les mesures d'effet DeHAAS-vanALPHEN de VUILLEMIN (VI.14) ont montré que le Pd possède 0,36 trous 4*d*, et non 0,6 comme on le pensait auparavant (VI.1). D'autre part, si le Cr a le même effet que le Mo sur la susceptibilité du Pd en ce qui concerne le remplissage de la bande *d*, rien ne l'empêche de se manifester en plus éventuellement par un moment localisé dans le Pd [Comme les mesures entre 80 et 1000° K de BURGER (VI.3) peuvent l'avoir démontré !], ou par une susceptibilité locale quelconque. Et effectivement sur la figure VI.4 nous constatons que *c* % Cr diminue moins  $\chi_g(\text{Pd})$  que *c* % Mo. Une explication possible est que  $\Delta\chi/c = \chi(\text{Pd}+c\%\text{Cr}) - \chi(\text{Pd}+c\%\text{Mo})$  est une susceptibilité localisée sur les impuretés de Cr.

La figure VI.5 représente les courbes de susceptibilités réciproques pour les alliages contenant 0,3, 0,5, 1 et 2 % Cr obtenues en supposant, comme avancé ci-

\* FONER et MANUEL se sont intéressés très récemment au problème des faibles concentrations de Fe diluées ou précipitées dans le Pd « pur » [voir leurs communications, respectivement p. 551 et 961, dans les comptes-rendus de la Conférence Internationale sur le Magnétisme tenue à Boston en 1967 — J. appl. Phys. 39 (1968)].

dessus, que la susceptibilité de la matrice est fournie par les résultats de mesures sur les alliages Pd + 0,3, 0,5, 1 et 2% Mo respectivement. Les différentes courbes ont été normalisées pour une concentration atomique de 1% d'impuretés.

Pour  $T > 150^\circ \text{K}$  environ les susceptibilités obéissent approximativement à des lois de Curie-Weiss. On peut constater que le moment paramagnétique effectif par atome de Cr peut s'identifier à environ  $4,9 \mu_B$  par comparaison avec la loi de Curie tracée en pointillé et obtenue théoriquement pour 1% d'ions libres  $\text{Cr}^{++}$ . Mise à

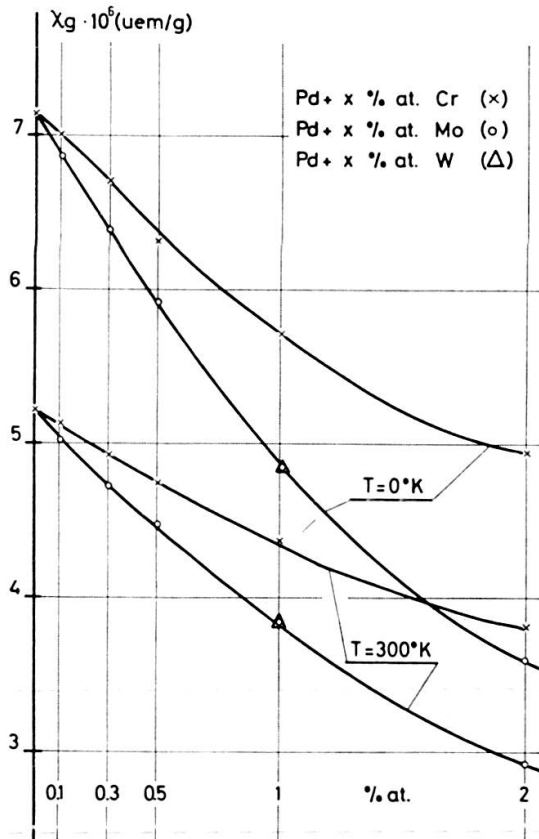


FIG. VI.4

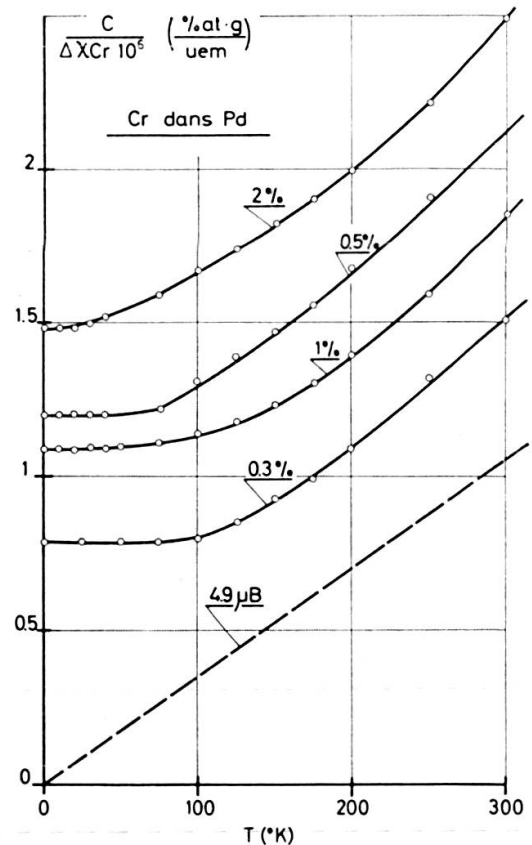


FIG. VI.5

part l'interversion des courbes pour 0,5 et 1% Cr, on peut noter une température de Curie-Weiss négative augmentant avec la concentration en Cr, et indiquant de fortes interactions antiferromagnétiques Cr-Cr.

A basse température l'allure des courbes est difficile à interpréter. La susceptibilité semble atteindre des valeurs constantes bien au-dessus de  $0^\circ \text{K}$  (sans montrer par ailleurs des températures de Néel bien définies pour le Cr dilué).

Peut-on interpréter ces résultats de susceptibilités à  $T < 100^\circ \text{K}$  à l'aide de l'effet KONDO, et plus spécialement de la compensation de spin de NAGAOKA (VI.8) ?

Ou faut-il plutôt chercher l'explication dans la direction indiquée par MORIYA (VI.15) qui traite du problème des moments géants se manifestant dans les alliages dilués à base de Pd, et suggère et démontre que dans le cas Pd-Cr, il faut s'attendre à

des moments polarisés négativement induits dans les atomes Pd voisins des impuretés localisées Cr ? C'est-à-dire que si l'atome dilué dans le Pd a une couche  $d$  à demi remplie (cas du Cr-élément de transition  $3d$ ) les moments induits sont alignés anti-parallèlement au moment de l'impureté, contrairement au cas  $Pd-Fe$  par exemple. Ainsi de cette manière le moment du Cr se voit également compensé.

En bref, une analyse par des moyens très simples des résultats de mesures magnéto-statiques concernant des alliages dilués  $Pd-Cr$  et  $Mo$  a permis d'obtenir une susceptibilité supposée être celle localisée sur les impuretés Cr en solution dans Pd. Bien que l'aspect des résultats ainsi présentés à haute température semble raisonnable, il est difficile actuellement de se représenter définitivement la situation dans le système dilué  $Pd-Cr$ .

## VII. COMPORTEMENT MAGNÉTIQUE DU Ni-Rh

Le système d'alliages Ni-Rh est digne d'intérêt pour plusieurs raisons, autant d'ordre théorique qu'expérimental.

Mettons sous la loupe la partie très intéressante du tableau périodique des éléments groupant la fin des séries de transition  $3d$ ,  $4d$  et  $5d$ :

3d	:	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu
4d	:	Mo		Ru	Rh	Pd	Ag
5d	:	W	Re	Os	Ir	Pt	Au

- Les éléments ferromagnétiques Fe, Co, Ni, et leurs alliages, ainsi que les composés binaires d'éléments non adjacents de la série  $3d$ , ont fait l'objet de recherches expérimentales approfondies. Les travaux théoriques relatifs ont utilisé le modèle de « bande rigide » bien connu avec un certain succès qui s'est soldé par la célèbre courbe de Slater-Pauling illustrant le moment magnétique moyen par atome en fonction du nombre atomique moyen des alliages binaires; voir par exemple BEEBY (VII.1). Des travaux récents, tel celui de FRIEDEL (VII.2), montrent que ce problème est toujours d'actualité.
- Les travaux de JENSEN et ANDRES (VII.3) présentent d'une part une étude récente de la susceptibilité et de la supraconductivité d'alliages d'Ir avec Ru, Rh, Pd, Re, Os et Pt, et passent en revue d'autre part toutes les mesures existantes de susceptibilités magnétiques  $\chi$ , de coefficients de chaleur spécifique électronique  $\gamma$  et de températures de transition supraconductrice  $T_c$ , concernant les métaux et alliages de transition  $4d$  et  $5d$ . La présence de fluctuations de spin virtuelles (paramagnons) semble l'explication la plus raisonnable pour rendre compte de la forte corrélation entre une diminution de  $T_c$  et une augmentation du rapport  $\chi/\gamma$  dans ces alliages paramagnétiques.