

Cours de 1990

La simulation des expériences

La physique des particules est actuellement fondée sur un Modèle Standard théorique formulé en termes d'êtres mathématiques, les champs, qui sont totalement inaccessibles à l'expérience. Le fait que nous ne sachions pas *résoudre* mathématiquement le Modèle Standard entraîne que nous ne sommes pas capables en toute rigueur d'en déduire les conséquences observables, et par suite de le mettre formellement à l'épreuve de l'expérience.

Il existe néanmoins tout un discours et une algorithmique complexe qui sont censés pouvoir prédire, à partir de ce modèle théorique, ce qui va se passer dans une situation expérimentale concrète donnée. C'est ce discours de la simulation de l'expérience, intermédiaire obligé entre les concepts et les faits, que nous nous sommes attaché à analyser cette année. Bien que notre discipline soit tout particulièrement tributaire de ce discours, il est souvent occulté ou ignoré.

A chaque champ est censé correspondre un type de particule. Il est convenu de considérer que certaines de ces particules ont des interactions suffisamment faibles être en gros directement observables, directement ou sous forme de produits de désintégration. La réelle difficulté commence avec les partons, quarks et gluons, qui ont une interaction tellement forte qu'ils ne peuvent jamais être isolés. Il leur est nécessaire de s'associer à d'autres, en combinaisons telles que la *couleur* totale soit nulle. Cette association se fait au besoin par création de paires, jusqu'à ce que toute la couleur soit compensée. C'est ce processus complexe qu'on appelle *rhabillage*, ou plus souvent, mais de façon impropre *fragmentation*. Il en résulte un *jet* de particules observables, dont la relation avec le parton originel ne peut être que floue.

Inversement, la composition des particules observables en termes de partons est une notion qui n'est pas entièrement définie. A strictement parler, une particule observable est composée d'une infinité de partons. Il est néanmoins pratique de distinguer parmi ceux-ci un petit nombre, qui transportent les nombres quantiques de la particule, notamment l'essentiel de son énergie, et que l'on nomme partons de *valence* ; le reste est rejeté dans une *mer* sans structure bien définie. Cette distinction néanmoins ne se fait pas sans quelque approximation, ce qui fait qu'elle dépend de l'échelle d'énergie à laquelle on a affaire : plus l'énergie est élevée, plus on doit prendre en compte d'éléments de structure significatifs. Ces variations sont néanmoins relativement lentes, de type logarithmique.

La comparaison des prédictions théoriques avec les résultats de l'expérience est évidemment plus fiable en ce qui concerne les grandeurs qui ne dépendent pas de façon critique de la modélisation du rhabillage : grandeurs globales et statistiques qui mettent en évidence la structure de l'événement en jets, sans toutefois dépendre de façon significative de la structure de ces derniers.

Les comparaisons mettant en jeu la structure des jets eux-mêmes sont basées sur des logiciels de simulation détaillée du processus de rhabillage. Sans réel fondement théorique, ces logiciels ne sont réellement justifiés que par leur aptitude à reproduire des événements ressemblant à l'observation, sous la contrainte que les particules finales

soient toutes démunies de couleur. Trois grandes familles rivalisent, inspirées par des principes sensiblement différents. Les modèles des *clusters* à la Webber, procèdent par désintégrations successives d'entités dont la masse diminue de la masse totale du jet à celles des particules observées. Les structures détaillées sont mal reproduites par ce type de modèle. Les modèles de jets indépendants à la Feynman et Field suivent une démarche inverse : ils négligent en première approximation la masse, et le moment des particules transverse par rapport au jet. Les paires de partons successives sont créées le long de l'axe, et ce n'est qu'en dernier lieu qu'une masse et un moment transverse sont donnés aux particules finales. Enfin, les modèles de cordes à la Lund reproduisent au mieux le processus de rhabillage que l'on imagine : entre partons colorés qui se séparent, une zone de polarisation intense du vide s'étend, formant une *corde* de couleur. Cette corde acquiert de l'énergie aux dépens des partons initiaux, et finit par se fragmenter en particules observables. Dans un tel modèle, la conservation de tous les nombres quantiques, y compris l'énergie, est assurée par construction. De plus, ce modèle est susceptible de prendre en compte sans paramétrisation supplémentaire des gluons durs, qui apparaissent simplement comme des coudes de la corde.

Tous ces modèles ne peuvent en fait rendre compte convenablement des résultats expérimentaux que sous la réserve d'introduire des fonctions phénoménologiques décrivant pour chacun le détail des processus aléatoires caractérisant chaque étape. De plus, des entités supplémentaires doivent être introduites, qui ne trouvent de fondement ni dans le formalisme des champs, ni dans l'observation, comme les diquarks, qui doivent être pris en considération pour simuler la création de baryons.

En conclusion, et pour revenir à la question initiale : *la théorie prédit-elle les phénomènes observés ?* la réponse est probablement positive si l'on considère l'ensemble de la discipline. Il serait vain de vouloir trouver dans telle ou telle expérience isolée confirmation ou infirmation de telle ou telle assertion théorique : les paramètres des modèles d'interprétation sont probablement assez nombreux pour permettre l'ajustement d'une expérience avec *une* assertion théorique. Mais le nombre d'expériences qui ont été faites, le nombre de données numériques analysées, ont fini par surdéterminer les paramètres des modèles de rhabillage, par exemple. La possibilité que cet accord global soit purement fortuit peut être écartée, et nous avons donc dans les outils de simulation un instrument raisonnablement fiable de comparaison entre prédiction théorique et observation expérimentale.