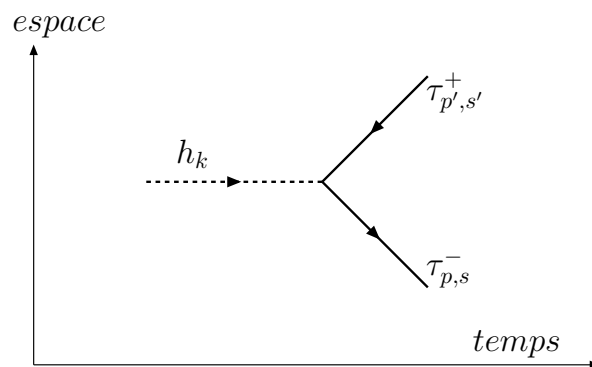


Diagrammes de Feynman

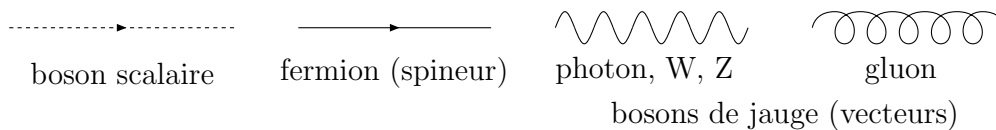
Diagrammes de Feynman

Une diffusion peut se représenter sous la forme d'un diagramme temps-espace. Par exemple pour la désintégration d'un boson de higgs en 2 leptons τ :



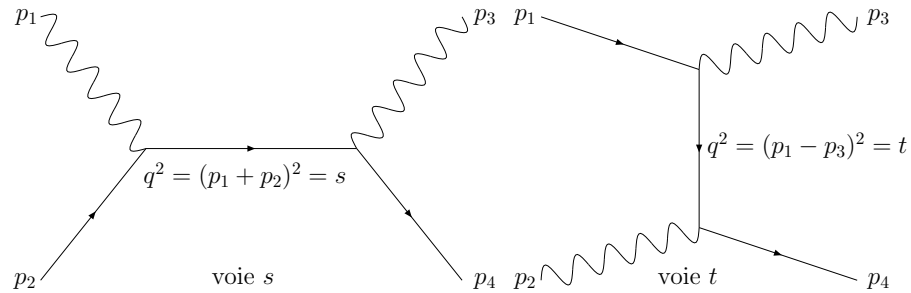
Il s'agit d'un **diagramme de Feynman**. Ce diagramme est une traduction schématique de l'amplitude de Feynman.

Les symboles utilisés pour les différents types de particules (scalaires, fermions, bosons vecteurs) sont donnés dans la figure suivante :



Chaque point de croisement traduit une interaction : c'est un vertex. Le Modèle Standard ne contient qu'un nombre fini de vertex (voire section suivante). Par exemple, il n'existe pas de vertex pour décrire la diffusion Compton $\gamma e^- \rightarrow \gamma e^-$. On combina alors deux vertex : un premier du type $\gamma e^- \rightarrow e^-$ au temps t_1 et un second $e^- \rightarrow \gamma e^-$ au temps $t_2 \geq t_1$.

Tous les diagrammes de Feynman peuvent ainsi se construire en assemblant ces vertex élémentaires comme des pièces de puzzle. La diffusion Compton est ainsi décrite par 2 diagrammes :



Les vertex du Modèle Standard

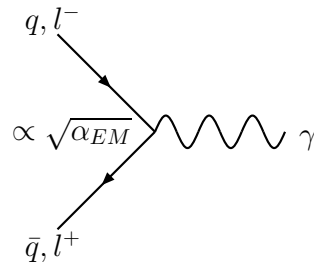
On liste ici l'ensemble des vertex autorisés dans le Modèle Standard de la physique des particules. Toute interaction du modèle standard peut donc être obtenue en combinant plusieurs de ces vertex. A chaque vertex on doit observer l'ensemble des lois de conservation découlant des invariances de jauge du modèle et de l'invariance de Lorentz, à savoir :

- Conservation de la quadri-impulsion
- Conservation du spin
- Conservation de la charge électrique
- Conservation de la saveur des quarks et des leptons (sauf pour les courants chargés faibles)
- Conservation de la charge de couleur

Pour simplifier l'écriture on notera sur les diagrammes q pour un quark quelconque, l^- pour un lepton chargé et ν_l pour le neutrino associé. Les antiparticules associées seront notées \bar{q} , l^+ et $\bar{\nu}_l$. Enfin, dans le cas de l'interaction faible on distinguera les quarks de charge $\frac{2}{3}$ (u , c et t) notés q_u et les quarks de charge $-\frac{1}{3}$ (d , s et b) notés q_d .

Secteur électromagnétique

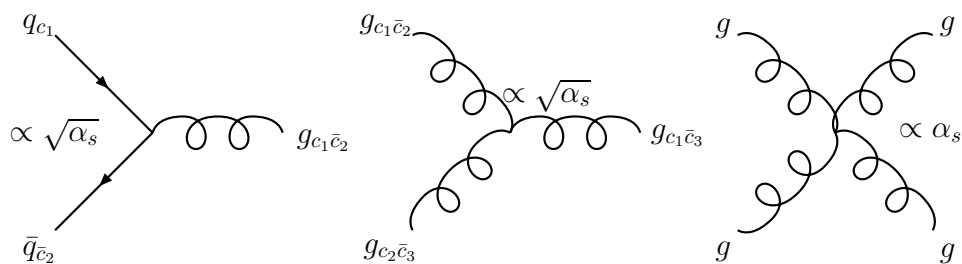
Il n'existe qu'un type de vertex électromagnétique couplant les fermions chargés au photon. Le photon ne porte aucune charge, il est donc sa propre antiparticule.



Secteur fort

L'interaction forte ne concerne que les quarks qui portent une des trois charges de couleur (par convention r , v et b). Les antiquarks portent une charge d'anticouleur. La théorie de jauge de l'interaction forte repose sur le groupe $SU(3)$ et fait intervenir des couplages supplémentaires. Contrairement au photon, le gluon est porteur d'une charge de couleur et d'une charge d'anticouleur. Il existe en tout huit gluons et l'antiparticule d'un gluon est un autre gluon. Il existe ainsi des interactions entre les gluons eux-mêmes, à savoir des couplages à trois gluons et à quatre gluons. Les couplages à quatre gluons font intervenir le carré de la constante de couplage.

Les vertex de l'interaction forte sont donc :

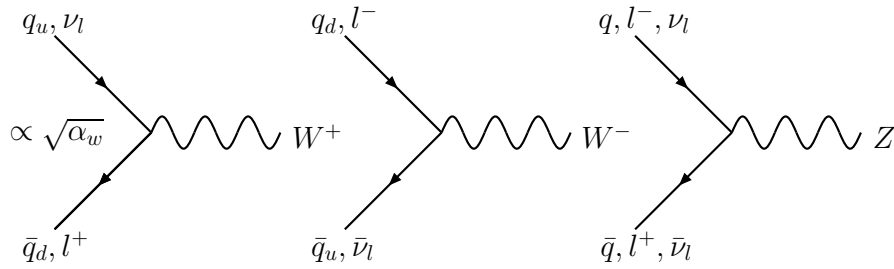


Dans ces vertex, les indices c_i désignent des couleurs a priori différentes : l'interaction forte modifie la charge de couleur.

Secteur faible

L'interaction faible, basée sur l'invariance de jauge $SU(2)$, fait apparaître trois bosons de jauge : deux bosons électriquement chargés W^+ et W^- , anti-

particule l'un de l'autre et un boson neutre Z qui est sa propre antiparticule. Les courants chargés (échange de W^\pm) sont les seuls susceptibles de modifier la saveur, à savoir de transformer un quark de type d en quark de type u ou un lepton chargé en neutrino et inversement. Ces changements de saveur se font uniquement à l'intérieur d'une même famille, soit $\tau \leftrightarrow \nu_\tau$, $\mu \leftrightarrow \nu_\mu$, $e \leftrightarrow \nu_e$, $d \leftrightarrow u$, $s \leftrightarrow c$, $b \leftrightarrow t$. Comme dans le cas électromagnétique et fort, les courants neutres (boson Z) ne modifient pas la saveur. Il existe donc trois vertex de couplage aux fermions : Les fermions du Modèle Standard

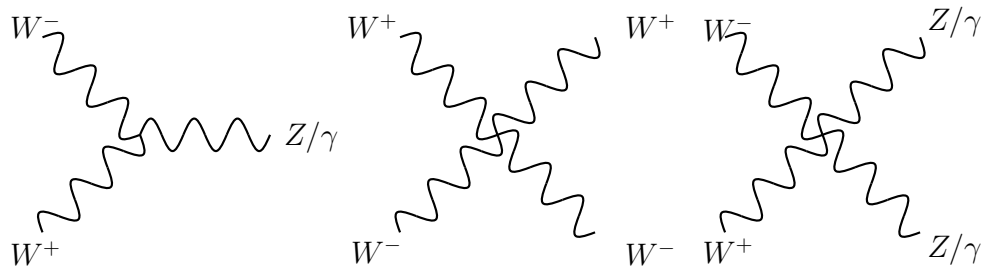


étant massifs, on montre que les états propres de l'interaction forte et les états propres de propagation (particules libres) ne sont pas les mêmes. Il en résulte un mélange des saveurs qui conduit à la possibilité de transition par courant chargé entre deux familles différentes. Ceci n'affecte que le secteur de quarks, les neutrinos étant sans masse dans le Modèle Standard. L'amplitude de ces transitions est caractérisée par une matrice de mélange unitaire, la matrice de Cabbibo-Kobayashi-Maskawa ou matrice CKM :

$$V_{CKM} = \begin{pmatrix} V_{ud} & V_{us} & V_{ub} \\ V_{cd} & V_{cs} & V_{cb} \\ V_{td} & V_{ts} & V_{tb} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.974 & 0.226 & 0.004 \\ 0.226 & 0.973 & 0.042 \\ 0.009 & 0.041 & 0.999 \end{pmatrix}$$

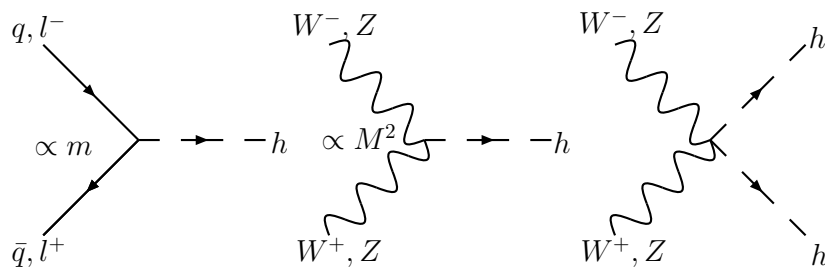
Pour un vertex W_{quqd} l'amplitude de Feynman fait intervenir un terme $\propto V_{quqd} \sqrt{\alpha_w}$. Les termes diagonaux de la matrice sont les plus importants et les couplages faibles se font principalement à l'intérieur d'une même famille de quarks. Le couplage entre deux familles est moins probable ce qui permet d'expliquer la grande durée de vie des particules contenant un quark étrange (K^0 , K^\pm , Λ , ...) On sait aujourd'hui que les neutrinos sont massifs et qu'il existe également une matrice de mélange dans le secteur des leptons, appelée matrice PMNS (Pontecorvo-Maki-Nakagawa-Sakata).

Comme dans le cas de l'interaction forte, il existe également des termes de couplages entre bosons de jauge (trois et quatre bosons) incluant le photon puisque les W^\pm portent une charge électrique :



Secteur de Higgs

L'utilisation de mécanisme de Higgs pour briser la symétrie électrofaible conduit à l'apparition d'un boson scalaire neutre, le boson de Higgs, couplé à toutes les particules massives : tous les fermions à l'exception des neutrinos, les bosons de jauge de l'interaction faible W^\pm et Z et le boson de Higgs lui-même (termes d'autocouplage dans le potentiel). L'intensité du couplage aux fermions est proportionnelle à la masse du fermion alors que le couplage aux bosons de jauge est proportionnel au carré de la masse du boson. Les différents vertex sont ainsi :



et pour les autocouplages :

