

Table ronde : les degrés de liberté non-nucléoniques en physique nucléaire

J. Arvieux

► **To cite this version:**

J. Arvieux. Table ronde : les degrés de liberté non-nucléoniques en physique nucléaire. École thématique. Ecole Joliot Curie "Mésons, baryons, quarks et physique nucléaire", Bombannes, (France), du 17-21 septembre 1984 : 3ème session, 1984. cel-00643893

HAL Id: cel-00643893

<https://cel.archives-ouvertes.fr/cel-00643893>

Submitted on 23 Nov 2011

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

TABLE RONDE
LES DEGRES DE LIBERTE NON-NUCLEONIQUES EN PHYSIQUE NUCLEAIRE

J. ARVIEUX

Laboratoire National Saturne, Gif-sur-Yvette

Cette table ronde qui a réuni une quarantaine de participants avait deux ambitions 1) faire le point sur les succès et les difficultés de l'approche en termes de mésons et de baryons et 2) réfléchir sur l'état des modèles nucléaires utilisant le concept de quarks ("chromodynamique nucléaire") et en particulier discuter quelles indications l'on a de l'utilité de cette approche aux énergies usuelles en physique nucléaire (de quelques MeV à quelques GeV). Ce programme est résumé dans la table 1.

Tant que l'énergie des particules en interaction n'a pas dépassé la centaine de MeV, et cette région englobe les problèmes de structure nucléaire, il a suffi de décrire le noyau comme un ensemble de nucléons. Les autres degrés de liberté, en particulier les mésons, étaient bien présents (l'échange de pions est responsable de la partie à longue portée des forces nucléaires, celle qui est la plus importante aux petites impulsions transférées) mais ils étaient "cachés" ou "gelés" dans le potentiel nucléon-nucléon effectif. Signalons en passant que cette approche n'a pas épuisé le sujet et, par exemple, les modèles IBM ("Interacting Boson Models") ont relancé récemment de façon spectaculaire l'étude des schémas de niveaux. Par ailleurs ce domaine s'est considérablement développé dans la direction des degrés de liberté collectifs en physique des ions lourds.

Avec l'avènement des usines à mésons : TRIUMF (515 MeV), SIN (585 MeV), LAMPF (800 MeV), les énergies disponibles ont atteint les quelques centaines de MeV avec une très bonne résolution en énergie, inférieure à 100 keV, compatible avec l'étude des noyaux. On a pu alors produire des pions libres dans des réactions nucléaires exclusives (réactions du type (p, π) par exemple) ou mettre en évidence, dans les réactions où les pions n'apparaissent pas de façon explicite, la prédominance de l'excitation d'isobares Δ . Il a bien fallu alors prendre en compte les degrés de liberté de pions et de deltas au niveau microscopique.

Remarquons que cette description a été rendue nécessaire par l'augmentation de l'énergie des projectiles incidents mais en fait elle a eu des conséquences aux énergies plus basses. C'est le cas par exemple pour l'interaction Nucléon-Nucléon dans le potentiel de Paris, qui est basé sur l'échange de un et deux pions plus une partie phénoménologique à courte portée et qui décrit aussi bien le domaine des énergies intermédiaires que celui des très basses énergies. Un autre exemple dont on a beaucoup parlé à Bombannes (en particulier au cours du séminaire de M. Ericson) est celui des transitions spin-isospin (transitions Gamow-Teller) dont la force manquante pourrait être expliquée par l'excitations de deltas dans le noyau.

Quand l'énergie de la sonde incidente a encore monté (par exemple jusqu'à 3 GeV à Saturne) la description en termes de π , N et Δ s'est avérée insuffisante et il a fallu faire appel aux degrés de liberté plus généraux de mésons et de baryons. On s'est aperçu alors que l'effet de l'échange d'un méson π et d'un méson ρ pouvait dans certains cas s'annuler, ce qui a permis de corriger certaines anomalies du modèle d'échange de pions seuls (par exemple le "cut-off" anormal du facteur de forme pionique). A Bombannes le formalisme théorique nous a été expliqué en détails par B. Desplanques et B. Frois nous a montré quelques exemples expérimentaux mettant en évidence ces degrés de liberté supplémentaires.

L'approche en termes de mésons et de baryons est plus générale que les précédentes mais elle ne leur est pas orthogonale et les théories plus complexes peuvent être utilisées à des énergies ou des impulsions transférées plus basses où elles n'apparaissent pas, a priori, nécessaires. La seule limite pourrait venir de ce que j'appellerais le "principe d'économie", c'est-à-dire qu'il n'est pas raisonnable, si les calculs en sont longs et coûteux, d'utiliser une approche trop complexe si la théorie simplifiée décrit correctement le même phénomène. Il existe de nombreux exemples de cette problématique dans l'histoire des sciences et on pourrait par exemple s'appuyer sur celui de la théorie générale de la relativité qui est plus complète que la relativité restreinte qui, elle-même, a supplanté la mécanique classique et pourtant cette dernière est bien suffisante pour décrire la plupart des phénomènes de notre vie quotidienne.

Quand nous arrivons au problème des quarks, la situation est bien plus complexe. On sait que les quarks existent à l'intérieur des nucléons (en particulier grâce aux expériences de diffusion d'électrons à SLAC qui ont conduit au modèle des partons) mais on n'en a encore vu qu'une manifestation dans un environnement nucléaire, l'effet EMC que J.J. Aubert nous décrit dans son séminaire (et encore cette interprétation de l'effet EMC en termes de quarks est-elle contestée comme nous l'a expliqué M. Ericson). De plus, il est symptomatique que cet effet ait été découvert avec des muons de 400 GeV du CERN, ce qui est loin du domaine d'énergie auquel les physiciens nucléaires sont habitués. Côté théorie, G. Ripka nous a fait un très bon cours sur les différents modèles de sacs mais là encore il n'y a pas de prédiction dans le domaine de la physique nucléaire.

Ceci nous a amené à nous poser les questions suivantes :

- les modèles de quarks sont-ils plus généraux que les modèles de mésons et baryons, et finiront-ils alors par s'imposer pour tous les phénomènes de physique nucléaire (au principe d'économie près) ou bien existe-t-il une frontière étanche entre la physique nucléaire telle que nous la connaissons et la physique des quarks libres ?

- si le concept de quarks devait se généraliser, comment se manifesteront-ils au physicien nucléaire ?

Les participants à la table ronde ont essayé entre autres, de répondre à ces questions. Comme la discussion, qui dura deux heures, fut particulièrement animée, tout schéma linéaire censé la résumer aura un aspect subjectif. Nous nous efforcerons cependant de faire ressortir quelques-uns des grands thèmes qui ont été discutés :

- 1) relation entre énergie et degrés de liberté
- 2) ions lourds relativistes et plasmas quarks-gluons
- 3) mise en évidence d'effets exotiques à basse énergie
- 4) quels outils expérimentaux pour ce type de physique.

1. Relation entre énergie et degrés de liberté

Plusieurs intervenants ont fait remarquer qu'il n'était pas nécessaire de disposer de sondes d'énergies considérables pour mettre en évidence des degrés de liberté exotiques : H. Catz a cité le cas des hypernoyaux Λ et Σ qui est relié au comportement des particules étranges dans le milieu nucléaire dans des conditions exceptionnelles puisque non soumises au principe de Pauli. E. Predazzi a rappelé (et U. Gastaldi l'avait montré dans son cours) que l'interaction $N\bar{N}$ pouvait, même au repos, révéler des phénomènes uniquement descriptibles en termes de quarks (diquarks, baryonium, charmonium...). Par ailleurs, des théories non relativistes de quarks "constituants" permettent de calculer les spectres de mésons et de baryons et ils sont actuellement étendus aux systèmes dynamiques (C. Gignoux, B. Sylvestre-Brac).

Ils ne semblent pas prédire, dans l'état actuel, d'états à deux quarks ("diquarks") dont la découverte serait importante pour les théories du type QCD. Y. Abgrall a souligné que cette description en termes de "clusters" avait des analogies en physique nucléaire. J.J. Aubert a fait remarquer que l'échelle de masse de QCD est de l'ordre de la centaine de MeV et si l'exploration directe de la structure en quarks semble hors du domaine de la physique nucléaire, l'étude des interactions de quarks dans le nucléon (facteur de forme du proton, spectroscopie des hadrons) ou dans le noyau (recherche d'états exotiques comme les dibaryons) pourrait s'avérer intéressante. Par exemple, il y aurait une particule inexplicée de masse 2.2 GeV seulement, à la limite du domaine de la physique nucléaire. D'autres phénomènes ont été cités par E. Predazzi et J.J. Aubert comme l'explication de la particule "zeta" à 8.3 GeV récemment découverte ou l'étude du mécanisme de Drell-Yann (annihilation $q\bar{q} \rightarrow e^+ e^-$) mais nous nous trouvons ici dans le domaine des particules élémentaires.

La conclusion qui semble se dégager de cet échange de vue c'est qu'il n'y a pas encore de signature caractéristique des effets de quarks dans les noyaux bien que les théories du type QCD soient des modèles dynamiques et pas seulement des schémas de classification (G. Ripka). A. Gérard a d'ailleurs fait remarquer qu'il n'était peut-être pas très sain de rechercher l'"expérience" spécifique qui peut être n'existe pas, et qu'il vaudrait mieux poursuivre méthodiquement l'investigation expérimentale des phénomènes nucléaires à plus haute énergie et plus grands transferts d'impulsion pour mieux comprendre les champs mésiques et déterminer quelles en sont les limites.

Finalement en ce qui concerne la fiabilité des calculs théoriques dans ce domaine, on a fait remarquer que la plupart des prédictions de phénomènes exotiques (baryonium, dibaryons, "glueballs", etc...) n'ont pas été vérifiées, et que la mise en évidence d'effets nouveaux repose encore sur l'imagination des expérimentateurs.

2. Ions lourds relativistes et plasmas quarks-gluons

Une discussion principalement animée par J.P. Blaizot a eu lieu au sujet des expériences de collisions d'I.L.R. prévues au CERN. L'aspect très hypothétique de la transition de phase, telle qu'elle est prédite par plusieurs théories, est apparu clairement. Il y a cependant des signatures caractéristiques : paire de dileptons, abondance de particules étranges... De plus, certains événements cosmiques (événements "Centauro" dans lesquels on observe jusqu'à mille hadrons !) montrent que les conditions de création de plasmas existent, au moins dans certaines étoiles. Le séminaire de G. London avait fait le point sur les expériences qui sont prévues au CERN. Elles devraient apporter une réponse d'ici deux-trois ans.

3. Mise en évidence d'effets exotiques à basse énergie

Un problème qui intéresse particulièrement le physicien nucléaire est celui des conséquences des degrés de liberté non nucléoniques sur les phénomènes de très basse énergie. Dans son séminaire, B. Vignon a montré comment les oscillations de neutrinos étaient reliées à la structure interne de la matière nucléaire par l'intermédiaire des théories supersymétriques (SUSY), de grande unification (GUT) etc... Il avait cité une expérience complémentaire permettant de mesurer la double désintégration β sans neutrinos du Ge. Cette expérience a été longuement discutée au cours de la table ronde en particulier par P. Menrath. Les difficultés expérimentales pour arriver à une durée de vie de $10^{23} - 10^{24}$ ans (ce qui correspondrait à une limite de masse du ν_e de 3 eV) ont été décrites. Les incompatibilités entre le résultat de l'expérience russe sur la désintégration β du tritium et d'autres expériences ont été soulignées et J.J. Aubert s'est étonné qu'il n'y ait pas d'équipe française sur ce problème. M. Epherre a signalé qu'un projet était à l'étude du CSNSM. Une remarque générale a été que

cette physique, même si elle est à "basse énergie", nécessite des investissements importants et des années d'effort pour obtenir des résultats significatifs et par cet aspect elle s'apparente à la physique des hautes énergies.

4. Quels outils expérimentaux pour ce type de physique ?

Nous avons finalement fait un tour d'horizon des possibilités expérimentales qui s'offrent aux équipes de chercheurs français dans les domaines intéressant les degrés de liberté non-nucléoniques. Nous avons remarqué la bonne position de la France dans les expériences de LEAR (tout un domaine, celui de la diffusion \bar{p} -noyaux n'a malheureusement pas été discuté) et d'ILR au CERN. A court et moyen terme, Saturne offre une bonne compétitivité grâce à son énergie (3 GeV max.), ses particules polarisées (p et d), les ions lourds jusqu'à 1.15 GeV/A et la variété des équipements disponibles, possibilités encore accrues après la mise en route de Mimas (1986-87). Par contre, les limitations de l'accélérateur linéaire d'électrons de Saclay (ALS), tant du point de vue de l'énergie que de celui du cycle utile, ont été soulignées. En ce qui concerne les projets on a fait apparaître leur caractère complémentaire. Depuis l'arrêt des faisceaux de K du CERN (où les Français avaient apporté une contribution significative) le besoin se fait sentir de faisceaux de particules étranges de qualité nucléaire et nous devrions absolument coopérer, d'une façon ou d'une autre, au projet d'accélérateur de protons de 20-30 GeV, 100 μ A qui serait situé au SIN (Suisse) ou en Allemagne du Sud et qui devrait fournir une grande variété de faisceaux secondaires (π et μ de grande énergie, K, \bar{p} , neutrons, neutrinos...). Le projet de machine à électrons ALS2 permettrait de faire des mesures plus limitées, mais plus propres (car l'interaction est bien connue) des grands moments de transfert dans le noyau. Finalement, bien que l'énergie du projet d'accélérateur de 200 MeV d'Orsay apparaisse limitée pour la physique des degrés de liberté non nucléoniques, il pourrait trouver des utilisations partielles comme l'étude des transitions M1 initiée au synchro-cyclotron d'Orsay et qui sont directement reliées à l'excitation de Δ dans les noyaux.

A la fin de la discussion Y. Abgrall nous a fait remarquer dans une intervention sur un ton particulièrement tonique que nous avons consacré une bonne partie de notre discussion à des problèmes n'intéressant que la physique des particules (ce qui était vrai mais n'est pas exactement reflété dans ce compte rendu) alors que nous avons négligé tout le domaine de la propagation des résonances (Δ en particulier) dans l'environnement nucléaire, phénomène qui est d'un grand intérêt pour la physique nucléaire car il conduit à une nouvelle dynamique du noyau.

Je tiens à remercier H. Doubre pour la clarté des notes qu'il a prises pendant la discussion.

Energie	Degré de liberté	Physique	
0	Nucléons	Structure nucléaire Réactions nucléaires (niveaux excités de basse énergie, réactions de transfert...)	
100 MeV	$m_\pi = 140 \text{ MeV}$, $200 \text{ MeV}/c$	1 fm^{-1}	
	Pions, nucléons deltas	Production de pions Excitation de deltas dans le noyau...	
1 GeV	$m_\rho = 770 \text{ MeV}$		
	Mésons (π, η, ρ, ω), baryons (N, Δ et leurs états excités)	Production directe de π , facteur de forme du deu- ton aux grands transferts	
quelques GeV	$2 \text{ GeV}/c$ 0.1 fm^{-1}		
quelques dizaines de GeV et au- delà	Quarks ?	Effet EMC	

TABLE 1