Supraconductibilité, espoirs et souvenirs

Autor(en): **Peter, Martin**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Archives des sciences et compte rendu des séances de la Société**

Band (Jahr): **48 (1995)**

Heft 2: **Archives des Sciences**

PDF erstellt am: **02.06.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-740250

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.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Archs Sci. Genève	Vol. 48	Fasc. 2	pp. 105-134	Septembre 1995

SUPRACONDUCTIBILITÉ, ESPOIRS ET SOUVENIRS

PAR

Martin PETER *

(Leçon d'adieu donnée le 8 novembre 1994)

Monsieur le Doyen, chers collègues, Mesdames, Messieurs

Donner sa leçon d'adieu signifie prendre congé des activités variées qui font partie du cahier des charges de chaque professeur. La première de ces activités est l'enseignement, privilège de notre profession, mais aussi, charge sans cesse renouvelée. Les plans d'enseignement et les élèves ont changé pendant mes 32 années académiques. Changée a bien sûr été aussi ma façon de donner les cours, et le genre de cours. Ces dernières années c'était entre autres la structure de bande, sujet repris depuis par Roberto CAR et Thomas JARLBORG; puis les semi-conducteurs, repris par Eric WALKER, enfin, les phénomènes dynamiques et les propriétés électrodynamiques de la matière condensée que j'ai gardés jusqu'au bout de ma carrière. En donnant ce cours j'ai réalisé une transition. A l'époque de nos études, les propriétés de la matière étaient décrites par les équations de Maxwell et de Boltzmann et un peu de mécanique quantique. Depuis, lentement mais sûrement, nous avons passé à l'âge de la dynamique quantique et des méthodes statistiques modernes pour la description de la matière et des appareils électriques de notre temps. La forme et la nature de ces appareils ont évolué sensiblement: Dans ma jeunesse, on utilisait encore le cuivre et le laiton, le papier et le bois. Pour mon travail de doctorat, j'ai encore eu l'occasion de construire des amplificateurs de fréquence intermédiaire, avec leurs bobines et leurs tubes. Même la cire d'abeille s'est avérée être à la base d'un traitement de surface providentiel; mais c'est là une autre histoire... Maintenant, les dimensions ont diminué et sont en train d'atteindre la limite quantique — voilà une justification expérimentale pour l'entrée de l'électrodynamique quantique dans nos enseignements des propriétés électrodynamiques de la matière. En passant, je fais la remarque que nos amis les biologistes, qui traitent des organes aux dimensions moléculaires, ont connu des succès remarquables avec des modèles essentiellement classiques. Je ne serais cependant pas étonné que dans leur discipline aussi, la mécanique quantique fasse un jour pleinement son entrée, avec pour conséquence une évolution dans la perception des mystères de la vie.

---

* Département de Physique de la Matière condensée, 24 quai Ernest-Ansermet, CH-1211 Genève 4.

Faire sa leçon d'adieu veut aussi dire adieu aux activités administratives auxquelles il a fallu faire face. Les années 60 et 70 furent des années de grande opportunité et de forte croissance de nos institutions. Ceci explique pourquoi je fus si vite mêlé à la Commission Administrative et au Rectorat. Lors de mon arrivée en 1962, il avait été décidé que l' Ecole de Physique serait organisée en trois instituts, soit: l'Institut de Physique Corpusculaire en collaboration avec le CERN, l'Institut de Physique Théorique et l'Institut de Physique Expérimentale, qui pourrait notamment maintenir et employer les instruments de la collection du grand auditoire! Il me semblait que cette destinée pour le troisième institut manquait un peu d'ambition. Mais, plutôt que d'engager un débat idéologique, j'ai suivi une voie pragmatique qui a transformé la physique expérimentale en physique des solides d'abord, et en *Département de Physique de la Matière Condensée* ensuite. Plus important que le nom, les moyens ou les locaux, fut le choix des hommes: Georges BENE, Jean MULLER, Jérôme SIERRO, Øystein FISCHER, Bernard GIOVANNINI, pour ne nommer que les professeurs. Inutile de prétendre qu'on était toujours unanimes ou que l'exercice et le partage du pouvoir se faisaient sans l'ombre d'un heurt. Mais on peut affirmer que dans notre département, et dans notre section, nous avons vécu non seulement une coexistence pacifique mais une coopération confiante. Avec gratitude j'aimerais mentionner notre personnel technique et administratif qui a toujours donné un maximum, et qui a souvent pris des initiatives qui ont contribué au maintien d'un bon esprit dans notre section. Cet esprit a permis aux uns et aux autres de vouer l'essentiel de leurs forces à notre mission avec, comme résultat, une reconnaissance internationale pour le travail accompli. C'est ainsi que nous avons pu donner un sens au soutien généreux et constant dont nous avons pu jouir de la part du Canton de Genève, appuyé par l'aide de la Confédération, du Fonds National Suisse de la Recherche Scientifique, ainsi que de quelques autres Fondations publiques et privées.

Enfin une leçon d'adieu marque aussi un adieu à la recherche — ou du moins un changement de régime également dans ce secteur. Bien qu'ici la coupure soit peut-être moins évidente. Il y aura rnoins de moyens, mais plus de temps pour écouter, lire, réfléchir et calculer. Et ce sera l'occasion d'une réflexion sur l'aventure que j'ai vécue pendant la durée de mon activité, qui a été longue, grâce aux bons soins de notre Faculté de Médecine, et qui a pourtant passé si vite. C'est ce que j'aimerais faire maintenant par l'exemple de la *supraconductibilité* telle que je l'ai vécue.

Supraconductibilité et Magnétisme

Mon premier contact avec la supraconductibilité date de 1958. En cette période j'avais commencé, au Laboratoire BELL, mes travaux dans la résonance paramagnétique à haute fréquence, et ce fut à titre de diversion que Arthur SCHAWLOW me proposa de calculer la distribution du magnétisme et du courant supraconducteur dans une couche mince. Il s'agissait de confirmer que cette distribution était très différente de celle qui avait été prédite par les équations de LONDON, mais en accord avec la théorie encore nouvelle de BARDEEN, COOPER & SCHRIEFFER (BCS). En particulier, on y voyait un

comportement non local à une échelle xi qui devait correspondre au diamètre des paires d'électrons de Cooper ([1], et Fig. 1). SCHAWLOW et moi-même envoyâmes chacun une lettre à la *Physical Review* pensant que notre travail apportait un supplément de vérification à la théorie BCS.

Une des caractéristiques de l'état supraconducteur est qu'il n'aime pas du tout les champs magnétiques. Dans son état fondamental, le supraconducteur préfère exclure un champ magnétique, même au prix de maintenir un courant de blindage en toute éternité. C'est dans cette capacité de soutenir des courants permanents que réside la source de la fascination du physicien et de l'ingénieur pour la supraconductibilité. Si le champ magnétique devient trop grand, l'état supraconducteur disparaît et le conducteur devient simplement paramagnétique. Une étude plus détaillée montre que le champ magnétique agit contre la supraconductibilité de deux façons: il perturbe les orbites des électrons et il s'attaque aussi à leur spin. Pendant longtemps on croyait que la perturbation des orbites menait à des champs critiques peu élevés, ce qui mettait fin à la plupart des rêves des ingénieurs. Mais par la suite, SHUBNIKOV fit la découverte que certains supraconducteurs peuvent organiser un réseau de lignes de flux et de courants de blindage au niveau mésoscopique; ce qui permet à la supraconductibilité de se maintenir à des très hauts champs (Fig. 2). Dans ces circonstances, la limite supérieure des champs possibles était donnée par la limite de CLOGSTON qui se résume ainsi: les électrons choisiront un état paramagnétique dès l'instant où l'énergie de polarisation paramagnétique dépasse l'énergie de condensation de l'état supraconducteur. CLOGSTON était alors chef d'un groupe au Laboratoire BELL, dont V. JACCARINO et moi-même faisions partie. Nous pouvions ainsi suivre ce débat de près, et ensuite faire une proposition pour dépasser la limite qu'avait posée notre chef. Cette proposition se basait sur nos études de la résonance magnétique dans les métaux. Ces études avaient montré que des champs moléculaires très forts peuvent être obtenus par simple alliage avec certaines impuretés magnétiques, et que ces champs peuvent être orientés soit dans le sens du champ magnétique appliqué, soit dans le sens opposé. Dans la Fig. 3 nous montrons le champ moléculaire produit dans le Palladium par adjonction de Terbium et de Praseodymium produisant des champs moléculaires orientés dans les deux sens, et mesurés par RPE (Résonance paramagnétique électronique), avec David SHALTIEL [2]. Le champ moléculaire est en réalité un phénomène avec une structure spatiale compliquée, connu sous le nom d'oscillations de FRIEDEL. Dans un calcul fait avec Robert SCHRIEFFER et Bernard GIOVANNINI [3], nous avons cependant montré que ce champ peut être rendu plus uniforme par l'interaction d'échange. Récemment ces structures oscillatoires ont été mises en évidence pour les cas du Nickel et du Fer. Notre figure montre ces mesures, faites à Genève, par la technique de l'annihilation de positrons polarisés (avec Patrick GENOUD, Alfred MANUEL et Eric WALKER). Mais revenons à 1962, époque où nous en savions déjà assez sur ces champs moléculaires, pour faire la proposition (avec JACCARINO [6]), de les utiliser pour porter les champs supraconducteurs bien au-delà de la limite de CLOGSTON. Le supraconducteur, doté d'un fort champ moléculaire, devait être supraconducteur à bas champ, et devenir normal à haut champ. La nouveauté était

qu'il devait redevenir supraconducteur dans des champs encore plus hauts, et ceci par la compensation entre champ extérieur et champ moléculaire (Fig. 4). Cette proposition a trouvé grâce devant *Phys. Rev. Letters*, et devant l'Office des Brevets. Mais combien de gens ont vraiment cru à la possibilité de ce diagramme de phase insolite? D'autant plus remarquable est le fait que vingt-deux années plus tard, un «team» de chercheurs genevois avec à sa tête Øystein FISCHER, a pu annoncer aux mêmes *Phys. Rev. Letters* la découverte d'une substance composée de 5 éléments, et qui avait toutes les propriétés que nous avions postulées dans notre lettre de 1962 (Fig. 5). Pour clore ce chapitre, regardons encore le diagramme de phase du supraconducteur ordinaire dans un champ magnétique, et avec un courant électrique (Fig. 6). A un courant critique donné, le supraconducteur devient normal, et ce courant limite joue un rôle décisif pour toutes les applications existantes et à venir. La grandeur du courant critique est liée notamment à la force avec laquelle les lignes de flux sont accrochées au réseau et empêchées de suivre la force de Lorentz. Nous laissons comme exercice pour l'auditeur la question suivante: comment ce diagramme sera-t-il modifié dans le cas du supraconducteur compensé de Fischer?

Electrons et Phonons

Un des résultats positifs de notre aventure avec supraconductibilité et magnétisme fut d'attirer Robert SCHRIEFFER à plusieurs reprises à Genève, au moment où il écrivait son livre classique. C'est à Genève qu'il a pris goût au paramagnétisme (avec les paramagnons) et qu'il a suggéré une possible analogie entre comportement magnétique et compressibilité. Expérience faite, il n'y avait rien à signaler pour la compressibilité. Par contre, le module de cisaillement montrait un effet intéressant ([4], Fig. 7). Quand on varie la composition de certains alliages, ce module évolue de façon analogue à la susceptibilité magnétique. Le facteur commun dans les deux cas est la densité effective d'états électroniques. Si cette densité varie avec la température, on peut s'attendre à des anomalies dans les coefficients thermiques. Ces effets *thermoélastiques* devaient être spécialement grands dans les bons supraconducteurs avec leur grande densité d'états, et leur important couplage électron-phonon. De plus, notre dessin suggère une forte anisotropie pour cet effet. Un effort considérable a été investi dans l'étude de ces anomalies, et la Fig. 8 montre le résultat pour une série de monocristaux Niob-Zircon. Les mesures couvrent une plage exceptionnelle de températures, entre 0 et 2300 K. Les effets sont grands et en bon accord avec les calculs. Ces travaux ont été réalisés avec ASHKENAZI, DACAROGNA, TALMOR, WALKER et STEINEMANN [10].

Supraconductibilité et Positrons

La technique de l'annihilation des positrons fait partie de l'éventail des méthodes nucléaires appliquées à la physique de l'état solide. Elle est arrivée à l'Ecole de Physique de la part du CERN, où Georges CHARPAK règne comme le grand inventeur et

constructeur de détecteurs et où l'un de ses collaborateurs, Allan JEAVONS, a inventé une application de ces détecteurs à la détection du rayonnement d'annihilation des positrons (technique ACAR). Grâce à cette technique, Alfred MANUEL a su construire ce qui est très probablement le laboratoire ACAR le plus performant du monde. Longue est la série de ses mesures, et parmi elles se trouvent des études qui nous renseignent sur les réalités de la structure électronique des supraconducteurs. Commençons par l'image ACAR des métaux alcalins sur laquelle nous voyons sans difficulté leur surface de FERMI sphérique (Fig. 9). L'idée de la surface de FERMI sphérique est profondément ancrée dans la tête de nos amis théoriciens, tandis que la surface de FERMI des supraconducteurs les plus intéressants est beaucoup plus complexe, comme nous pouvons le voir par exemple pour le V_3Si ([11] Fig. 10). Notons en même temps l'accord presque incroyable entre les mesures de MANUEL et la prédiction faite à partir du calcul de structure de bande de JARLBORG.

Les nouveaux supraconducteurs à haute température sont des céramiques, donc dotés d'une structure bien plus riche encore que ne le sont les alliages et les composés intermétalliques (Fig. 11). Ils ont fait irruption par la grande porte dans la famille des substances supraconductrices, en battant pratiquement dès le début tous les records de température critique (Fig. 12). Ceci a été ressenti comme une surprise, aussi totale que bienvenue, dans un champ de recherche qui s'était résigné à se pencher sur un phénomène bien académique, parce que dépendant pour son existence d'une ambiance de froid extrême et donc très coûteuse à établir et à maintenir. Mais (et qui s'en étonnera?) à l'enthousiasme initial succéda la dure réalisation que dans le monde merveilleux de ces supraconducteurs, toute expérience était en réalité dix fois plus complexe qu'avec les bons vieux supraconducteurs métalliques, et parfois aussi plus périlleuse: par exemple pour la température critique, toutes sortes de records ont été annoncés, alors que la bonne température maximale est actuellement celle de 133 K pour $Hg\,Ba_2\,Ca_2\,Cu_3\,O_x$ mesurés par OTT et SCHILLING à l'EPFZ.

Pour le théoricien, le problème de fond provient du fait que la haute température laisse supposer des interactions plus fortes par rapport aux énergies des excitations présumées responsables du phénomène. Parmi ces excitations se trouvent notamment les phonons, dont Alex MUELLER, dans un travail récent, a clairement montré qu'ils jouent un rôle essentiel. Dans cette situation, la question que tout le monde se pose est celle de l'existence d'une surface de FERMI. Cette surface de Fermi existe-t-elle aussi dans les nouveaux composés, ou bien ces derniers s'arrangent-ils avec une distribution d'impulsion différente, telle que prédite par certains des modèles les plus avant-gardistes? C'est devant cette question que le spécialiste ACAR sent la possibilité de voir une image comme dans les alcalins, ou du moins comme dans le V_3Si. Il se hâte de plonger un échantillon monocristallin d'un de ces nouveaux oxydes dans son appareil.

Mais voilà qu'une première difficulté apparaît: Il est quasiment impossible d'obtenir des monocristaux de taille et de perfection suffisantes. Certaines substances sont maclées, et il a fallu apprendre à les démacler avant de pouvoir les utiliser. D'autres contiennent des ondes de densité de charge; d'autres encore présentent plusieurs phases.

Les examens de la chaleur spécifique, de la thermodilatation, de la diffraction des rayons X et des neutrons montrent des transitions de phase nombreuses et très subtiles. Toutes ces complications sont-elles accidentelles, peu importantes pour la supraconductibilité, ou sont-elles au contraire liées aux propriétés essentielles de la supraconductibilité? En ce qui concerne la technique de l'annihilation des positrons, il est désormais très clair que la propension des céramiques à former des irrégularités de toutes sortes influence de façon essentielle les mesures. A l'image naïve qui voudrait que le positron s'annihile avec les électrons à partir d'un état de BLOCH de basse énergie, doit succéder la réalisation que les positrons peuvent se trouver dans toutes sortes d'états initiaux, piégés, voire même autopiégés comme l'ont montré récemment CAR, GILGEN et MANUEL pour l'arséniure de gallium. Un instrument de diagnostic valable pour la mesure de la pureté des états initiaux est la mesure des temps de vie du positron dans la matière sous investigation. Une telle mesure dans un système YBaCuO - PrBaCuO a été faite par SHUKLA, HOFFMANN, MANUEL et BARBIELLINI. Elle a donné un résultat fort intéressant: les temps de vie sont grands en dessous de 400 K. Au-dessus de cette température, ils sont en accord avec ceux qui sont prédits par un calcul de structure de bande ([13], Fig. 13). Ce résultat montre l'existence de pièges peu profonds pour les positrons. Curieusement, ces pièges, qui sont nombreux pour le composé supraconducteur avec Yttrium, disparaissent dans le composé avec Praseodymium, qui lui, n'est pas supraconducteur. L'existence de pièges est-elle liée à la supraconductibilité? Si on veut les éviter, il faut mesurer au-dessus de 400 K, soit 130°C. Cette mesure a été faite (Fig. 14) et elle a donné l'image la plus complète de la surface de FERMI d'un supraconducteur à haute température. Pour l'analyse de ces mesures difficiles, il a fallu recourir à des techniques sophistiquées de traitement des signaux. Mais le résultat est qu'une surface de FERMI existe bien dans les nouveaux supraconducteurs, et qu'elle se trouve exactement à l'endroit prédit par les calculs de structure des bandes.

Ancienne et nouvelle Supraconductibilité

B.T. MATTHIAS n'a jamais été convaincu par la théorie BCS. Il lui reprochait de ne pas avoir de pouvoir prédictif pour les températures critiques dans les matériaux réels. Ce reproche a stimulé de nombreux physiciens à essayer de faire mieux avec la théorie BCS, alors que d'autres se sont attachés à remplacer BCS par quelque chose de plus évolué. C'est dans le cadre de cette perspective que j'ai entrepris, dès 1974, avec WEGER, ADAM, ASHKENAZI et DACOROGNA, de calculer *ab initio* la température critique d'un élément supraconducteur, le Niob. Le résultat de ce calcul était bon. Il se trouvait notamment confirmé que la présence d'une structure de bande non triviale (Fig. 15a) pouvait contribuer à l'augmentation de la température critique ([9], Fig. 15b). Fort de cette expérience, j'ai gardé jusqu'à ce jour l'espoir qu'une application minutieuse des idées BCS - Gorkhov - Eliashberg dans un environnement cristallin réaliste pourra même expliquer la supraconductibilité à haute température. Les mesures ACAR contribuent à dissiper les craintes d'une dynamique totalement inconnue dans ces céramiques. Le fait que des morceaux de surface de FERMI soient mis à jour en accord avec la

structure de bande calculée est une évidence très forte, si on se rend compte qu'une erreur ou une déviation d'un milliRydberg peut déplacer ou même faire disparaître des parties de ces surfaces. Et bon nombre de résultats acquis par mes collègues à Genève tendent à montrer un comportement plutôt «conventionnel»: Je mentionnerai les belles mesures de la chaleur spécifique par JUNOD qui ont montré un saut de la chaleur spécifique proche de celui prédit par BCS. C'est pourquoi nous avions entrepris de calculer le Niob. D'autres (RIETSCHEL) ont utilisé la même procédure pour calculer le Niob-étain, avec succès. Je ne connais pas encore de calcul analogue pour le Y Ba Cu O. Toutefois, Ole ANDERSEN possède un ensemble de résultats qui devrait lui rendre possible un calcul de Tc. En attendant, c'est avec plaisir que j'ai suivi la suggestion de Meir WEGER de revenir sur les calculs du paramètre d'ordre d'après les équations d'ELIASHBERG généralisées. Mais cette fois, au lieu d'un calcul de bande, nous utilisons certaines interactions modèles, dans le but d'obtenir des indications sur les données d'intérêt expérimental. La Fig. 16 montre un calcul à titre d'exemple: en haut un paramètre d'ordre en fonction de deux composantes dans l'espace des impulsions; en bas une densité d'état correspondante (avec BARBIELLINI, JARLBORG, SANTI, WEGER [14]). Comme exemple d'une comparaison expérimentale, citons le travail sur la densité d'état mesurée par microscope à effet tunnel par RENNER et analysée avec une technique de filtrage (avec BARBIELLINI, FISCHER, RENNER, WEGER [13], Fig. 17). A en croire le résultat de cette analyse, dans le cas du supraconducteur BSCCO, le paramètre d'ordre serait de symétrie **d**. Cette question de symétrie est liée à la question de la nature physique des forces. Et sur la nature de ces forces, il est encore permis de spéculer.

Applications et Espoirs

Une technologie nouvelle sera toujours comparée très sévèrement à celle qui a l'avantage d'exister déjà et qu'on n'a pas envie de remplacer, à moins que la technologie nouvelle ne soit plus performante et meilleur marché, ou qu'elle puisse rendre un service qui ne peut être obtenu par d'autres moyens. C'est cette dernière considération qui a conduit nos amis du CERN à faire de nombreuses applications qui n'auraient pas existé sans la supraconductibilité. L'introduction d'innovations sur le marché à grande consommation s'est avérée plus difficile, et les céramiques ne se sont jusqu'ici pas montrées très coopératives. Néanmoins, il y a eu des efforts et des progrès qui ont suivi la percée spectaculaire. La Suisse, qui se devait de faire un effort particulier vu le rôle spécial joué par le laboratoire IBM à Rueschlikon, a conduit plusieurs programmes du Fonds National, appelés SUPRA, SUPRA2. et le Programme National 30 dont je préside la commission d'experts. Dans une récente brochure, nous avons pu décrire les progrès accomplis dans le cadre de ce programme. Ces progrès se situent en majorité du côté de l'accroissement de la connaissance. Mais il y a des entrées dans la technologie, et notamment dans la technologie des hautes puissances électriques. Mentionnons par exemple le développement réussi d'un limiteur de courant sur la base d'un anneau supraconducteur à haute température (Fig. 18). Cet appareil a des propriétés techniques

inégalées par la technique conventionnelle, et pourra pénétrer dans un marché sans tuer une technologie qui fonctionne déjà de façon satisfaisante.

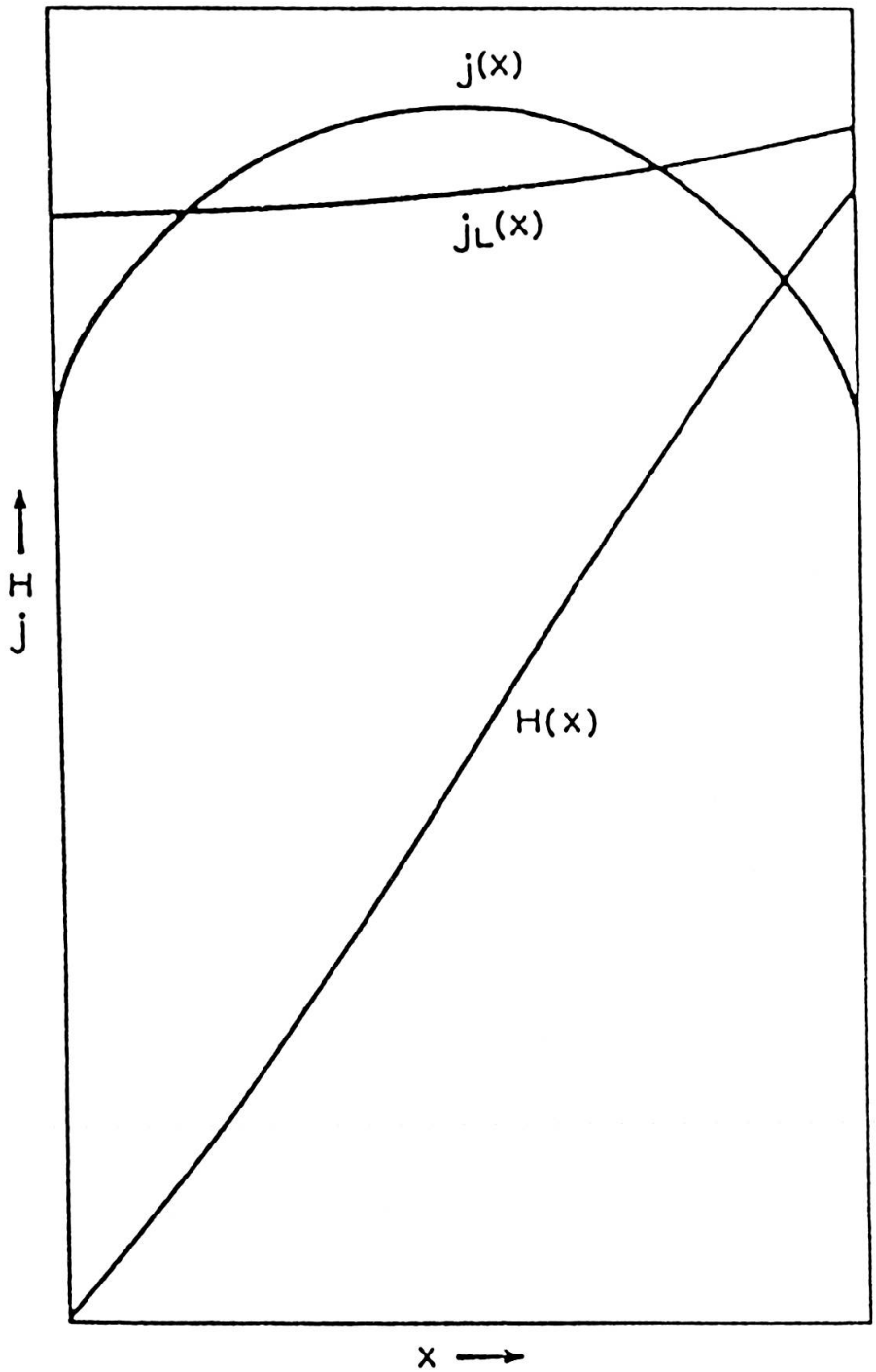
Parmi nos espoirs figure bien sûr aussi celui de voir Genève profiter de l'effort consenti pour la recherche en supraconductibilité. Des chances existent actuellement. Le Professeur FISCHER étudie la possibilité de fils à haut courant et haut champ avec des composés à base de soufre, dans le cadre d'un projet EUREKA. En même temps il a eu des succès remarquables dans le domaine des couches minces, avec possibilité d'application en microélectronique supraconductrice, donc dans un domaine encore peu développé en Suisse. Lors d'une conférence de presse récente, la direction d'ABB nous a annoncé qu'elle envisageait la construction d'un transformateur supraconducteur auprès de sa filiale genevoise, Sécheron. Le professeur FLUECKIGER étudie les fils conducteurs céramiques avec une progression constante des résultats obtenus.

Pour terminer, et pour ne pas décevoir mes amis qui connaissent la chose, je mentionnerai le fait que nos travaux sur les effets thermoélastiques ont abouti, grâce aux laboratoires STRAUMANN et en collaboration avec Samuel STEINEMANN, à un produit industriel — et ceci dans l'industrie horlogère. La Fig. 19 montre par l'exemple d'un atelier horloger du seizième siècle, que la physique des métaux a sa place depuis longtemps dans cette vénérable industrie. La Fig. 20 montre des mesures de la précision d'un garde-temps muni, soit d'un spiral conventionnel, donc ferromagnétique, soit d'un spiral en Niob-Zircon, donc paramagnétique. On voit que la montre traditionnelle subit des écarts de marche substantiels à quelques Gauss déjà, alors que la montre paramagnétique marche encore dans les hauts champs. En bas, vous voyez la montre ingénieur de IWC de 1989, qui porte la désignation 500000 A/m, ce qui sonne mieux que 0.6 Tesla, mais qui revient toujours à 6000 Gauss. Malheureusement, après avoir vendu une première série de ces montres, IWC a eu des difficultés à se procurer des nouveaux spiraux et a donc arrêté la production de cette montre. Cette histoire, qui m'a beaucoup appris sur les difficultés d'une innovation véritable, ne s'est donc pas (encore) terminée sur un «happy end». Mais le dernier rnot n'est peut-être pas dit. La palme ira à celui qui maîtrisera les matériaux au point de pouvoir assurer des livraisons sans interruption.

C'est ici que s'arrête mon récit sur mes aventures avec la supraconductibilité. Nous savons beaucoup sur ce phénomène, et sur les progrès qu'il a inspiré dans d'autres domaines. Les forces nucléaires elles-mêmes ne sont-elles pas décrites à l'aide d'un modèle qui est construit en analogie avec la théorie des supraconducteurs? Mais autant que les enseignements que nous tirons de ce domaine du savoir, j'admire le fait que la supraconductibilité a su garder son mystère. C'est un domaine où il y a encore place pour une expérience insolite, et pour une idée nouvelle, donc pour un moment de bonheur pour ceux qui s'intéressent sincèrement à la physique de la rnatière condensée.

Mon vœu final est que l'Université de Genève maintienne encore longtemps, en son sein, une Faculté des Sciences qui puisse transmettre l'amour pour la scienœ fondamentale aux générations qui vont nous suivre.

Genève le 8 novembre 1994



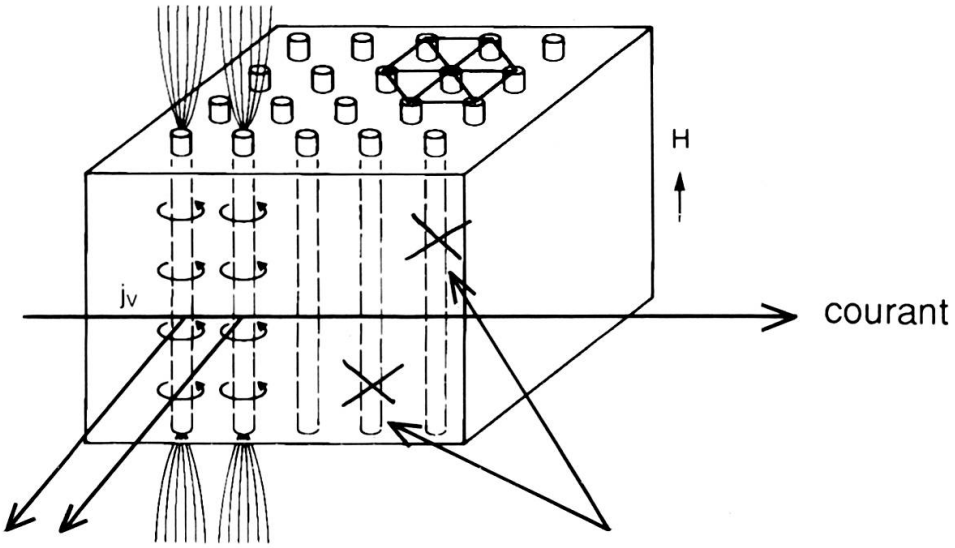
Films Supraconducteurs
Phys Rev, 1958

FIG. 1

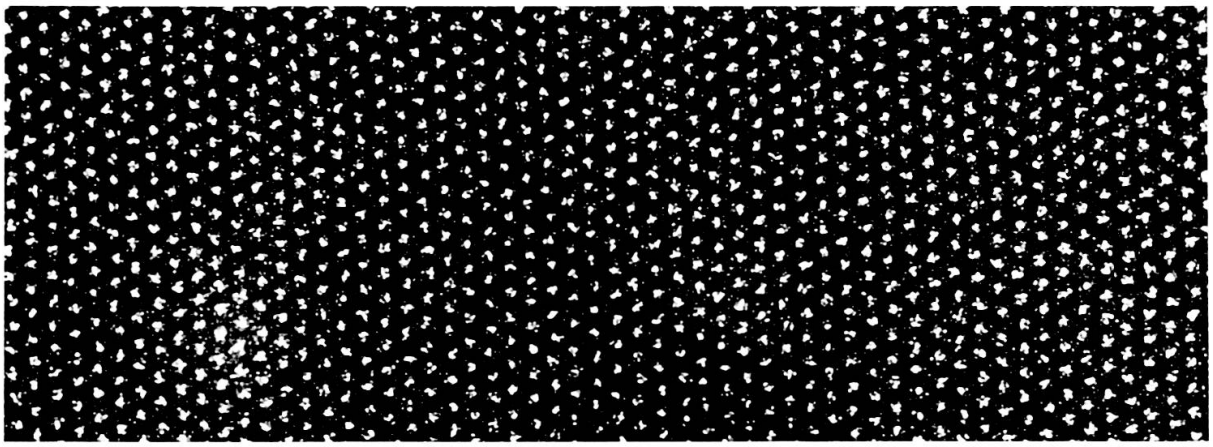
Films supraconducteurs

Réseau d'ABRIKOSOV

de lignes de flux magnétique (h / 2e)



forces de Lorentz Centres d'ancrage



Observation du réseau d'ABRICOSOV dans

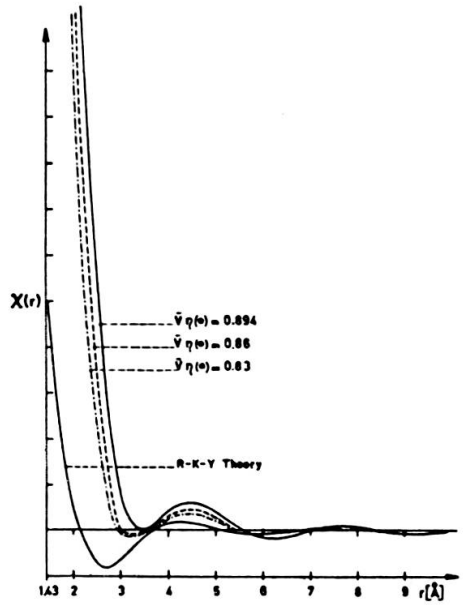
$Bi_2 Sr_2 Ca Cu_2 O_8$

FIG. 2

Réseau d'Abricosov et ancrage des lignes de flux.

Polarisation magnétique

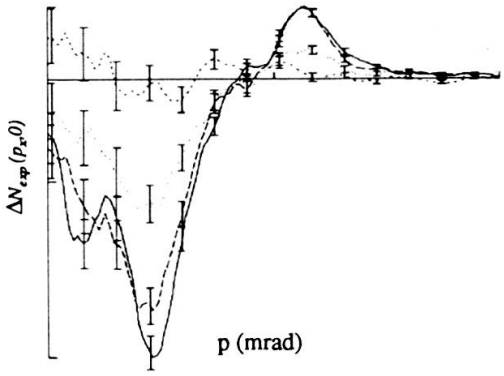
(avec Schrieffer, Giovannini, 1964)



Polarisation dans Ni

Positrons

(avec Genoud, Manuel, Walker, 1993)



Champ moléculaire du Tb et du Pr

EPR

(avec Shaltiel, Williams, Wernick, 1962)

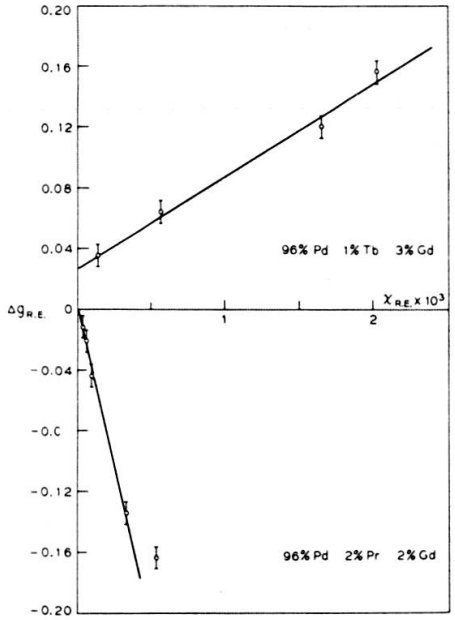


FIG. 3. Etudes du champ moléculaire

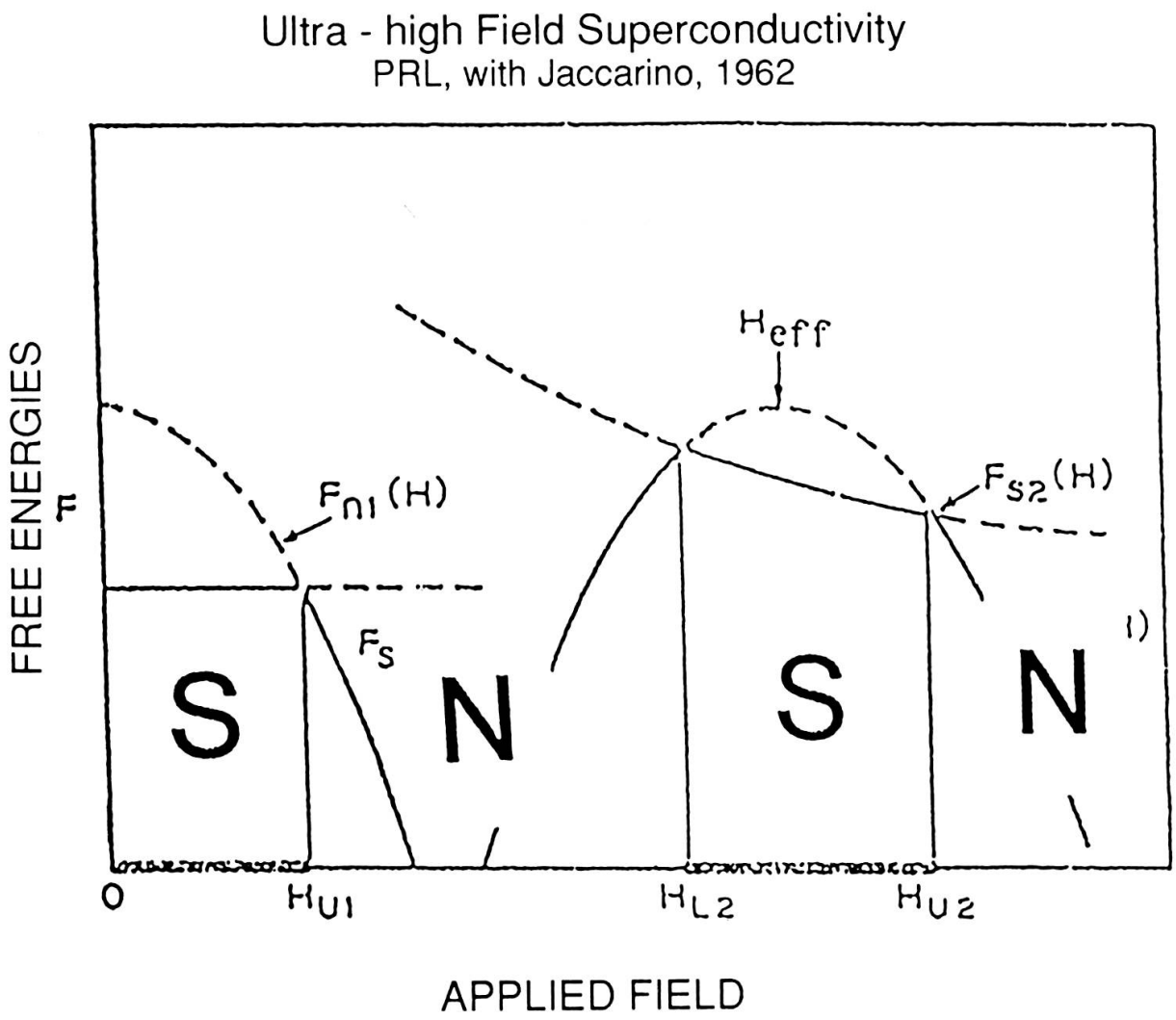


FIG. 4

Supraconductibilité à très haut champ

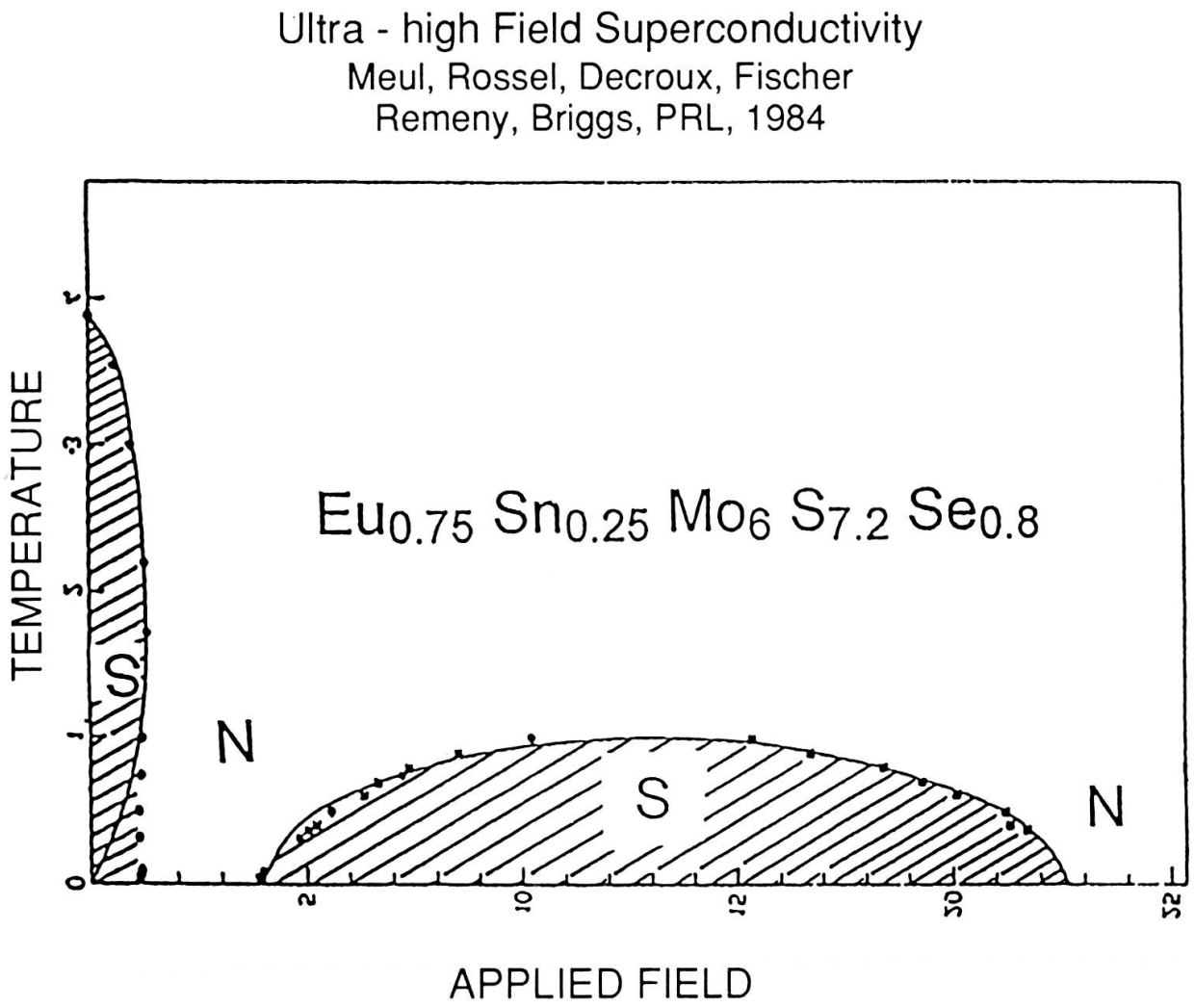


FIG. 5

Supraconducteur magnétique compensé

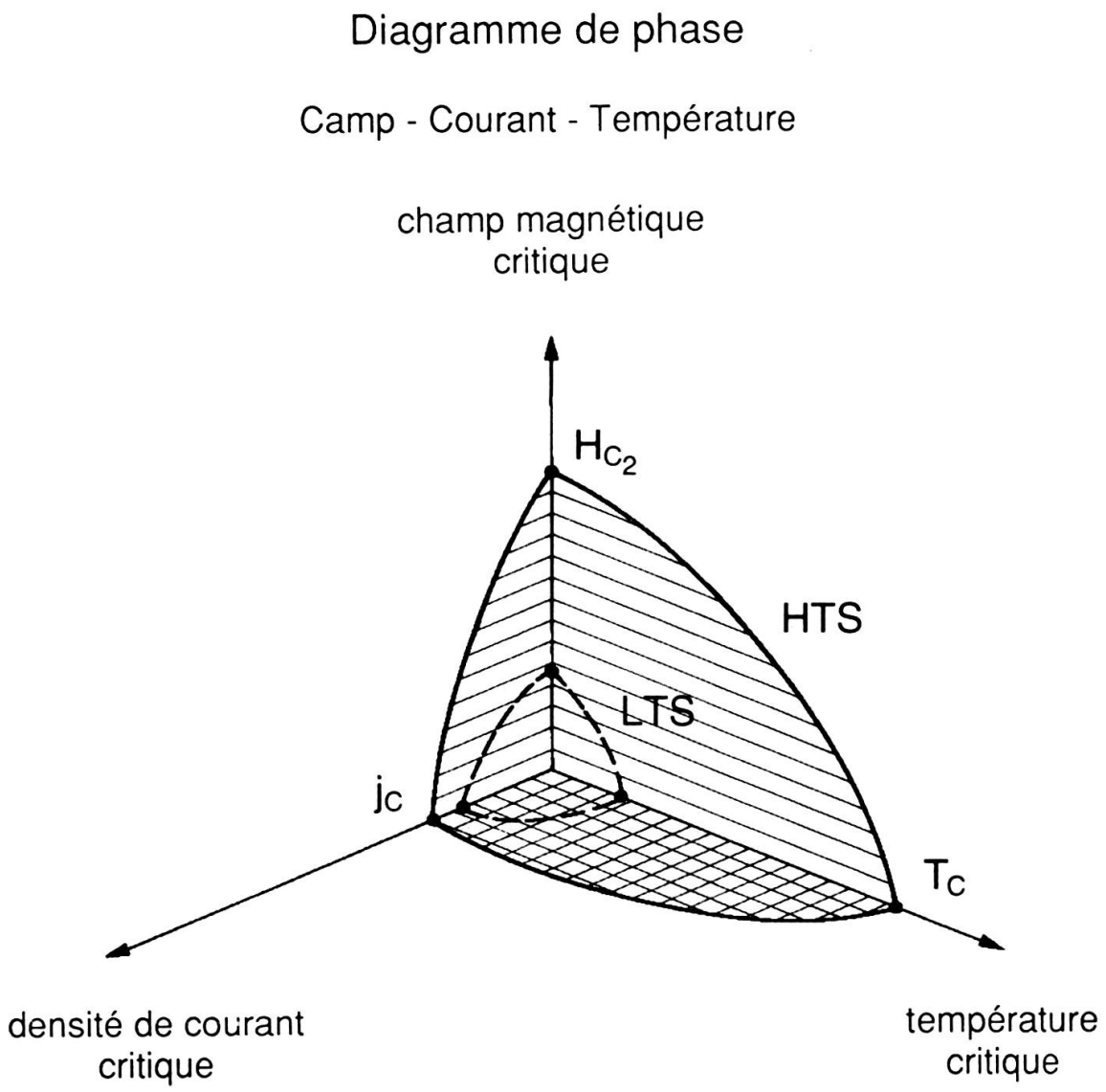
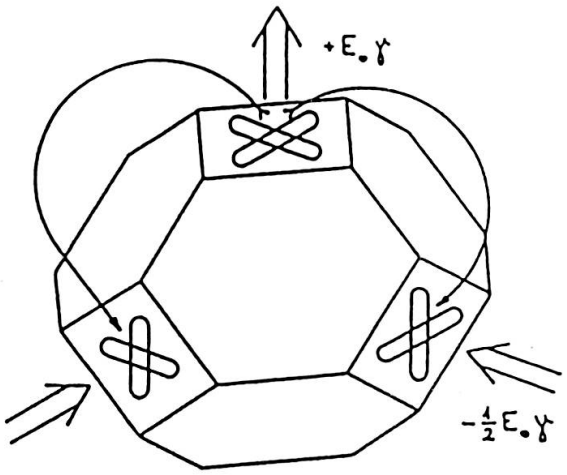


FIG. 6

Diagramme de phase Champ - Courant- Température

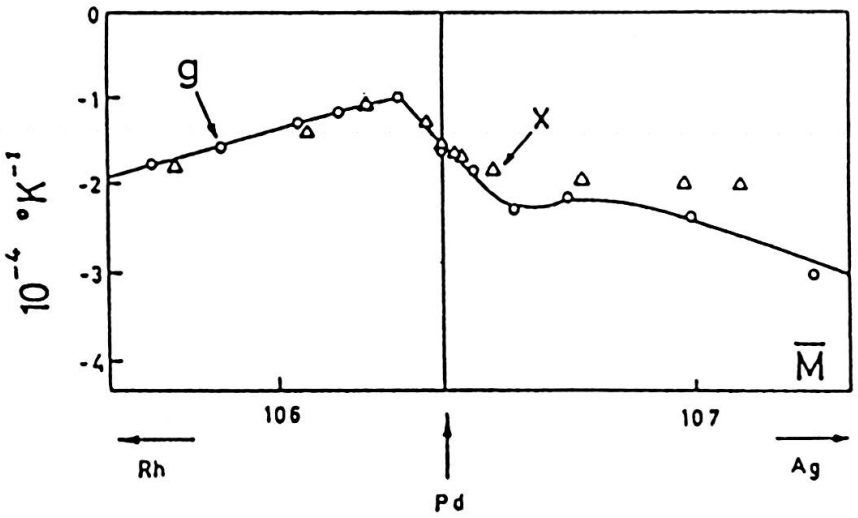
THE TRANSFER MODEL FOR
THERMOELASTIC ANOMALIES



$$\Delta G\,\gamma^2/2 = -\Delta\chi_d\,E_0^2\gamma^2/g_0^2\beta^2$$

Brillouin zone of the f.c.c. structure of Pd

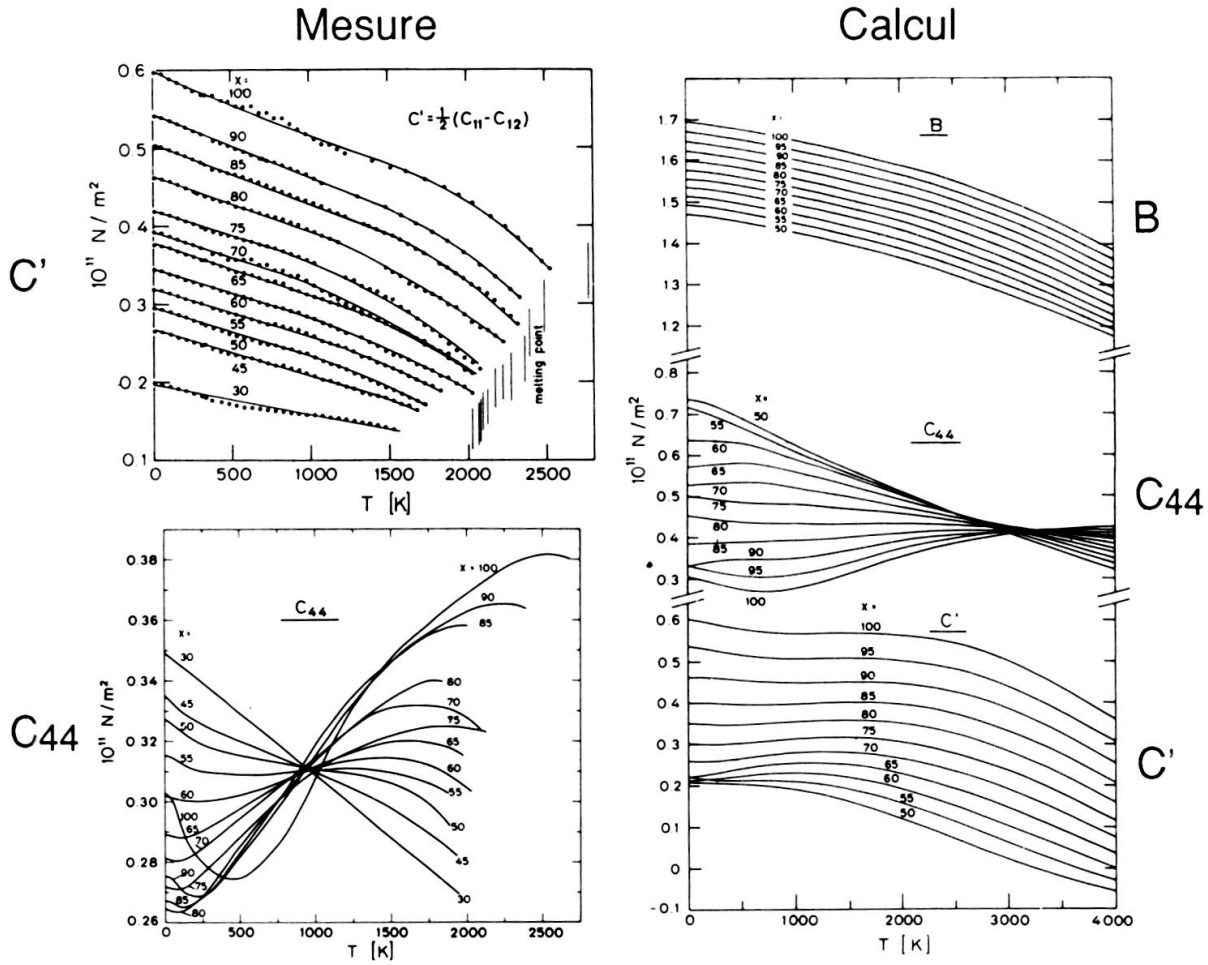
TEMPERATURE COEFFICIENTS
SUSCEPTIBILITY AND MODULUS



Temperature coefficients of the shear moduli, measured and calculated

FIG. 7

Corrélation entre susceptibilité magnétique et élasticité

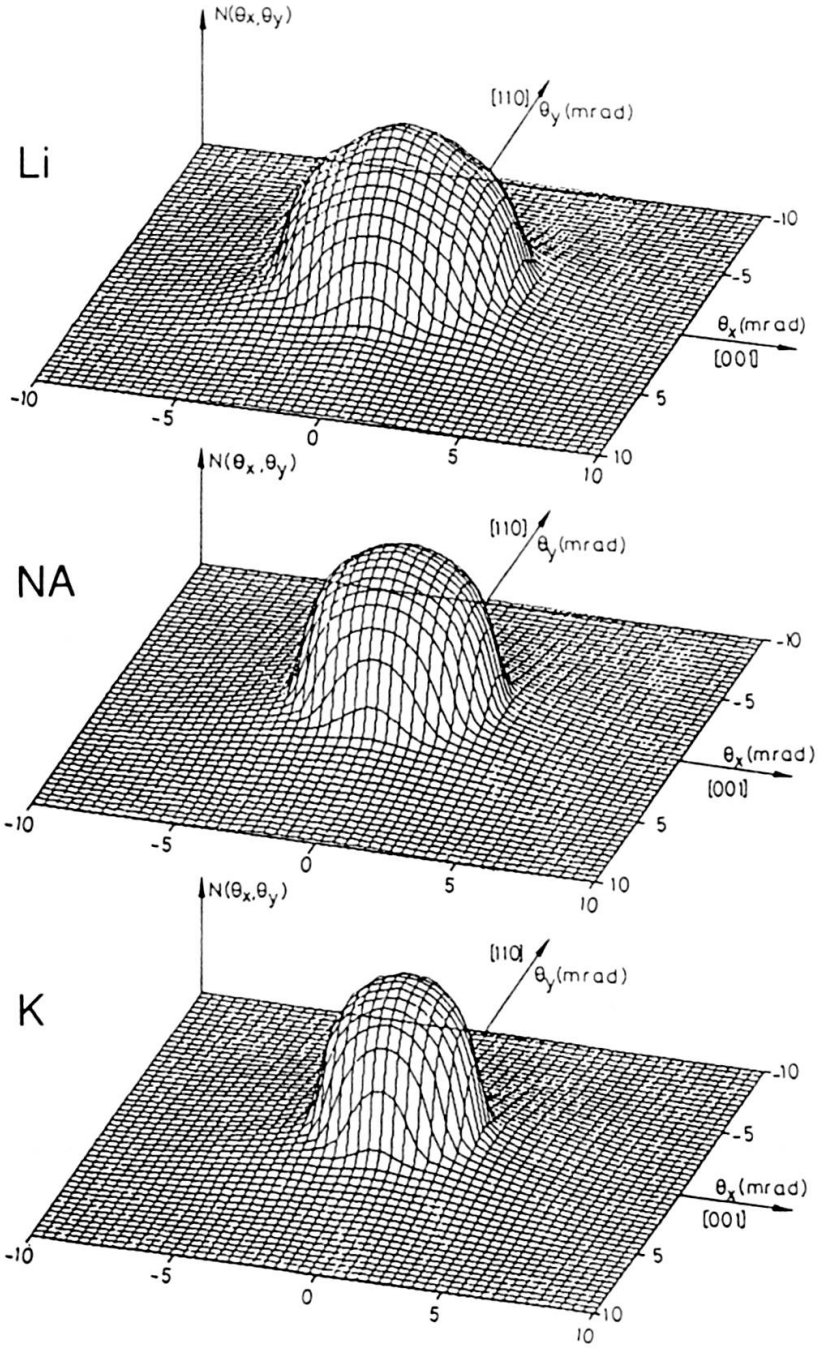


Couplage électron - phonon
et anomalies thermoélastiques

avec Ashkenazi, Dacorogna, Talmor,
Walker et Steinemann, 1978

FIG. 8

Thermoélasticité

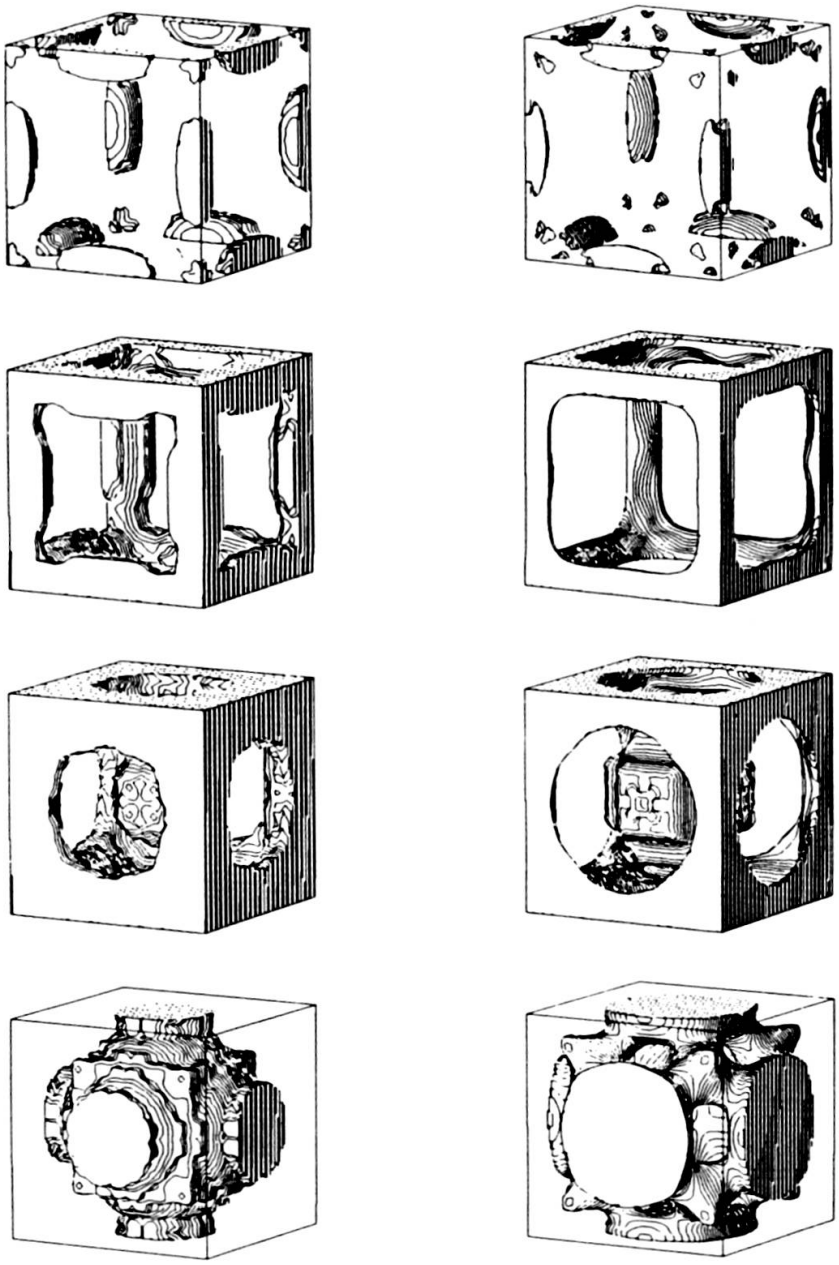


Surfaces de FERMI presque sphériques
dans les métaux alcalins Li, Na, K

mesurés par MANUEL et al.
Annihilation des positrons

FIG. 9

Surface de FERMI des métaux alcalins par la méthode ACAR



Expérience Théorie

V_3 Si

Annihilation des positrons
avec Manuel, Jarlborg (P. R, 1983)

FIG. 10

Surface de FERMI du V_3Si calculée, et par ACAR

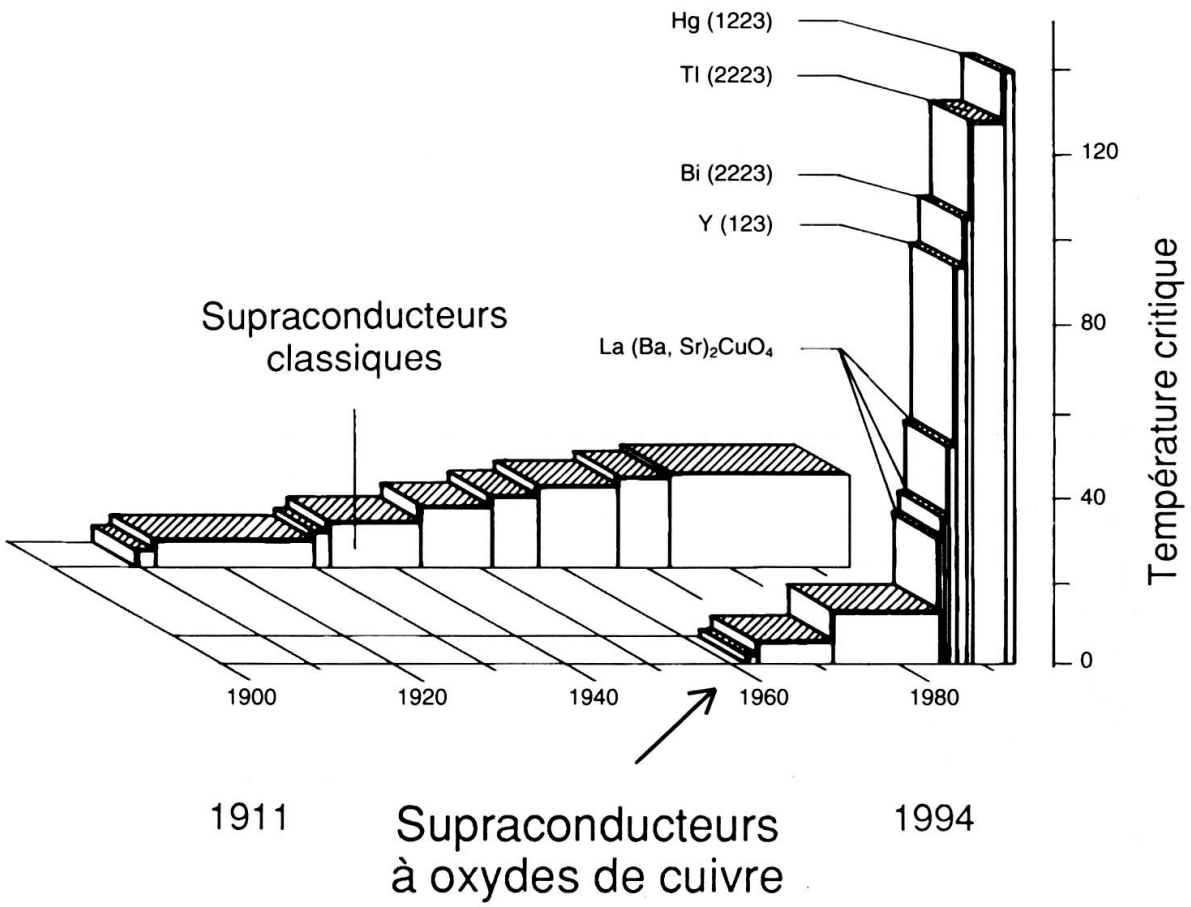
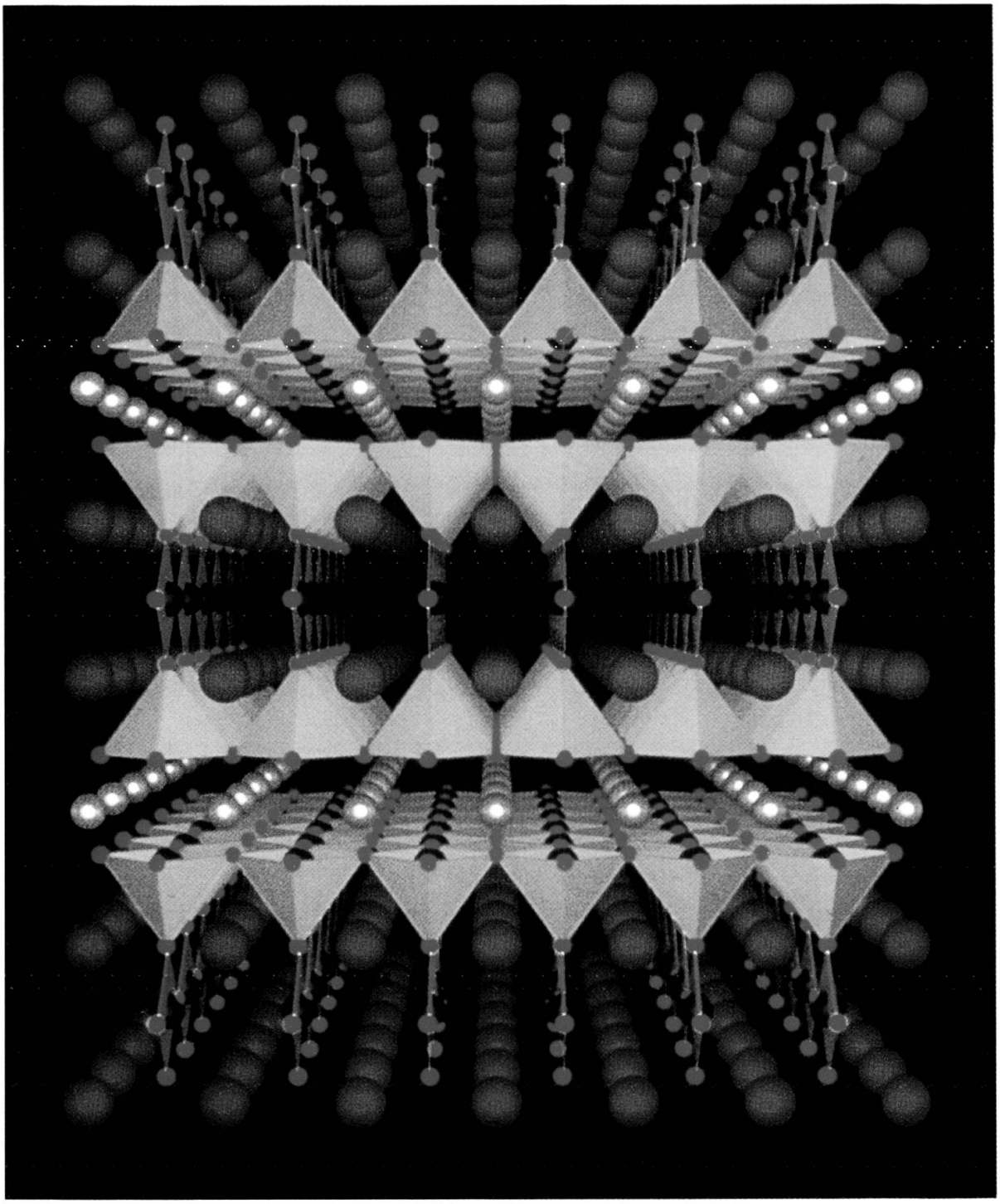


FIG. 11

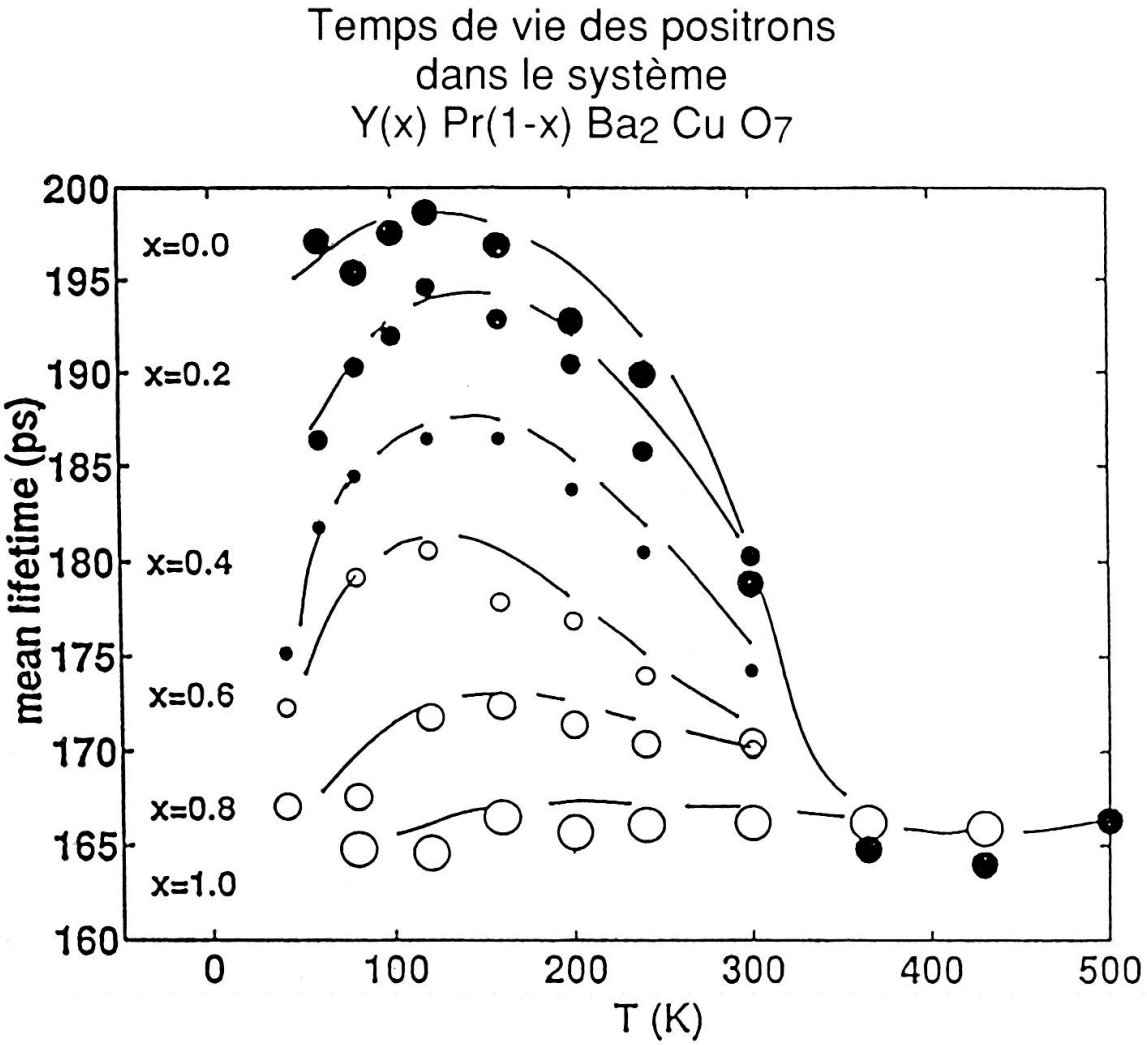
Progression de Tc



Structure de Y Ba_2 Cu_3 O_7

FIG. 12

Structure de l'Y $Ba_2Cu_3O_7$



avec Shukla, Hoffmann, Manuel,
Walker, Barbiellini, Peter (1994)

FIG. 13

Temps de vie des positrons dans l'Y_x $Pr_{(1-x)}$ Ba_2 Cu O_7, *versus* T

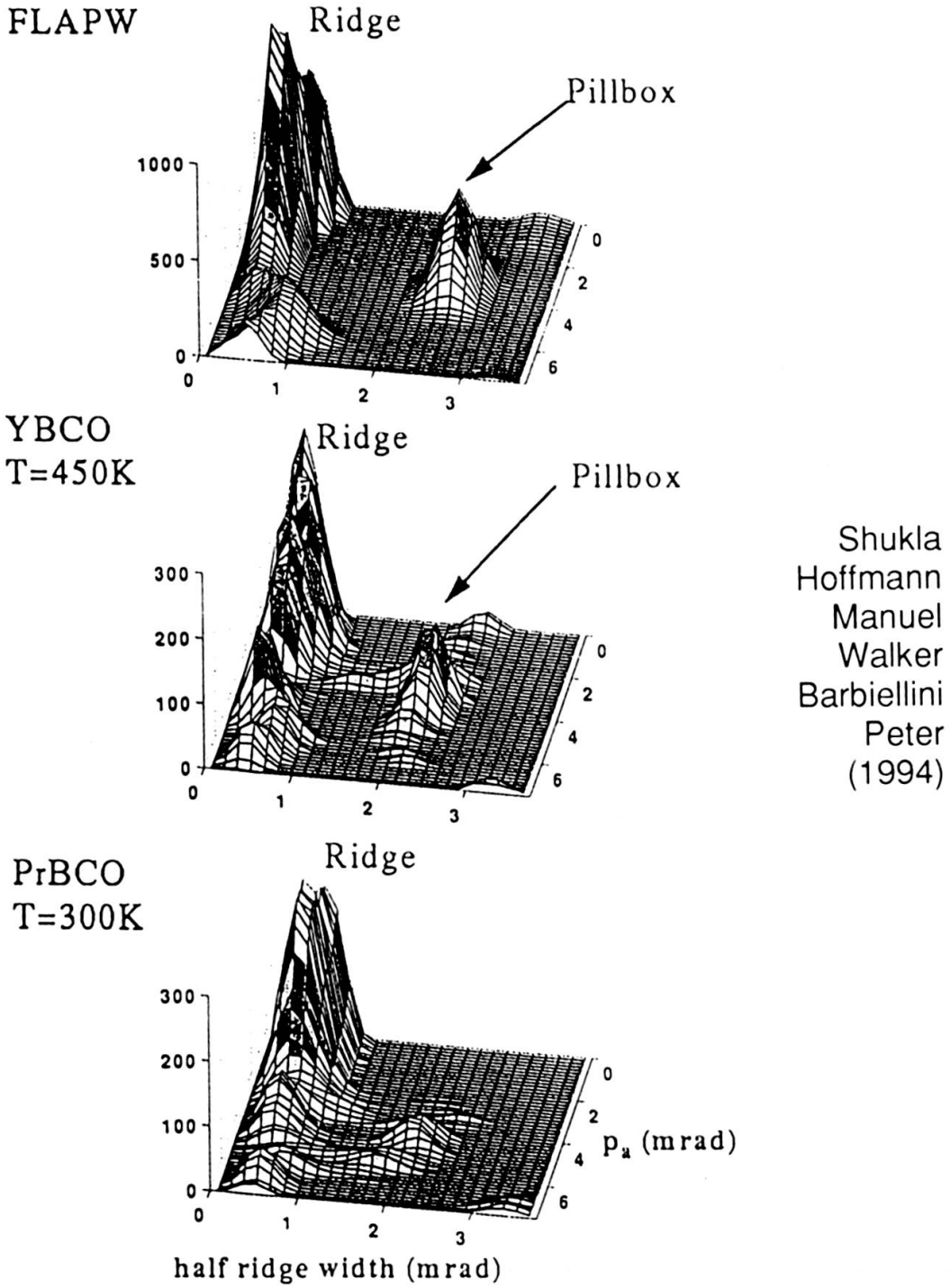
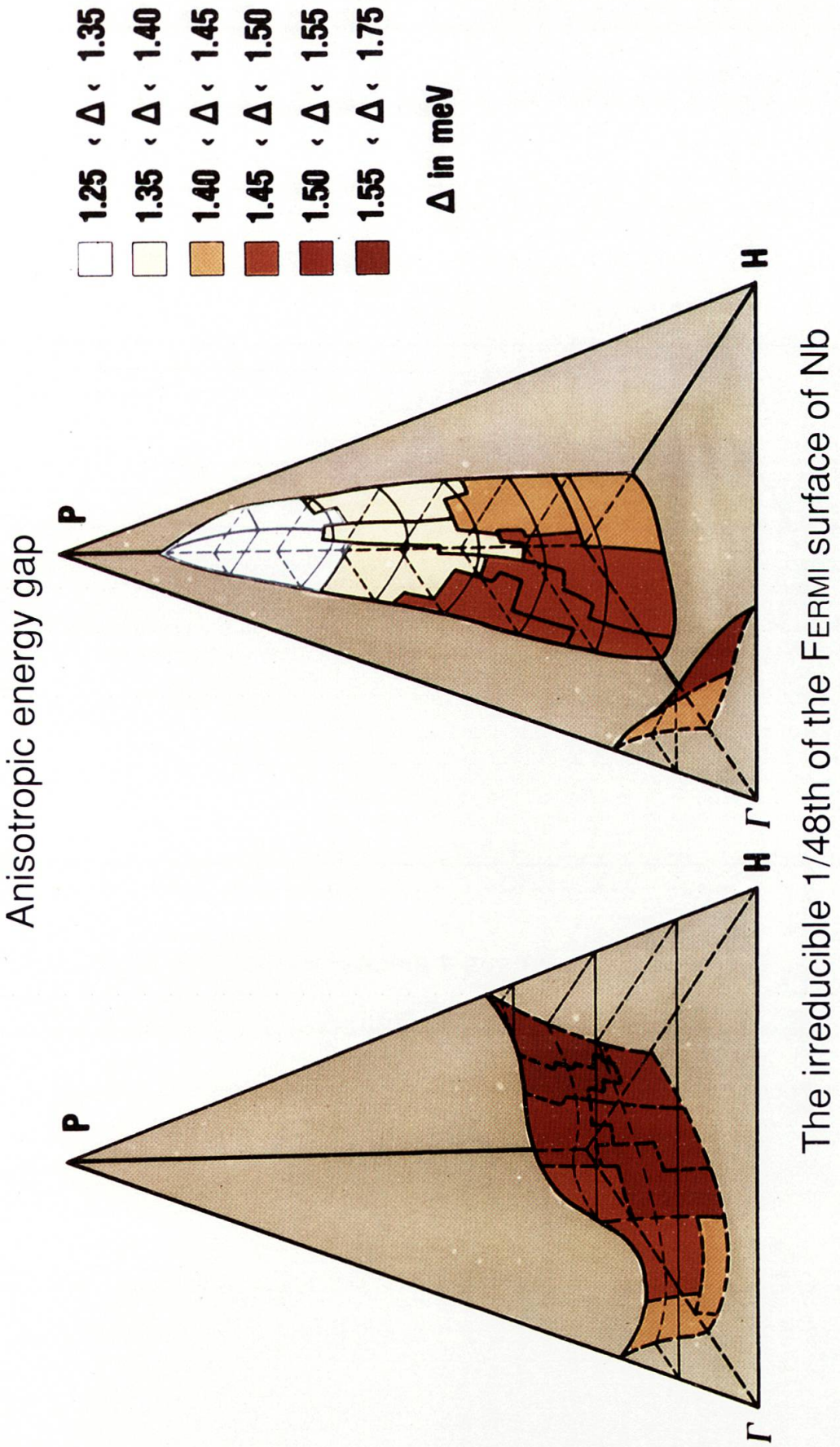


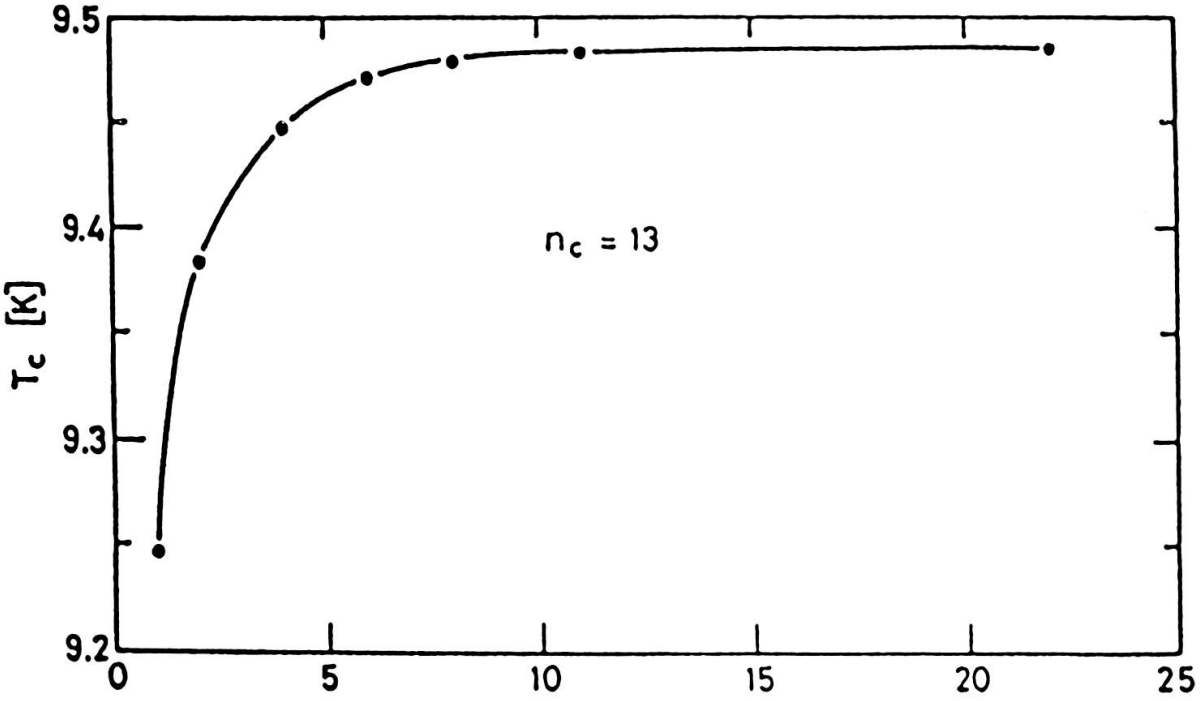
FIG. 14

Surface de FERMI dans Y $Ba_2Cu_3O_7$ et Pr $Ba_2Cu_3O_7$ par ACAR



The irreducible 1/48th of the FERMI surface of Nb with calculated energy gaps.

FIG. 15a



Tc versus # pièces

(influence de l'Anisotropie)

FIG. 15b

Calcul de Tc pour Niob

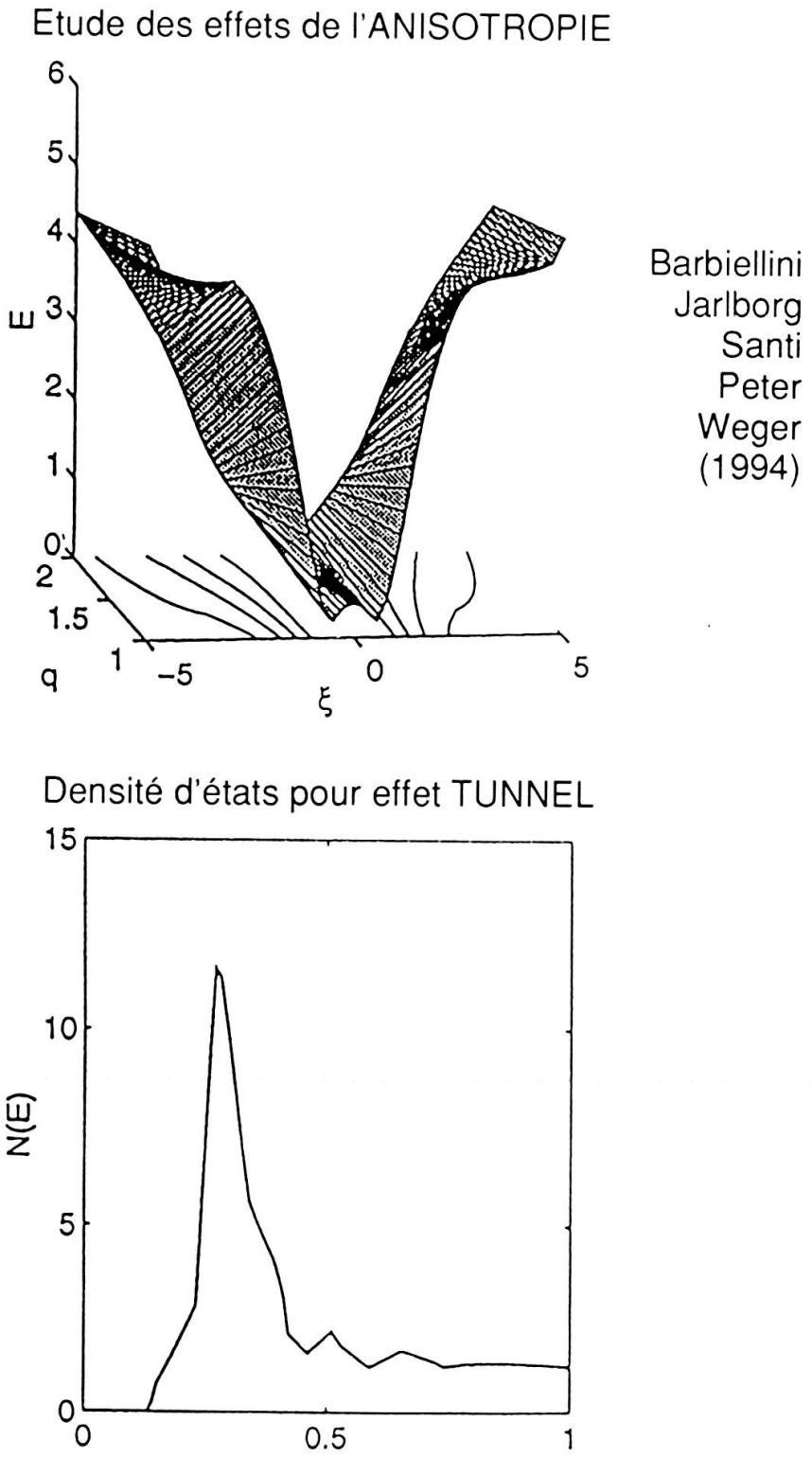
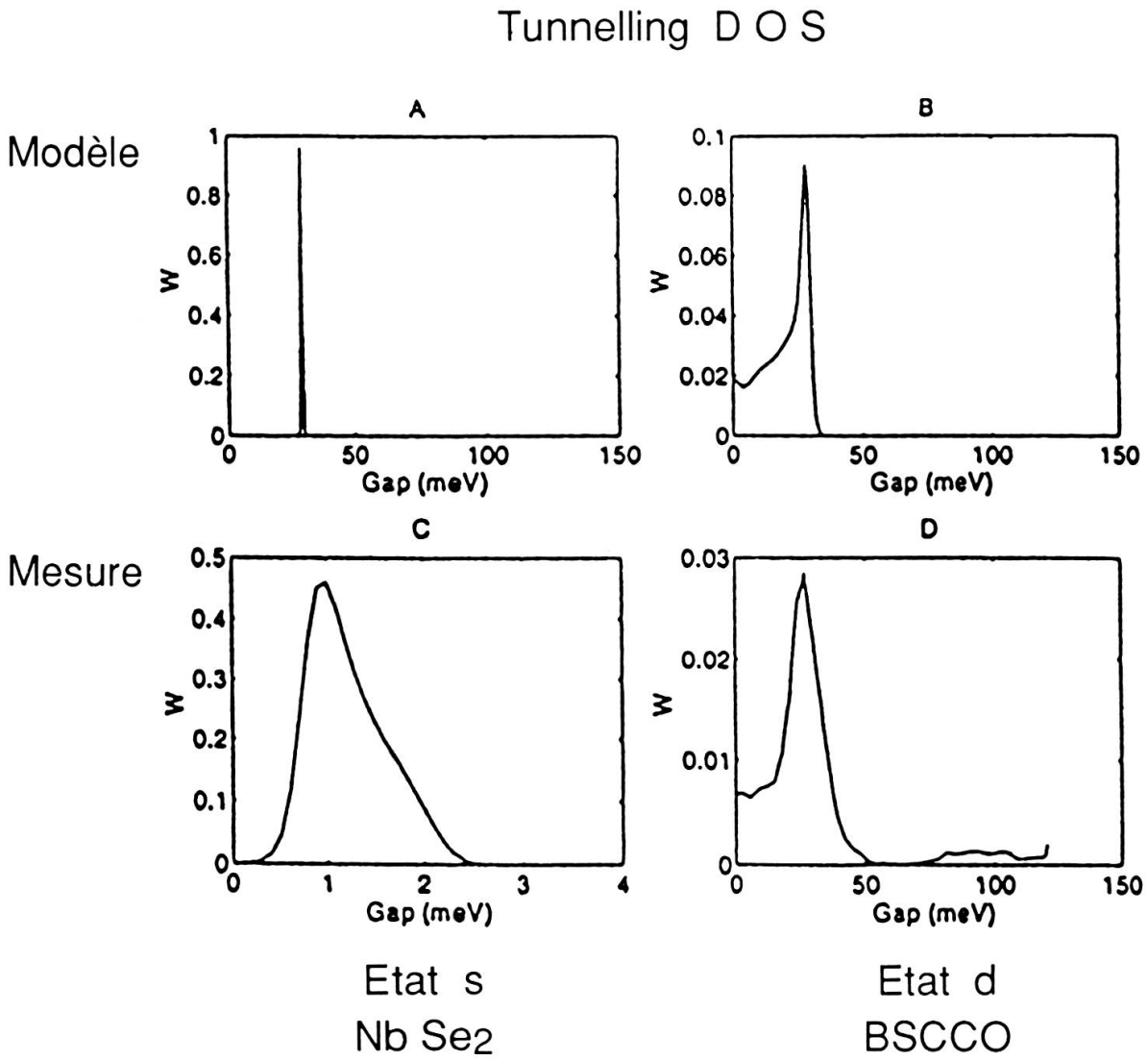


FIG. 16

Théorie pour supraconducteurs haute température



Etudié par filtre MAX ENT

avec Barbiellini, Fischer, Renner, Weger (1993)

FIG. 17

Effet Tunnel dans le $Bi_2Sr_2CaCu_2O_x$

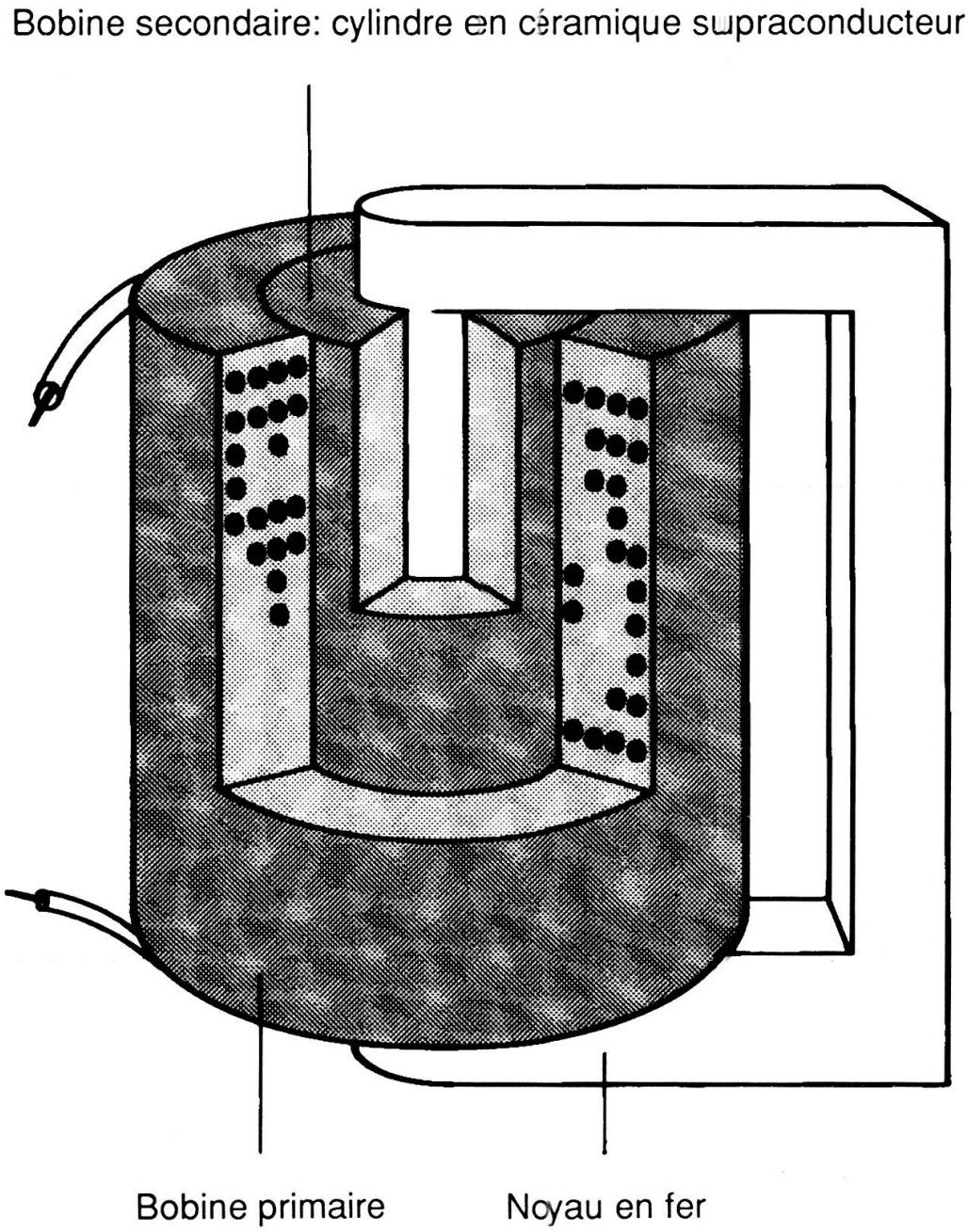


FIG. 118

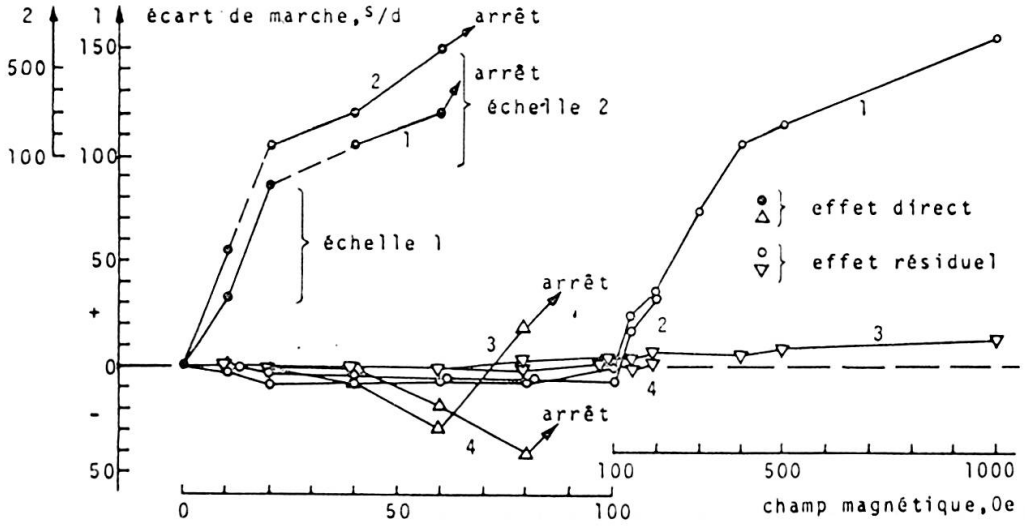
Limiteur de courant en technologie HTS (par ABB)

Jost Amman, 1568

Fig. 19

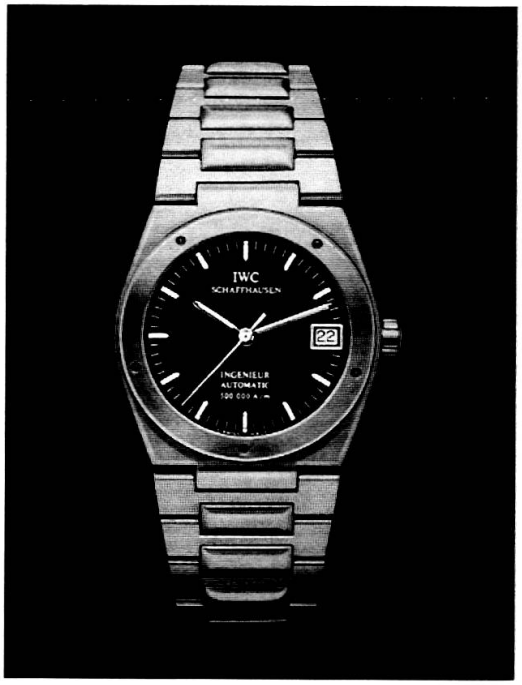
Atelier horloger du 16ème siècle

MATERIAUX NON-MAGNETIQUES pour la COMPENSATION THERMIQUE de l'ELASTICITE



STEINEMANN, PETER

Journal Suisse de l'Horlogerie, 1 / 2, pp. 1-4 **1968**



1989: l'Ingenieur® 500 000 A/m d'IWC.

FIG. 20

Spiraux thermocompensés

RÉFÉRENCES

1. Penetration of Electromagnetic Fields through Superconducting Films. *Physical Review*, 109, pp. 1857 (1958).
2. Long-Range Polarization Effects in Rare-Earth-Doped Palladium (with D. SHALTIEL, J.H. WERNICK, H.J. WILLIAMS, J.B. MOCK & R.C. SHERWOOD). *Physical Review Letters*, 9, pp. 50–52 (1962).
3. Long-Range Polarization in High Susceptibility Metals (with B. GIOVANNINI, J.R. SCHRIEFFER). *Physical Review Letters*, 12, pp. 736–738 (1964).
4. *Physics of Metals of High Paramagnetic Susceptibility IUPAP-12th General Assembly, Basel 26-28 Sept. 1966*. Verhandlungen der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft 1966.
5. Résonanœ paramagnétique de ions Gd dilués dans des composés $(La_{(1-x)}TRX)RU_2$ (with J. DUPRAZ). *Helv. Phys. Acta*, 40, 359 (1967).
6. Ultra-High-Field Superconductivity (with V. JACCARINO). *Physical Review Letters*, 9, pp. 290–292 (1962).
7. Matériaux non magnétiques pour la compensation thermique de l'élasticité (with S. STEINEMANN). *J. Suisse Horl.*, 1/2, 1–4 (1968).
8. Magnetische Supraleiter (with P. DONZÉ, Ø. FISCHER, A. JUNOD, J. ORTELLI, A. TREYVAUD, E. WALKER, M. WILHELM, B. HILLENBRAND). *Helv. Phys. Acta*, 44, 345 (1970).
9. Unrestricted Solution of the Eliashberg Equations for Nb (with J. ASHKENAZI and M. DACOROGNA). *H.P.A.* 50, Fasc. 2, pp. 267–278 (1977).
10. Elastic Constants in Nb-Zr Alloys from Zero Temperature to Melting Point Experiment and Theory (with J. ASHKENAZI, M. DACOROGNA, Y. TALMOR, E. WALKER and S. STEINEMANN). *Physical Review* B, 18, 4121 (1978).
11. Fermi Surface in V_3Si from Positron Annihilation (with A.A. MANUEL AND T. JARLBORG). Proc. 4th Conf. «Superconductivity in d- and f-band Metals 1982», ed. W. BUCKEL, W. WEBER, Kernforschungszentrum Karlsruhe, *RFA*, pp. 49–52 (1982).
12. GAP distribution of the tunneling spectra in $Bi_2Sr_2CaCu_20_x$ and some other superconductors (with BARBIELLINI, FISCHER, RENNER, WEGER). *Physica C* pp. 55–60 (1994).
13. Positron trapping and Fermi Surfaœ Studies in $Y(_{1-x})\ Pr_{(x)}\ Ba_2\ Cu_3\ O_7$ (with SHUKLA, HOFFMANN, MANUEL, BARBIELLINI, PETER, WALKER). To be published, *Phys. Rev.* B.
14. Solutions of Eliashberg equations for an electron phonon coupling with a cutoff (with WEGER, BARBIELLINI). *Z. Phys. B* 94, pp. 387–393 (1994).