

UNIVERSITAT AUTÒNOMA DE BARCELONA

DOCTOR *HONORIS CAUSA*

LOUIS MICHEL

DISCURS LLEGIT
A LA CERIMÒNIA
D'INVESTIDURA
CELEBRADA
A LA SALA D'ACTES
D'AQUEST RECTORAT
EL DIA 27 DE SETEMBRE
DE L'ANY 1983

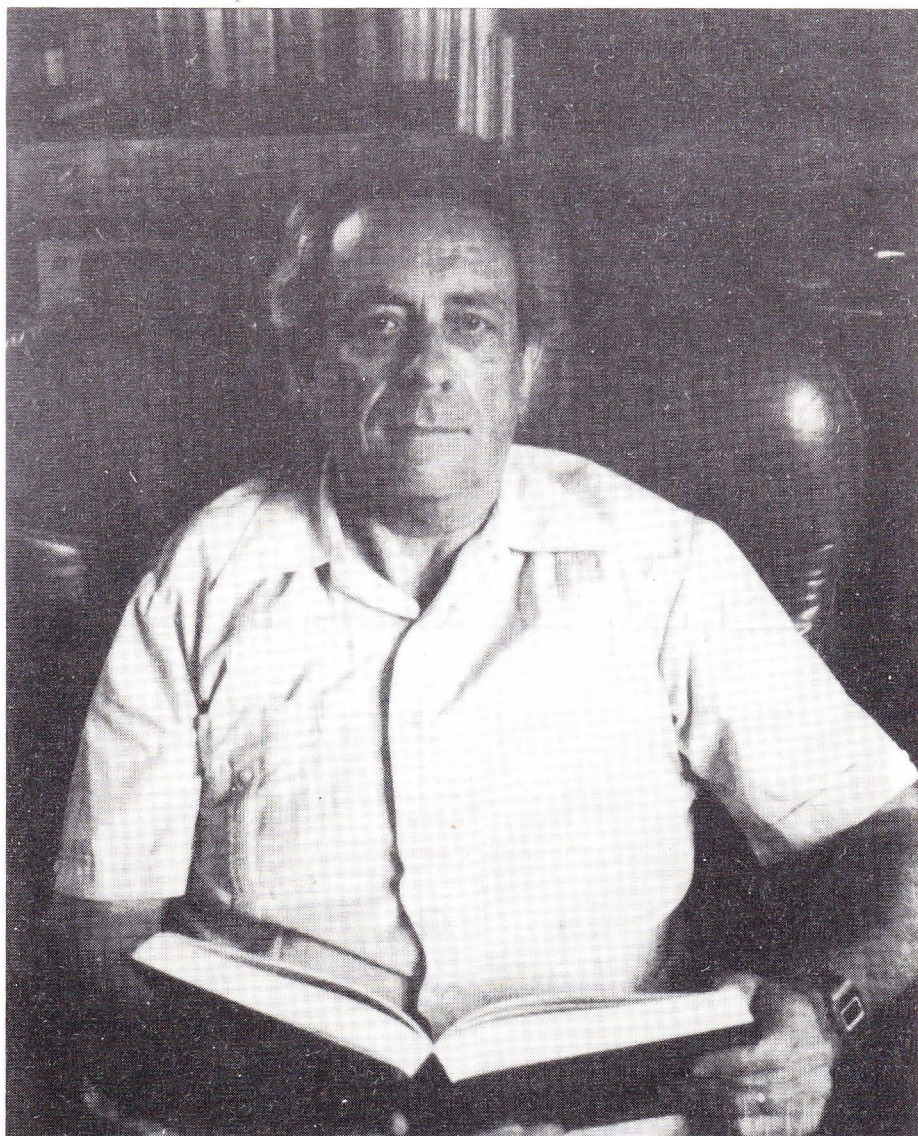


Universitat Autònoma de Barcelona
Servei de Biblioteques



1500372695

BELLATERRA, 1983



UNIVERSITAT AUTÒNOMA DE BARCELONA



DOCTOR
HONORIS CAUSA
LOUIS MICHEL

DISCURS LLEGIT
A LA CERIMÒNIA
D'INVESTIDURA CELEBRADA
A LA SALA D'ACTES
D'AQUEST RECTORAT
EL DIA 27 DE SETEMBRE
DE L'ANY 1983

BELLATERRA, 1983

P. 224232

Il·lustració de la coberta:
La Alhambra. Detall del gran *Salón de Comares*

EDITAT I IMPRÈS
PEL SERVEI DE PUBLICACIONS
DE LA
UNIVERSITAT AUTÒNOMA DE BARCELONA

Bellaterra (Barcelona)
Dipòsit Legal: B-30.521-1983
Printed in Spain

LES SYMÉTRIES DES LOIS
DE LA PHYSIQUE

PER

LOUIS MICHEL

Digníssimes Autoritats, Rector Magnífic,
Estimats Col·leges, Senyores, Senyors.

Em sento molt emocionat pel meu nomenament com a Doctor Honoris Causa per la Universitat Autònoma de Barcelona. Dono les gràcies cordialment a tots els meus col·legues d'aquesta Universitat per l'honor que em concedeixen.

En cette occasion solennelle viennent à ma mémoire de nombreux souvenirs, sur plus de vingt ans, de bonnes relations avec les physiciens théoriciens espagnols et plus spécialement ceux d'ici. Ces contacts furent initiés par Claude Colín, l'attaché scientifique français au début des années soixante. Il partageait son temps entre Barcelone et Madrid. Il avait de nombreux projets qui furent interrompus par sa tragique mort accidentelle dans le massif de Montserrat.

J'habitais alors à Paris, en face de la maison d'Espagne à la Cité Universitaire. Les jeunes physiciens qui y habitaient avaient organisé un séminaire de physique théorique en catalan. Ils m'y invitèrent plusieurs fois. Ici j'ai eu le plaisir de voir naître et croître cette université. Malgré ces nombreux contacts je suis incapable de m'adresser à vous dans votre langue. Je vous prie de m'en excuser.

En cette occasion où nous célébrons ensemble la Science, je voudrais essayer de vous faire partager mon enthousiasme pour l'étude des symétries en Physique.

La notion de symétrie était déjà bien sentie par les hommes pré-historiques qui ornaient leurs poteries de dessins géométriques. Les artisans qui décorèrent l'Alhambra de Grenade en avaient une connaissance encore plus intime puisqu'ils utilisèrent la presque totalité des dix-sept groupes de symétrie cristallographique du plan. Cependant ce n'est qu'au début du XIX^e siècle, avec le concept mathématique de groupe que nous possédons l'outil le mieux adapté à l'étude des symétries.

Dès 1829 Hessel établissait la liste des sous-groupes finis du groupe orthogonal $O(3)$ des rotations et réflexions de l'espace à trois dimensions. L'étude des régularités des formes apparentes des cristaux avait alors retenu l'attention des physiciens depuis plus d'un siècle. En admettant que les cristaux consistaient d'un réseau régulier d'atomes, Bravais découvrait en 1850 les quatorze classes de réseaux à trois dimensions, complétant et corrigeant ainsi les travaux de Frankenheim. Les 65 classes de groupes cristallographiques construits avec les rotations et translations étaient déterminées par Sohncke en 1869. Il fallait y ajouter encore les réflexions. Ce fut fait indépendamment par le mathématicien suisse Schönflies et le minéralogiste russe Fedorov en 1891. Après avoir comparé leurs résultats par correspondance et s'être corrigés mutuellement quelques erreurs, ils nous léguèrent la classification définitive des 230 classes de groupes cristallographiques à trois dimensions.

Les physiciens de la fin du XIX^e siècle ne sont pas contents d'étudier la symétrie des cristaux! Parmi eux Pierre Curie s'intéressa aux systèmes physiques en interaction avec un champ élec-

tromagnétique. Il montra entre autres que les phénomènes physiques n'introduisent aucune asymétrie entre la droite et la gauche contrairement à ce qui nous est encore enseigné au lycée, en France tout au moins, avec le bonhomme d'Ampère et le tire-bouchon de Maxwell. Ses considérations sur la symétrie amenèrent Pierre Curie et son frère à découvrir la piézo-électricité, abondamment utilisée aujourd'hui pour mesurer les fréquences en radio ou dans nos montres. C'est encore à Pierre Curie que l'on doit les deux principes généraux suivants qu'il énonça en 1894:

Lorsque certaines causes produisent certains effets, les éléments de symétrie des causes doivent se retrouver dans les effets produits (...). Lorsque certains effets révèlent une certaine dissymétrie, cette dissymétrie doit se retrouver dans les causes qui lui ont donné naissance.

Ces principes expriment une règle générale mais, comme nous le verrons, l'étude de leurs exceptions est fascinante: il s'agit des brisures spontanées de symétrie.

Le rôle des physiciens est de trouver, par delà la symétrie des états physiques, celle des lois de la physique. Pour nous, sur terre, la direction verticale se distingue des directions horizontales: à cause de la pesanteur notre environnement est asymétrique. Mais pour la loi de gravitation universelle de Newton il n'y a pas de directions privilégiées: pour la dynamique newtonienne l'espace est homogène et isotrope. Cette théorie contient aussi une symétrie plus subtile, comme le montra Euler: l'état de repos n'est pas plus remarquable que ceux en mouvement rectiligne uniforme. C'est ce que nous appelons la relativité galiléenne.

La théorie de la relativité restreinte fondée par Einstein en 1905 a un groupe de symétrie différent qui est maintenant appelé le groupe de Poincaré. Ce groupe de Lie a aussi dix paramètres; il se

déforme et devient le groupe de Galilée lorsque la vitesse de la lumière est supposée infinie. Les équations de Maxwell sont invariantes par le groupe de Poincaré. Il n'a donc pas de temps absolu en physique.

C'est d'Einstein que nous avons appris la nature tensorielle des quantités physiques et la nécessité de la covariance des équations de la physique. La nature d'un système est caractérisée par des invariants et son état l'est en général par des covariants (position, vitesse...) dont la valeur dépend du système de coordonnées choisi par l'observateur. La physique doit être indépendante de ce choix. D'où la notion d'invariance passive; appliquée aux unités de masse, de longueur et de temps, elle nous donne l'analyse dimensionnelle. Il peut arriver pour certains phénomènes qu'il n'y ait pas de longueur caractéristique et qu'apparaisse une invariance d'échelle. Il y a alors possibilité de dimension fractale pour les quantités physiques.

On peut s'étonner qu'on ait compris assez tard (Engel 1916, Noether 1918) que les lois de conservation sont une conséquence de la symétrie des équations. Enfin il faut souligner que toutes les théories mentionnées sont indépendantes du sens du temps. Définissons plus précisément cette symétrie "T": si on renversait toutes les vitesses à un instant donné, les trajectoires resteraient inchangées mais elles seraient parcourues en sens inverse comme si on remontait dans le temps. En voyant dans un film un satellite tourner autour d'une planète on ne peut pas savoir si le film passe à l'endroit ou à l'envers à moins que dans le même film on voit un glaçon se former dans de l'eau qui se met à bouillir! L'équation de Fourier qui régit la diffusion de la chaleur n'est pas invariante par T. Mais alors, comment expliquer à partir d'une physique microscopique T invariante les phénomènes qui, à notre échelle, sont irréversibles dans le temps. Boltzmann et Einstein

ont traité ce problème et notre compréhension s'en est encore améliorée depuis, mais il reste encore des progrès à faire.

Le principe de covariance des équations a même été le guide principal pour inventer les théories nouvelles comme ce fut le cas de la relativité générale (équations d'Einstein, 1916) et de l'électrodynamique: équation de Dirac (1928) en interaction avec les équations de Maxwell. Ces dernières équations possèdent un nouveau type de symétrie dont le groupe, dit de jauge, est un groupe de fonctions définies sur l'espace-temps et prenant leur valeur dans le groupe $U(1)$ des phases complexes. En se basant sur un autre type de symétrie de son équation, Dirac prédit en 1931 l'existence de l'antimatière. Sans être cherché, l'anti-électron fut trouvé dans le rayonnement cosmique dès l'année suivante. On construisit à Berkeley le bévatron, le plus grand accélérateur de particules de l'époque, pour produire des antiprotons en 1956. La physique est-elle invariante par la conjugaison de charge, C , qui échange matière et antimatière dans les équations? La majorité des physiciens en était convaincue, mais en 1957 des expériences (suggérées par Lee et Yang) établirent que pour trouver les lois de la physique dans l'antimatière à partir de celles de la matière il faut en plus échanger droite et gauche (opération P). Il n'y a donc invariance que pour le produit CP . En 1964 on découvrit un phénomène rare (un mode de désintégration des mésons K^0_L) qui montrait que l'invariance CP de même que l'invariance T n'étaient qu'approchées, l'invariance par le produit CPT restant exacte et fondamentale.

Tous ces progrès ont eu une grande influence sur notre connaissance de l'histoire de l'univers qui était devenue au cours de ce siècle un objet de la science. Dès 1967 Sakharov montrait comment l'asymétrie entre matière et antimatière dans notre environnement n'était pas incompatible avec une explosion primordiale



(connue dans toutes les langues par l'allitération big bang) qui aurait été symétrique. Il fallait cependant supposer pour cela l'instabilité des nucléons, ce qui semblait farfelu à l'époque et qui, nous le verrons, semble très probable maintenant.

La constitution des atomes est simple: un noyau formé de Z (≤ 100) protons et de N (≤ 150) neutrons, entourés de Z électrons qui sont retenus autour du noyau par la seule interaction électromagnétique. Cela permet en principe d'expliquer la formation des ions, des molécules et leurs propriétés chimiques, ainsi que toutes les propriétés de la matière sous les différents états où nous l'observons: solides, liquides, gaz, plasmas.

Les protons et les neutrons sont liés à l'intérieur des noyaux par la force nucléaire, beaucoup plus forte que la force électrostatique. Il existe encore dans les noyaux un autre type de force, faible et responsable de certaines de leurs désintégrations (dites β) ainsi que de la production lente et abondante d'énergie dans les étoiles. Du point de vue nucléaire protons et neutrons sont identiques: leur échange est donc une symétrie approximative de la physique: elle correspond au groupe $SU(2)$, la quantité conservée correspondante étant appelée isospin. Avec la découverte depuis 1947 de centaines d'espèces de particules ayant une interaction nucléaire (les hadrons) cette symétrie approchée est devenue de moins en moins exacte tout en s'élargissant à un groupe de plus en plus grand: $U(2)$, $SU(3)$, $SU(6)$... Elle a cependant permis à Gell-Mann et Zweig (1964) de deviner l'existence des quarks, ces constituants des nucléons et de hadrons. Bien que les quarks soient essentiellement différents des particules ordinaires puisqu'il semble qu'on ne puisse pas les isoler, la preuve expérimentale de leur existence est bien établie depuis 1968. Ils ont un nouveau degré de liberté, appelé par plaisanterie couleur dont la dynamique, la chromodynamique, est une interaction fondamen-

tale dont la seule différence avec l'électrodynamique est l'extension de l'invariance de jauge des équations de Dirac et de Maxwell de $U(1)$ à $SU(3)$. Plus précisément, pour garder la cohérence de la théorie, l'introduction d'un groupe de jauge non abélien requiert l'adjonction d'un terme non linéaire dans l'équation de Maxwell. Les forces nucléaires (entre nucléons chacun constitués de trois quarks) deviennent un effet secondaire de la chromodynamique comme le sont les forces chimiques par rapport à l'interaction électromagnétique.

Avant d'étudier la révolution en cours dans la physique fondamentale depuis douze ans, il faut comprendre d'abord les nombreuses exceptions au principe de Curie. Dans son petit livre "Symmetry", son chant du cygne, Hermann Weyl attribue le raisonnement suivant à Archimède lui-même: lorsque deux objets identiques sont placés, l'un sur chaque plateau d'une balance parfaite, il n'y a aucune raison pour que la balance penche d'un côté; elle restera donc en équilibre. Oui mais savez-vous que le triangle formé à l'état d'équilibre par les trois atomes identiques d'oxygène d'une molécule d'ozone n'est pas équilatéral? Il est isocèle avec un angle au sommet de $58^{\circ}20'$. Ce qui montre que le groupe de symétrie G de la solution d'un problème physique peut-être plus petit que le groupe de symétrie Γ du problème.

La symétrie d'un état peut changer au cours de son évolution due à la variation d'un paramètre extérieur (température par exemple). Si elle augmente au cours d'une transformation réversible, dans l'autre sens elle diminuera: cette brisure spontanée de symétrie est une violation du principe de Curie. Un des plus anciens et surprenant exemple fut trouvé par Jacobi en 1834. La figure d'équilibre d'une masse de fluide incompressible sous l'influence de son interaction gravitationnelle et d'une rotation uniforme autour d'un axe Oz est un ellipsoïde aplati de symétrie

axiale Oz. Mais si le rapport sans dimension

$$t = \frac{\text{énergie cinétique de rotation}}{\text{énergie potentielle de gravitation}}$$

dépasse la valeur critique $t_0 = 0,137\dots$, la figure d'équilibre devient un ellipsoïde à trois axes inégaux. Cinquante ans plus tard Poincaré montrait que lorsque t continue à croître une infinité de bifurcations se produisent successivement; dès la première le centre de symétrie disparaît. Récemment Constantinescu, Radicati et moi avons trouvé une autre infinité de bifurcations à partir de la symétrie axiale. Les astres n'ont pas un moment cinétique assez élevé pour que la bifurcation de Jacobi soit observée. Par contre depuis quelques années on produit des états excités de noyaux atomiques avec de grandes valeurs du spin ($j > 50\hbar$). Bien que les calculs correspondants n'aient pas été faits pour les forces nucléaires, on a observé récemment des noyaux avec des moments quadrupolaires à trois axes inégaux et même d'autres sans centre de symétrie (ils sont dits en forme de poire!). Ce sont les galaxies qui, relativement, tournent le plus vite: la notre fait un tour sur elle-même en deux cents millions d'années (elle en a déjà fait une cinquantaine). Les considérations de Jacobi ne s'appliquent pas directement, mais toutes les simulations numériques indiquent pour les galaxies une bifurcation pour des valeurs de t voisine de t_0 . Or on connaît des galaxies ayant une plus grande valeur de t : pour certaines, comme la notre, cela est dû probablement à une sous-estimation de leur masse dans le halo central; les autres sont des galaxies en forme de barre: elles semblent bien être dans une phase instable. Notons enfin que les astres tournant sont un des rares cas où l'on peut prouver qu'une symétrie ne peut pas disparaître: il s'agit de celle par rapport au plan perpendiculaire au moment cinétique. Pour un fluide incompressible, la preuve est due à Lichenstein (1933); elle a été récemment étendue par Perdank

aux autres fluides et pour les rotations différentielles (c'est le cas du soleil). Ce résultat ne s'applique pas aux galaxies, comme vient de le montrer Bertin et on a en effet observé que plusieurs ont leur plan gauchi.

Dans toutes les branches de la physique on rencontre des brisures spontanées de symétrie. Elles sont assez nombreuses dans les transitions de phase du second ordre des cristaux, la symétrie cristalline diminuant du groupe Γ au groupe G , et la nouvelle phase étant souvent formée de domaines, les macles, de m types différents, m étant l'index du sous-groupe G dans Γ . La cristallisation à partir d'un liquide homogène, isotrope, est elle-même un exemple de brisure spontanée de symétrie.

Souvent donc la symétrie des états physiques ne reflète qu'une partie de la symétrie des lois physiques. Pourrait-il exister certaines symétries des lois qui ne soient jamais réalisées dans les états? Si elles existent, comment découvrir de telles symétries cachées? Prenons un exemple: supposons que les électrons d'un morceau de cuivre soient intelligents et intéressés par la physique. Ils ont remarqué que leur monde est triplement périodique et qu'il possède des directions privilégiées. Fascinés par les symétries ils ont même déterminé G , le groupe cristallographique de cuivre. Il leur a fallu faire preuve de pas mal d'abstraction pour trouver cette symétrie car il y a des dislocations locales et leur univers est borné. Mais seraient-ils assez intelligents pour trouver que les interactions entre les atomes de cuivre sont invariantes par toutes les translations et rotations? Celles-ci engendrent Γ le groupe d'invariance de la géométrie euclidienne dont G n'est qu'un sous groupe.

Depuis une douzaine d'années les hommes, eux, ont commencé à le faire. Une partie de la symétrie cachée a été trouvée. Nous

cherchons maintenant à l'agrandir pour englober toute la physique connue. Les interactions électromagnétiques, qui préservent la parité P et la conjugaison de charge C , et qui sont de portée infinie (le photon, γ , quantum de lumière ayant une masse nulle) et les interactions faibles qui violent P et C dont la portée est bien inférieure à 10^{-18} mètres, sont complètement différentes. Pourtant par un lent cheminement de dix ans, jalonné des travaux de Glashow (1961), Salam et Ward (1964), Weinberg (1967) et t'Hooft (1971) auxquels il faudrait ajouter ceux de bien d'autres physiciens comme Goldstone, Nambu, Higgs, Brout et Englert,... ces deux interactions sont mainenent décrites dans une théorie similaire à l'électrodynamique et à la chromodynamique, le groupe de jauge étant $U(2)$ dans ce cas là. Jamais on avait vu depuis Maxwell l'unification de deux domaines si distincts de la physique. Le groupe $U(2)$ de dimension 4 est spontanément brisé en $U(1)$: à ce sousgroupe correspond le photon γ ; aux trois autres directions de base correspondent trois quanta massif de spin 1, les W^\pm et Z^0 qui ont été découverts cette année au CERN avec les masses prévues: (aussi lourds que des atomes de masse atomique 90 et 100). Ces travaux du CERN sont en eux-mêmes une épopée: jamais tant de labeurs et de moyens ont été mis dans une expérience de physique. Ce succès en appelle un autre évident: l'unification des théories semblables basées sur les équations de Dirac et de Maxwell: le groupe de jauge minimum de cette grande unification est $SU(5)$. Mais quelque soit ce groupe, la désintégration spontanée du proton est une conséquence inéluctable de la grande unification. Toute la matière est métastable et se retrouve en électrons, neutrinos et photons. A moins d'un millième près, toute l'énergie contenue dans mc^2 se dissipe! Rassurez-vous; le temps de vie moyenne prévu pour le proton est de 10^{32} ans (à comparer avec $2 \cdot 10^{10}$ ans, l'âge de l'univers depuis le big bang). Huit gandes expériences souterraines sont en cours pour essayer de détecter cette désintégration.

Par un raisonnement de nature topologique t'Hooft et Polyakov concurent indépendamment, en 1974, un nouveau type de particules portant un monopole magnétique et dont l'existence serait impliquée par certaines théories de jauge à théorie spontanément brisée. C'est le cas de presque tous les schémas possibles de grande unification et des physiciens sont à la recherche de ces monopoles qui doivent avoir une masse de l'ordre de 10^{-8} grammes (soit plus de 10^{16} fois celle du proton). Les monopoles magnétiques catalyseraient la désintégration des protons en la rendant très rapide. Nous ne craignons plus de manquer d'énergie si un jour nous possédons assez de ces monopoles! En quelle proportion se trouvent ils dans l'univers? Tout dépend de certains détails de l'histoire de celui-ci dans la première seconde qui suivit le big bang, que nous concevons avec la symétrie des lois de la physique avant qu'une transition de phase se soit produite ultérieurement avec une brisure spontanée de symétrie. Quelques physiciens pensent même que nous sommes dans une des "macles" correspondantes et que les autres macles nous sont peut-être inaccessibles par échange de signaux. Probablement nous ne pourrions avoir une connaissance plus précise du passé de notre univers que lorsque toute la physique, y compris la gravitation, sera unifiée. Des physiciens y travaillent en utilisant un concept mathématique nouveau, plus général que celui de groupe, appelé supersymétrie et qu'on sent encore mieux adapté à la physique des particules. Actuellement, en reprenant une idée qu'eurent, il y a presque soixante ans, Kałuza et Klein pour unifier la gravitation et l'électromagnétisme, et en l'entendant avec la supersymétrie à la gravitation et à la grande unification, certains décrivent notre univers comme une variété d'onze dimensions, les sept autres que celles de l'espace temps étant recourbées en une sphère de rayon bien inférieur à 10^{-30} centimètres. L'évolution de cette théorie physique fondamentale dépendra des observations que nous espérons faire des divers modes de désintégration des protons et

peut-être d'autres phénomènes inattendus que nous pourrions découvrir, aussi bien à l'échelle des particules qu'à celle de l'univers, grâce aux moyens d'investigations de plus en plus puissants dont pourraient disposer les physiciens, et certainement aussi d'une connaissance encore plus intime et plus subtile de la notion de symétrie.

CONTESTACIÓ

DE

MANUEL GARCÍA DONCEL

Digníssimes autoritats,
Rector Magnífic,
Senyores, Senyors

C'est pour moi un grand honneur et aussi un grand plaisir de vous exposer les mérites scientifiques du Professeur Louis Michel. Il a été pour moi un maître depuis le temps de ma thèse doctorale jusqu'à mes recherches en physique théorique les plus récentes. En risquant que mon discours devienne trop personnel, je vais essayer de présenter sa personnalité scientifique telle que je l'ai vécue au long de mes contacts avec lui.

Mon premier contact avec Louis Michel fut une lettre écrite de sa main à Madison le 9 août 1964. A cette époque, je voulais travailler sur les symétries internes des particules élémentaires. Entre parenthèses, ce fut un article de divulgation du Professeur Murray Gell-Mann, publié en février 1964 par Scientific American, qui réveilla en moi un vif intérêt pour ce sujet. Bien qu'il ne parlait pas encore des quarks, il y faisait une présentation du «chemin octuplet» —introduit par lui-même et par le Professeur Yuval Ne'eman— qui encourageait vivement à s'introduire dans ce domaine de la symétrie interne SU(3) et de ses représentations. Sur-tout parce que dans ce même article, Gell-Mann faisait la prédiction de la particule Ω^- , qui était nécessaire pour compléter le dé-

cuplet défini par des résonances, et dont la découverte serait annoncée à la même revue deux mois plus tard. Ce fut pour moi une découverte émouvante. Je pense que, à ce moment-là, il n'y avait aucun «catedrático» espagnol en possession de chaire et spécialiste en particules élémentaires. Encouragé par Monsieur Claude Collin, qui, comme on nous disait il y a un moment, a fait un grand service à la physique théorique espagnole et spécialement à la catalane, je demandais une bourse au gouvernement français en même temps que j'écrivais à Louis Michel en lui proposant de travailler sur le SU(3). Dans sa réponse du 9 août 1964 il me disait:

Le sujet des symétries des particules à interaction forte est excellent. Beaucoup de travaux sont faits dans ce sujet. Parmi les manuscrits en cours, tout un groupe de travaux (*Gürsey, Pais, Radicati*) inspirés par la théorie des *supermultiplets* de Wigner (de 1937 —passant de l'isospin SU2 à SU4) donne SU6 comme supermultiplet de SU3. Ce qui groupe comme états les plus beaux, les mesons $8 \times 0^-$, $8 \times 1^-$, $1 \times 1^-$, ($\pi, \kappa, \eta, \rho, \omega, \phi$) et les barions $8 \times \frac{1}{2}^+$, et les $10 \times \frac{3}{2}^+$, ce qui est remarquable.

Notons qu'il ne cite pas des articles publiés mais des «manuscrits en cours» sur la symétrie SU(6) qu'on venait de découvrir et qui combinait le SU(3) avec le spin. C'était pour moi une découverte encore plus émouvante. Notons aussi qu'il me recommandait de lire Wigner. Plus bas, il me répétait la même recommandation:

Les bons livres sont rares (pour le moment limitez-vous aux noms sûrs: Dirac, Fermi, Pauli, Wigner et la collection des Landau-Lifshitz).

Louis Michel était alors bien connu au monde de la physique. Il était un des rares physiciens français qui, peu préoccupé par les disquisitions philosophiques de la mécanique ondulatoire à la mode dans certaines écoles, travaillait au premier rang de la nouvelle science de la physique des particules. Il était un des rares phy-

siciens français qui, peu préoccupé par les disquisitions philosophiques de la mécanique ondulatoire à la mode dans certaines écoles, travaillait au premier rang de la nouvelle science de la physique des particules. Il était membre permanent à l'Institut des Hautes Études Scientifiques de Bures-sur-Yvette, et avait formé à l'École Polytechnique une équipe très vivante de jeunes physiciens théoriciens. Tous les physiciens de particules connaissaient bien le «paramètre ρ de Michel», et tout le monde savait que c'était bien lui qui avait découvert le nombre quantique qu'il fallait lire «parité isotopique» bien qu'on l'écrivait «G». On savait en plus que beaucoup d'expérimentateurs luttaient avec la formule de Bargmann-Michel-Telegdi.

Quand, beaucoup plus tard, j'ai voulu faire une brève histoire des Particules, Champs et Symétries, j'ai bien vu qu'on ne pouvait pas se passer de ces découvertes. La première était importante pour la théorie des interactions faibles. C'était une étude de 1950 sur la désintégration ordinaire du lepton μ donnant un électron et deux neutrinos indétectables. A cette époque, il y avait une soixantaine de prédictions sur le spectre d'énergie de l'électron. Louis Michel, en exploitant l'invariance relativiste (formulations de Dirac et de Fermi) et la symétrie de permutation entre les quatre leptons (généralisation des travaux de Pauli et de Fierz), prouva que tous ces spectres formaient une famille à un seul paramètre, qu'il appelait ρ , de valeur comprise entre 0 et 1 (Publication 2). C'était donc ce paramètre qu'il fallait mesurer. La mesure était délicate et elle semblait au début compatible avec 0. Mais, après dix ans de croissance monotone, quand j'ai connu Michel le paramètre ρ était bien fixé à la valeur $\frac{3}{4}$ exigée par la théorie vectorielle-axiale de Gell-Mann et Feynmann. Ces théories tenaient bien compte de la violation de la parité, peu avant proposée et expérimentalement décelée. Quand, quelques années plus tard, Val L. Fitch et James V. Cronin détectèrent la violation si-

multanée de la parité et la conjugaison de charges, Louis Michel proposa un nouveau modèle théorique qui l'expliquait (Publications 41, 43).

La parité isotopique est reliée à la symétrie de conjugaison des charges, ou symétrie particule-antiparticule. Il fallait tout d'abord comprendre que, en plus de la charge électrique, particule et antiparticule ont d'autres charges de signes opposés. Ce n'était pas évident aux années cinquante. Cependant le concept de charge baryonique fut introduit en 1950 par Louis Michel sous le nom de «charge mésique» (Publication 3), et fut étudié en 1952 par le professeur Wigner sous le nom de «charge neutronique». En outre, on connaissait le «spin isotopique» dont le nom et l'intérêt pour la structure nucléaire provenait de l'article de Wigner de 1937 et dont l'intérêt pour les réactions des particules venait d'être révélé à l'occasion de la résonance Δ de Fermi découverte en 1952. Louis Michel, en étudiant en 1953 toutes les conséquences de l'invariance par conjugaison des charges, est le premier à étendre le groupe du «spin isotopique». Il combina les rotations de spin isotopique avec les réflexions engendrées par la conjugaison des charges, et montra comment l'inversion par rapport à l'origine de l'espace isotopique définit une valeur propre. C'est la valeur de la «parité dans l'espace isotopique» (Publication 12). Trois ans plus tard Lee et Yang font la divulgation de ce «nouveau» nombre quantique, en l'appellant «parité-G», nom qui pour Louis Michel est beaucoup moins expressif que «parité isotopique» ou «isoparité» (Publication 45).

Louis Michel était en plus connu par la pureté de son formalisme covariant qui exploitait toutes les conséquences de la relativité. Il se basait toujours sur un article fondamental de Wigner donnant une classification de toutes les possibles représentations unitaires du groupe de Lorentz. On conserve des documents graphi-

ques dessinés par des élèves de l'un de ses cours qui découvrent une sorte de «Wignerlatrie». Il avait donné un formalisme covariant de la polarisation, pour une particule de spin $\frac{1}{2}$ d'abord (Publication 16), et ensuite pour une particule de spin quelconque (Publication 23). En 1959, pendant un séjour à Princeton, Louis Michel, V. Bargmann et Valentine L. Telegdi étudièrent l'évolution de la polarisation d'une particule de spin quelconque, placée dans un champ électromagnétique à variation lente. Il en résulta une équation différentielle fort belle qu'il fallait introduire dans tous les programmes de reconstruction des événements de chambre à bulles ainsi que dans ceux des constructeurs d'accélérateurs.

Mais Louis Michel était surtout connu par l'abstraction mathématique et la généralité de ses travaux. Un télex pouvait arriver à Bures-sur-Yvette de n'importe quel laboratoire américain en demandant quelles étaient les hypothèses concrètes d'un tel de ses articles récents; la réponse était toujours: «c'est pour le cas le plus général possible». Pour suivre son discours, il fallait s'habituer au langage des suites exactes, des orbites et des strates. Ses connaissances des extensions centrales des groupes, appliquées à l'invariance relativiste et aux symétries internes des particules donnèrent des résultats très importants que j'ai vu élaborer devant mes propres yeux avec admiration et angoisse (Publications 33-39). Le problème du moment, comme Louis Michel m'avait indiqué dans sa lettre de 1964, était le groupe $SU(6)$ que venaient d'introduire Feza Gürsey, Luigi Radicati et Abraham Pais, inspirés par le travail de Eugene Wigner de 1937. Ce groupe $SU(6)$ donnait compte des propriétés de spin et des symétries internes des particules alors connues, d'une manière «remarquable» comme disait la lettre en question. On présupposait que ce groupe $SU(6)$ était un sous-groupe plus manipulable d'un grand groupe qui contiendrait toute la symétrie du monde, en particulier l'invariance de Lorentz

et la symétrie interne. Et bien, la puissante artillerie mathématique de Louis Michel éliminait la possibilité d'existence d'un tel grand groupe, en tous cas d'une existence raisonnable. C'était vraiment admirable de voir tout le monde physique dépendre de ces résultats si abstraits. Mais pour moi, c'était aussi angoissant non seulement par l'effort de suivre des raisonnements si abstraits, mais surtout parce que avec $SU(6)$ c'était ma thèse de doctorat qui s'effondrait. Mais Feza Gürsey publia un nouveau travail qui semblait sauver l'essentiel du $SU(6)$. Et ma thèse, un test d'un simple modèle de $SU(6)$ par des mesures de polarisation, gardait encore son intérêt.

Comme sous-produit de cette thèse surgirent des études sur le spin et la polarisation, sujets que Louis Michel avait si au cœur. Pour moi tout commença un bon jour où je lui présentais une comparaison entre les prédictions du modèle $SU(6)$ et les résultats expérimentaux, en employant les paramètres de polarisation alors à la mode. La question de Louis Michel fut: «Mais quelle est la région physique de ces paramètres?». A la suite des travaux de Pierre Minnaert, qui lui aussi sous la direction de Louis Michel avait étudié le domaine de positivité pour le cas de spin 1, je résolus le cas de spin $3/2$. Quelque temps plus tard, Louis Michel nous encouragea à entreprendre, en collaboration à trois, une étude générale du domaine de polarisation et nous apporta un ensemble de théorèmes sur la convexité et les symétries géométriques de ce domaine. Nous donnions un cours d'été (Publication S) et nous publiions une dizaine de travaux en collaboration (Publications 53, 56, 58, 59, 60, 62, 66, 69, 70, 82). Les successives idées mathématiques apportées par Louis Michel étaient très drôles: le domaine de polarisation est autoconjugué par la transformation pascalienne de pôle et polaire, et la décomposition polaire de l'opérateur de transition donnait les contraintes imposées par des symétries internes. C'était comme si le terme «polarisation» jaillissait partout.

Mais l'intérêt de Louis Michel pour les symétries de la physique était beaucoup plus vaste et les formalismes mathématiques se compliquaient davantage. Il étudia en collaboration avec Luigi Radicati les brisures spontanées de symétrie et la géométrie de l'octet (Publications 44, 48, 50, 52, 61). Mais il étudia aussi les groupes de symétrie des cristaux et ses représentations, les transitions de phase, les bifurcations, les théories des jagues non abéliennes, les groupes d'homotopie, les états mésomorphiques et leurs défauts, etc.

Je ne voudrais pas vous fatiguer davantage avec la personnalité scientifique de Louis Michel. Je ne veux pas non plus parler de sa personnalité humaine dont en tant qu'élève et ami, j'ai dû admirer les hautes qualités. Pour finir, je voudrais seulement souligner la connexion qui le rattache à notre université. Il y a eu des années héroïques, pour la recherche à la Universitat Autònoma de Barcelona, pendant lesquelles à peu près la moitié de la liste des publications de physique et à peu près un quart de celle des sciences, étaient des articles signés par Louis Michel. Il avait même donné un cours de doctorat à l'Universitat de Barcelona, quand notre Faculté de Sciences était encore embryonnaire dans un coin de l'Hospital de Sant Pau. Il a participé également dans plusieurs rencontres du Grupo Interuniversitario de Física Teórica. Il a même initié ou promu à la recherche physique plusieurs théoriciens espagnols, et spécialement catalans, qui travaillent prestigieusement dans des institutions de notre pays et de l'étranger. Il n'est donc pas étonnant que, lorsque au début de cette année, notre Département de Física Teórica proposa par unanimité le Doctorat Honoris Causa pour le Professeur Louis Michel, l'appui à cette initiative de la part de la physique théorique espagnole peut être considéré massif. Il y a même eu des voix autorisées qui l'ont appuyée de l'étranger. Une d'elles, ici présente, pourrait être interrogée à ce propos.

Per la meva part, Rector Magnífic, en reconeixement dels mèrits del Professor Louis Michel, demano per a ell el grau de Doctor Honoris Causa per la Universitat Autònoma de Barcelona.

He dit

CURRICULUM VITAE

PROF. LOUIS MICHEL

- 4 mai 1923 Naissance à Roanne (Loire), France.
- 1943-44 et 45-46 Ecole Polytechnique Paris et licence-es-Sciences, Sorbonne.
Thèse 1953 à l'Université de Paris.
- 1944-45 1ère Armée Française.
- 1946-48 Ingénieur du Service des Poudres (détaché en 1947, de 1948 à 1951 et de 1952 à 1958).
- 1947 Physicien expérimentateur, Laboratoire Gorodtzky à Strasbourg puis Blackett à Manchester.
- 1947 Mariage avec Thérèse Vallet (six enfants).
- 1948-50 Physicist, Theoretical Physics (Prof. L. Rosenfeld), University of Manchester.
- 1950-51 Physicist, Universitetets Institut for Teoretisk Fysik, (Prof. N. Bohr) Copenhagen.
- 1951-52 Professeur à l'Ecole d'Application du Service des Poudres, travaille au laboratoire L. Leprince-Ringuet de l'Ecole Polytechnique.
- 1952-53 Physicien au Groupe de Physique Théorique du CERN, Copenhague.
- 1953-55 Member of the Institute for Advanced Study, Princeton.
- 1955-58 Maître de Conférences à l'Université de Lille.
- 1955-60 Maître de Conférences à l'Ecole Polytechnique.
- 1958-62 Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Paris.
- depuis 62 Professeur à l'Institut des Hautes Etudes Scientifiques à Bures-sur-Yvette.

Distinctions

Chevalier de la Légion d'honneur

Prix Pierson Perrin de l'Académie des Sciences (1965)

Prix Marie-Guido Triossi de l'Académie des Sciences (1971)

Prix Robin de la Société Française de Physique (1975)

Leigh Page Prize Lectures, Yale University (1976)

Commonwealth Lecturer of the Five Colleges, Massachussetts (1982)

Doctor Honoris Causa de l'Université de Louvain (1976)

Membre de la Société Française de Physique (Président en 1979)

Membre de l'American Physical Society (depuis 1949)

Membre de l'European Physical Society (et de son Conseil de 1979 à 1982)

Membre de l'Académie des Sciences de l'Institut de France (depuis 1979)

Professeur invité par les institutions

Radiation Laboratory, Berkeley, 1954 et 1956

Ecole d'été des Houches, 1957

University of Princeton, Summer 1958

Oak Ridge, 1958

Naples, 1959

Madison, Wisconsin, Summer 1960

Institute for Advanced Study, Princeton, Fall term 1960

Naples, 1961

Ecole d'Eté d'Istanbul, 1962

M.E.T.U. Ankara, Spring term 1963

Ecole d'Eté de Bangalore and Tata Institute, Bombay, 1963

Madison, Wisconsin, Summer Institute 1964

Argonne National Laboratory, Summer 1964 et 1965

Ecoles d'Eté, Brandeis (Mass.) et Cargèse (Corse) 1965

Brookhaven, Spring term 1966

Kyoto, Summer 1966

Institute for Advanced Study, Princeton, Spring 1968

Ecole d'Eté, Boulder, 1968

Argonne National Laboratory, Summer 1968

Tel-Aviv, 1969

Battelle Rencontre, Seattle 1969.
 Scuola Normale Superiore Pisa, Spring term 1970
 Universitat de Barcelona, 1970
 Haifa Summer School and Tel-Aviv University, Summer 1971
 GIFT, Madrid, Easter 1972
 CERN, Genève, Mai à Juillet 1972
 University of Maryland, Spring term 1973
 Argonne National Laboratory, July 1973
 Scuola Normale Superiore Pisa, Mai et Juin 1974
 Argonne National Laboratory, July 1974
 Centre de Recherches Mathématiques, Université de Montréal, Mai et
 Juin 1976
 Los Alamos, Août 1976
 University of Michigan, Ann Arbor, Septembre à Décembre 1976
 Inst. Adv. Study, Dublin, Avril 1978
 Center of theoretical Physics, Austin, Texas, Septembre à Octobre 1978
 Université de Tel-Aviv, Israël, Avril 1979
 CERN, Genève, Mai à Juillet 1979
 Université de Wrocław, Pologne, Janvier 1980 et Janvier 1981
 ETH, Zürich, Février 1980
 Academie de Roumanie, Bucarest, Avril 1980
 Ecole des Houches, Juillet 1980
 Ecole de Primorsko, Bulgarie, Août 1980
 Ecole de Kupař-Dubrovnik, Yougoslavie, Septembre 1980
 Université de Syracuse, Mai à Juillet 1981
 University of Massachusetts, Avril 1982
 Ecole de Varna, Bulgarie, Septembre 1982
 City College, City University of New York, Avril 1983
 Rockefeller University, New York, Mai 1983

Liste Chronologique des publications scientifiques

1. 1949 Energy spectrum of secondary electrons from μ -meson decay. *Nature*, 163, 959 (1949).
2. 1950 Interaction between four half-spin particles and the decay of the μ -meson.
Proc. Physical Society, (London) A, 43, 514, 1331 (1950).
 (Traduit en japonais, dans une anthologie japonaise, et re-

- produit dans l'anthologie: P.K. Kabir (ed.), *The Development of Weak Interaction Theory*, Gordon and Breach, 1962.)
3. 1950 Reactions between nucleons and mesons, and the search for negative protons.
Nature, 166, 654 (1950).
 4. 1951 Théorème sur les invariants formés de quatre fonctions d'onde de Dirac.
Comptes-rendus des Séances de l'Académie des Sciences, Paris, 232, 391 (1951).
 5. 1951 Coupling properties of nucleons, mesons and leptons.
Chapitre III du livre *Progress in Cosmic Ray Physics*, page 119 à 186, North-Holland Publ. Co, Amsterdam (1952).
 6. 1951 Théorème sur les invariants formés de quatre fonctions d'onde de Dirac. Application: section efficace de diffusion nucléon-nucléon.
Le Journal de Physique et le Radium, 12, 793 (1951).
 7. 1952 En collaboration avec Raymond Stora:
Spectre d'énergie des mésons μ provenant de la désintégration des mésons K.
Comptes-rendus des Séances de l'Académie des Sciences, Paris, 234, 1257 (1952).
 8. 1952 Application de la conservation de la parité en Mécanique Quantique.
I - Désintégration en deux ou trois bosons de masses non nulles.
Comptes-rendus des Séances de l'Académie des Sciences, Paris, 234, 703 (1952).
 9. 1952 Les représentations du groupe des rotations et des retournements.
Application de la conservation de la parité en Mécanique Quantique.
II - Annihilation d'une particule et d'une anti-particule de Dirac.
Comptes-rendus des Séances de l'Académie des Sciences, Paris, 234, 2161 (1952).

10. 1952 μ -meson decay and radioactivity.
Physical Review, 86, 814 (1952).
11. 1953 En collaboration avec Georges Bonnevey:
Moment angulaire et parité des systèmes composés de deux bosons identiques de masse nulle.
Comptes-rendus des Séances de l'Académie des Sciences, Paris, 236, 461 (1953).
12. 1953 Selection rules imposed by charge conjugation.
Nuovo Cimento, 10, 319 (1953).
13. 1953 Confrontation de l'hypothèse de l'interaction universelle de Fermi avec l'expérience.
Thèse de Doctorat-ès-Sciences (Paris)
Mémorial des Poudres, Tome XXXV, annexes (1953).
14. 1953 Absolute selection rules for decay processes.
Comptes-rendus du Congrès International sur le rayonnement cosmique à Bagnères de Bigorre, p. 272 (1953).
15. 1954 En collaboration avec Arthur Wightman:
 μ -meson decay, β radioactivity and universal Fermi reactions.
Physical Review, 93, 354 (1954).
16. 1955 En collaboration avec Arthur Wightman:
A covariant formalism describing the polarization of spin 1/2 particles.
Physical Review, 98, 1190 (1955).
17. 1955 Universal Fermi reactions.
Physical Review, 98, 1164 (1955).
18. 1956 En collaboration avec Claude Bouchiat:
Effets de la polarisation dans la diffusion de Møller des électrons.
Comptes-rendus des Séances de l'Académie des Sciences, Paris, 243, 642 (1956).
19. 1957 Weak interactions between «old» particles and beta decay.
Rapport demandé par le Congrès international de Physique Théorique de Seattle (U.S.A.), 17-21 Septembre 1956.
Rev. of Modern Physics, 29, 223 (1957).

20. 1957 En collaboration avec Claude Bouchiat:
Theory of μ -meson decay with the hypothesis of non-conservation of parity.
Physical Review, 106, 170 (1957).
21. 1958 En collaboration avec Claude Bouchiat:
Mesure de la polarisation des électrons relativistes.
Nuclear Physics, 5, 416 (1958).
22. 1958 Weak interactions: leptonic modes.
Rapport demandé pour 1958 Annual International Conference on High Energy Physics au C.E.R.N., 30 Juin-5 Juillet 1958, Proceedings of the Conference p. 251.
23. 1959 Covariant description of polarisation.
Nuovo Cimento, Sup. Vol. 14, Série X, p. 95 (1959).
24. 1959 En collaboration avec V. Bargmann and V.L. Telegdi:
Precession of the polarization of particles moving in a homogeneous electromagnetic field.
Physical Review Letters, 2, 435 (1959).
25. 1960 En collaboration avec Jeremy Bernstein:
T.P.C. symetries in the π^0 decay.
Physical Review, 118, 871 (1960).
26. 1960 En collaboration avec Jeremy Bernstein and Murrey Gell-Mann:
On the renormalization of the axial vector coupling constant in β -decay.
Nuovo Cimento, 16, 560 (1960).
27. 1961 En collaboration avec Claude Bouchiat:
La résonance dans la diffusion méson π -méson π et le moment magnétique anormal de méson μ .
Le Journal de Physique et le Radium, 22, 121 (1961).
28. 1961 En collaboration avec Houchangue Rouhaninejad:
 Σ^- , relative parity from Λ^0 decay.
Physical Review, 122, 242 (1961).
29. 1961 En collaboration avec François Lurçat:
Sur les relations entre charges et spin.
Nuovo Cimento, 21, 574 (1961).

30. 1961 En collaboration avec François Lurçat:
Sur la relation entre charges et spin.
Comptes-rendus Conf. Intern. d'Aix-en-Provence sur les
particules élémentaires, 14-20 Sept. 1961, p. 183.
31. 1961 Relations between polarizations due to charge independence.
Nuovo Cimento, 22, 203 (1961).
32. 1962 Invariance in Quantum Mechanics and Group Extensions,
Istanbul Summer School, 16 Juillet - 4 Août 1962, Gordon
and Breach (New York) 1964.
33. 1964 Sur les extensions centrales du group de Lorentz inhomogène
connexe.
Nuclear Physics, 57, 356 (1964).
34. 1964 The group of automorphisms of the Poincaré group.
Boulder Symposium on the inhomogeneous Lorentz Group.
Lectures in theoretical Physics Vol. VIIa, p. 118, University
of Colorado Press (1964).
35. 1964 On relations between Internal Symmetry and Relativistic In-
variance.
Physical Review, 137, B 405 (1965).
(Reproduit dans l'Anthologie: F.J. Dyson, ed., Symmetry
Groups in Nuclear and Particle Physics, Benjamin, 1962.)
36. 1964 En collaboration avec Bunji Sakita:
Group of invariance of a relativistic supermultiplet theory.
Ann. Inst. Henri Poincaré, 2, 167 (1965).
(Reproduit dans l'Anthologie: F.J. Dyson, ed., Symmetry
Groups in Nuclear and Particle Physics, Benjamin, 1962.)
37. 1965 Extensions of the Poincaré group and SU6-symmetry.
Proceedings of the Second Coral Gables Conference,
Symmetry Principles at High Energy, p. 331, Freeman Co,
San Francisco (1965).
38. 1965 Relativistic invariance and internal symmetries.
1965 Brandeis Summer Institute in Theoretical Physics,
Vol. I, p. 247 Gordon and Breach, New York 1966.
39. 1965 Relations entre symétries internes et Invariance relativiste.

- Cargèse 1965 lectures in theoretical Physics, p. 409, Gordon and Breach, New York 1966.
40. 1966 Le Groupe de Poincaré et les symétries internes.
Comptes-rendu Colloque International du CNRS n° 159.

L'extension du groupe de Poincaré aux symétries internes des particules élémentaires, Gif-sur-Yvette, 1-5 avril 1966, p. 13, CNRS éditeur, Paris 1968.
 41. 1966 En collaboration avec M.L. Good et E. de Rafael:
Theory of neutral leptonic currents.
Phys. Rev. 151, 1194 (1966).
 42. 1966 Théorie des groupes et particules élémentaires.
Invited conference: International congress of mathematicians Moscow 1966.
 43. 1966 Standing problems in weak interactions and C.P. violation.
Tokyo summer lectures in theoretical Physics (Oiso, Japan, 1967), p. 161 (Syokabo Tokyo et W.A. Benjamin Inc., New York 1967).
 44. 1968 En collaboration avec Luigi Radicati:
On the dynamical breaking of SU(3).
Proceedings of the fifth Coral Gables Conference, Symmetry Principles at High Energy, p. 19, W.A. Benjamin Inc., New York, 1968.
 45. 1968 The present status of CP, T and CPT invariance Nobel Symposium 8, Elementary Particle Theory - Relativistic Groups and Analyticity, p. 345, Wiley Interscience Division, New York.
 46. 1968 On Symmetry Breaking.
Lectures in Theoretical Physics, Boulder, University of Colorado Elementary Particle Physics, p. 263, Gordon and Breach, New York.
 47. 1969 En collaboration avec Yuval Ne'eman:
Representations of the algebra of integrated contrated current commutators.
International Conference on Symmetries and the Quark Model, in Particle Physics, p. 15, Detroit 1969.

48. 1969 En collaboration avec Luigi Radicati:
Breaking of the $SU(3) \times SU(3)$ Symmetry in Hadronic Physics. p. 191 «Evolution of particle physics» (dedicated to E. Amaldi), Academic Press New York 1970.
49. 1969 Applications of Group Theory to Quantum Physics.
Lectures given at the 1969 Battelle Summer Rencontres in Mathematics and Physics, n° 6, Springer 1970.
(Traduit en russe, Editor МИР, Moscou, 1974.)
50. 1969 En collaboration avec Luigi Radicati:
Geometrical Properties of the fundamental Interactions.
Mendeleev Symposium, Acti Accad. Sci. Torino il Sci. Fis. Mat. Natur. 377-389 (1971).
51. 1970 En collaboration avec Yuval Ne'eman:
Contracted Commutators and the $SU(6)$ Description of the Hadron Spectrum.
Phys. Rev. 12 D, 3519-20 (1970).
52. 1970 En collaboration avec Luigi Radicati:
Properties of the Breaking of Hadronic Internal Symmetry
Ann. of Phys. 66, 758-783 (1971).
53. 1970 En collaboration avec M.G. Doncel et P. Minnaert:
Rigorous spin test from usual strong decays.
Nuclear Physics B 38, 477-528 (1971).
54. 1971 Points critiques des fonctions invariantes sur une G-variété.
C.R. Acad. Sc. Paris 272, 433-36, (1971).
55. 1971 Non linear group actions, smooth action of compact Lie-groups on manifolds. p. 133-150 «Statistical Mechanics and Field Theory» Israel University Press, Jerusalem (1972).
56. 1971 En collaboration avec M.G. Doncel et P. Minnaert:
Constraints on Spin Rotation Parameters due to Isospin Conservation.
Physics letters, 38B, 42-44 (1972).
57. 1972 En collaboration avec D. Kastler, G. Loupias, M. Mebkhout:
Central Decomposition of Invariant States. Applications to the Groups of Time Translations and of Euclidean Transformations in Algebraic Field Theory.

- (27, 195-222 [1972] Communications in Mathematics Physics).
58. 1972 En collaboration avec M.G. Doncel, P. Mery, P. Minnaert, K.C. Wali: Properties of Polarization Density Matrix in Regge Pole Models.
(Phys. Rev. D, 7, 815-835 (1973).
 59. 1972 En collaboration avec M.G. Doncel and P. Minnaert: Isospin Constraints between three cross sections and two polarization density matrices.
Physics Letters, 42B, 96-98 (1972).
 60. 1973 En collaboration avec M. Daumens, G. Masas, P. Minnaert: Some Remarks on Polarization Measurement and Polarization Domain.
Nucl. Phys. B 53, 303-312, (1973).
 61. 1973 En collaboration avec L. Radicati: The Geometry of the octet.
Ann. Inst. Henri Poincaré, Vol. XVIII, n° 3, 185-214, (1973).
 62. 1973 En collaboration avec M.G. Doncel et P. Minnaert: Amplitude reconstruction for usual quasi two body reactions with unpolarized or polarized target.
Fortschritte der Physik 24 (1976) 259-323.
 63. 1974 Simple Mathematical Models of Symmetry Breaking. Application to Particle Physics.
Mathematical Physics and Physical Mathematics. R. Maurin and R. Raczka (eds.) p. 251-262. D. Reidel Pub. Co. Dordrecht (1976).
 64. 1974 Analysis of polarization measurements and test of selection rules and of models.
Proceedings of the summer studies on high energy physics with polarized beam, p. XXVII 1-18, edited by Argonne National Lab. (1974).
 65. 1974 Acceleration and storage of polarized beams. *ibid.* p. XXX. 1-11.
 66. 1975 En collaboration avec M.G. Doncel et P. Minnaert:

Tests of models and polarization effects. The quark model. Proceedings of the 3rd international winter meeting on Fundamental Physics, p. 383-412. Ed. Instituto de Estudios Nucleares Madrid (1975).

67. 1975 A propos des brisures spontanées de symétrie.
Lecture Notes in Physics n° 50: Group Theoretical Method in Physics, p. 234-245, Springer Verlag (1976).
68. 1975 Les brisures spontanées de symétrie en Physique.
Colloque C.7 supplément n° 11, Journal de Physique 36, 1975, C7-41.
69. 1976 En collaboration avec M.G. Doncel et P. Minnaert:
A selection rule on angular momentum transfer en réactions the type $0^- \frac{1}{2}^+ \rightarrow 1^- \frac{3}{2}^+$
Nuclear Physics B119, 515-538 (1977).
70. 1976 En collaboration avec M.G. Doncel et P. Minnaert.
Test of models from polarization experiments. Example: The Rule $\Delta J = 1$ in $0^- \frac{1}{2}^+ \rightarrow 1^- \frac{3}{2}^+$.
High Energy Physics with polarized Beams and Targets. AIP Conf. Proceedings 35, P. 161-168, American Institute of Physics, N.Y. 1976.
71. 1976 Invariants polynomiaux des groupes de symétrie moléculaire et cristallographique.
Group Theoretical Methods in Physics (Proc. 5th Int. Coll.) 75-91, Academic Press 1977.
72. 1976 En collaboration avec L. O'Raifeartaigh et K.C. Wali.
Static Finite Energy Solutions of Gauge Fields with separated Radial Variable.
Phys. Lett. 67B, 198-202 (1977).
73. 1976 En collaboration avec M. Kléman et G. Toulouse.
Classification of Topologically stable Defects in ordered Media.
J. Phys. Lettres 38 L (1977) 195-197.
74. 1977 En collaboration avec L. O'Raifeartaigh et K.C. Wali.
Concerning factorized Solutions in a generalized 't Hooft-

- Polyakov Model.
Phys. Rev. D 15, (1977) 3641-3655.
75. 1977 Topological Classification of Symmetry Defects in ordered Media.
VIth International Colloquium «Group Theoretical Methods in Physics», Tübingen. Lecture Notes in Physics 79, p. 247-258, Springer (1978).
 76. 1977 En collaboration avec Jan Mozrzymas.
Application of Morse Theory to the Symmetry Breaking in the Landau Theory of second Order Phase Transitions.
VIth International Colloquium «Group Theoretical Methods in Physics», Tübingen 1977. Lecture Notes in Physics 79, 447-461, Springer (1978).
 77. 1977 En collaboration avec M. Kléman.
On the classification of defects in the smectic phases Sm A and Sm C.
J. Phys. Lettres, 39 (1978) L-29.
 78. 1977 What is Polarization? How to compare its measurement with beams and targets and with colliding beams.
High Energy Polarized Proton Beams, Amer. Inst. Phys. Conf. Proceedings n° 42, p. 147-157.
 79. 1977 En collaboration avec C. Bourrely et J. Soffer.
Isospin bounds on π N and NN elastic polarizations at high energies.
High Energy Polarized Proton Beams, Amer. Inst. Phys. Conf. Proceedings n° 42, p. 178-181.
 80. 1978 En collaboration avec M. Kléman.
Spontaneous breaking of Euclidean invariance and classification of topologically stable defects and configuration of crystals and liquid crystals.
Phys. Rev. Lett. 40 (1978) 1387-1390.
 81. 1978 En collaboration avec D. Constantinescu et L.A. Radicati.
Spontaneous symmetry breaking and bifurcations from the Mac Laurin and Jacobi sequences.
J. Phys. 40 (1979) 147-159.

82. 1978 En collaboration avec M.G. Doncel et P. Minnaert.
Analysis of Δ_{1232} polarization.
«Physics from Friends», Papers dedicated to Th. Peyrou on
his 60th Birthday. Multi Office S.A. Geneva 1978.
83. 1979 En collaboration avec J. Mozrzymas et B. Stawski.
Structure of the Images of the Irreducible linear Representa-
tions of the Crystallographic little Space Groups.
Lecture Notes in Phys. 94 (1979) 86.
84. 1979 Comment on Contribution of P. Langacker.
A.P. Conf. Proc. 51 (1979) 247. High Energy Physics with
Polarized Beams and Polarization Target (Argonne 1978).
85. 1979 Minima of Higgs-Landau Polynomials.
p. 157-203 in Regards sur la Physique Contemporaine, Edi-
tion CNRS (Paris 1980).
86. 1980 Symmetry Defects and broken Symmetry Configurations.
Hidden Symmetry.
Rev. Mod. Phys. 52 (1980) 617.
87. 1980 En collaboration avec J. Mozrzymas:
Weak equivalence of irreducible representations of little
space groups.
Match (= Communications in Mathematical Chemistry) 10
(1980) 223-226.
88. 1980 The Description of the Symmetry of Physical States and
Spontaneous Symmetry Breaking.
P. 21-28 in «Symmetries and broken symmetries in conden-
sed matter physics», editor N. Boccara, IDSET (Paris 1981).
89. 1980 En collaboration avec J.C. Toledano et P. Toledano:
Landau Free Energies for $n = 4$ and the subgroups of $O(4)$.
p. 263-277 in «Symmetries and broken symmetries in con-
densed matter physics», editor N. Boccara, IDSET (Paris
1981).
90. 1981 Symmetry breaking by Higgs Fields.
Primorsko School, Sept. 1980, to appear in Springer Lecture
Notes.

91. 1981 Classification topologique des défauts et des configurations des milieux ordonnés.
Les Houches, Session 35 (1980), Physique de défauts, p. 364-38, R. Balian et al. eds. North-Holland Pub. 10, (1981).
92. 1981 Symmetry in Condensed Matter Physics.
Association Mathematical Physics Conference, Berlin 1981.
To appear in Lecture Notes, Springer.
93. 1982 The symmetry and renormalization group fixed points of quartic Hamiltonians.
To appear in F. Gürsey Festschrift (Yale University).
94. 1982 En collaboration avec Jan Mozrzymas:
Représentation de vibration d'un cristal construite par induction de représentations.
C.R. Acad. Sci. Paris.
95. 1982 En collaboration avec M. Jaric et R. Sharp:
Invariant formulation for the zeros of covariant vector fields, Proceedings, XIth International Colloquium on Group Theoretical Physics.
96. 1982 En collaboration avec J. Mozrzymas:
The structure of unitary representations of space groups.
ibid.
97. 1983 En collaboration avec M. Jaric et R.T. Sharp:
Zeros of covariant vector fields for the point groups:
Invariant formulation.
98. 1983 En collaboration avec J. Mozrzymas:
Some use of metabelian groups in physics.
99. 1983. Landau theory of second order phase transitions and invariant theory.
100. 1983 Renormalization group fixed points of general n-vector models.

Cours et notes mineographies

- A 1948 & 1952 Cours de l'Ecole d'Application des Poudres:
Applications de la Mécanique Quantique à la Chimie.
- B 1954 - 1955 Princeton University:
en collaboration avec A.S. Wighman,
Dirac Theory and Quantum Field Theory.
- C 1956 Cours du Certificat de Physique Théorique; Université de Lille: Mécanique Quantique et Physique Atomique.
- D 1956 Cours sur le meson μ (Collège de France).
- E 31-1-1956 Séminaire de Physique Théorique et Nucléaire; E.N.S.:
— Etude Covariante de la Polarisation des Particules; Application aux Particules de spin 1/2.
- F 6 et 27-11-1956 — Notion de Parité pour les Particules Élémentaires.
- G 1956-1957 Séminaire R. Deheuvels - L. Michel; Université de Lille: Exposés 4 et 6:
Axiomatique et Représentations de la Mécanique Quantique.
- H 1957 Ecole d'Eté, Les Houches:
Cours sur la Polarisation des Particules Élémentaires.
- I 1958 Varenna Summer School:
Lectures on Group Theory.
- J 24-2-1959 Séminaire de Physique Théorique; E.N.S.:
Precession of the Polarization of Particles moving in a Homogeneous Electromagnetic Field.
- K 1959 - 1960 Université de Paris, Orsay:
Cours de Physique Nucléaire.
- L 1961 Centre de Physique Théorique; Ecole Polytechnique:

Introduction à la Mécanique Quantique.

- M** 1962 Centre de Physique Théorique; Ecole Polytechnique:
Theoretical Study of Particle Polarization in High Energy Physics.
- N** 1962 - 1963 Université de Marseille:
Leçons sur les Interactions Faibles,
Rédaction de ELY et SOFFER.
- O** 1963 Université d'Ankara (Turquie):
Cours sur les Interactions faibles.
- P** 1964 Institut des Hautes Etudes Scientifiques, Bures-sur-Yvette:
Cours sur les Interactions faibles.
- Q** 1967 Centre de Physique Théorique; Ecole Polytechnique:
Matrices Densité de Polarisation.
- R** 1968-69 Polarisation Density Matrix — How to present its measurement.
Physique Théorique Bordeaux, n° 35, 37, 41.
- S** 1970 Ecole d'été de Physique des Particules Gif-sur-Yvette:
Matrices Densité de Polarisation (300 pages) Sept. 71.
En collaboration avec M.G. Doncel et P. Minnaert.
- T** 1972 3rd Gift Seminar in Theoretical Physics «Broken Symmetries» March 72 - P. 49 to 131 «Geometrical aspects of symmetry breaking».
- U** 1976 Ecole d'été de Montréal:
Brisures spontanées de symétrie.
- V** 1976 University of Michigan, Ann Arbor:
Physical Applications of Group Theory.
- W** 1980 University of Wroclaw, Pologne:
Group Theoretical Methods.

X 1980

La symétrie des Particules Élémentaires.

Y 1982-83

Cours de 3^e cycle à l'Ecole Normale Supérieure:
La Théorie des Groupes et les Symétries en Physique.





Universitat Autònoma de Barcelona

Servei de Biblioteques

Reg. 224232

Sig. UAB DHC / 8

Ref. 10500

168

