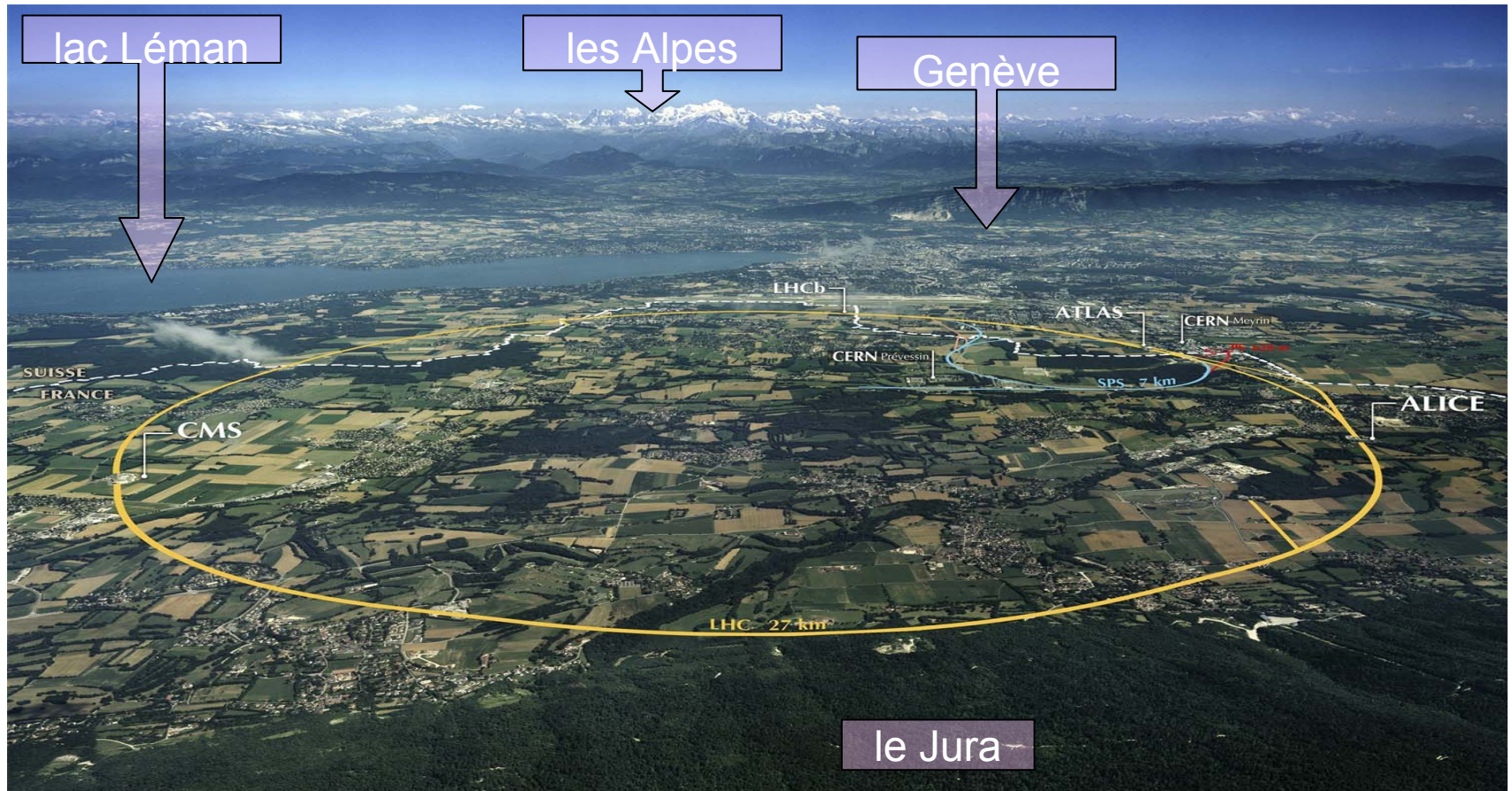
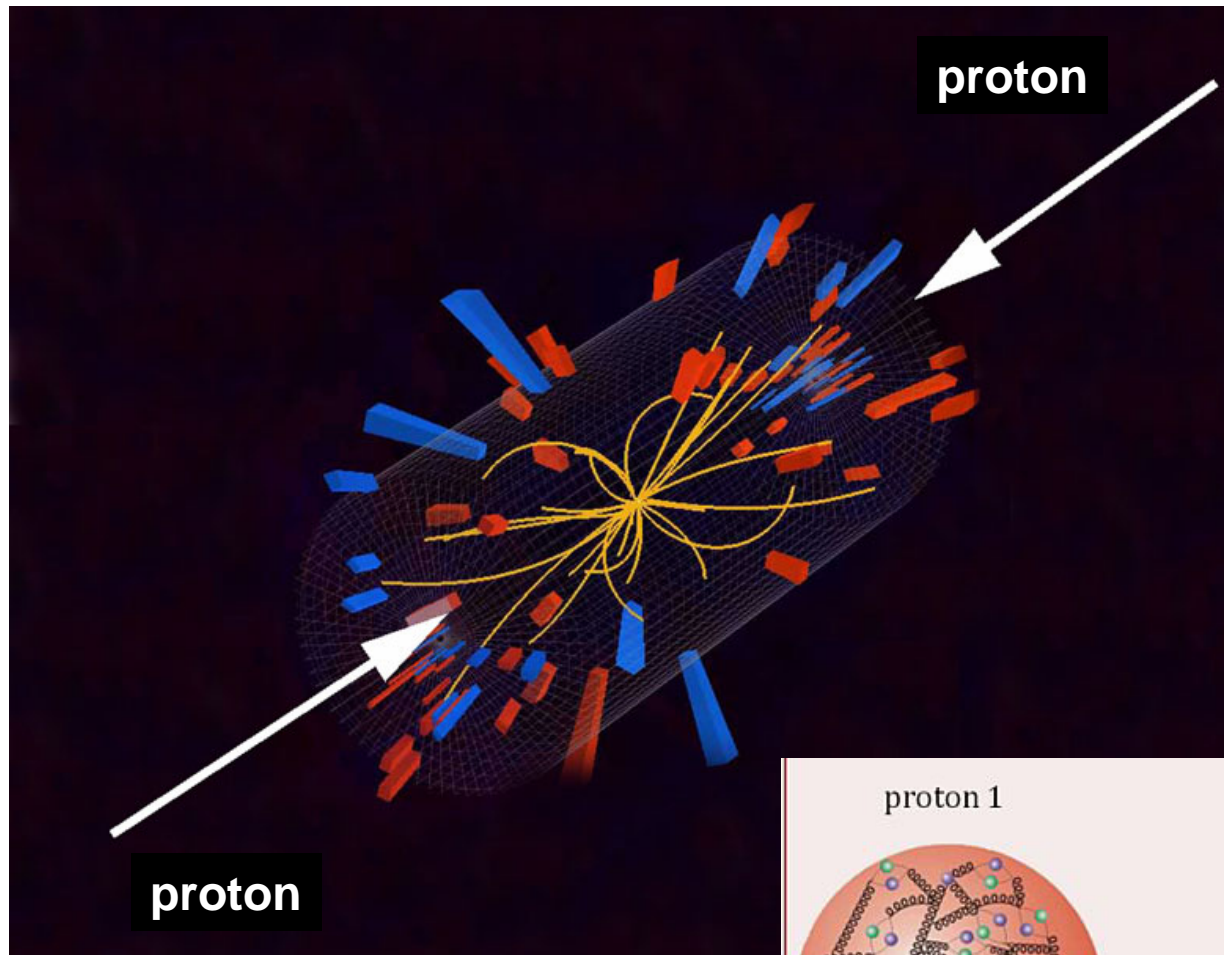


Le jeu "Collisions"

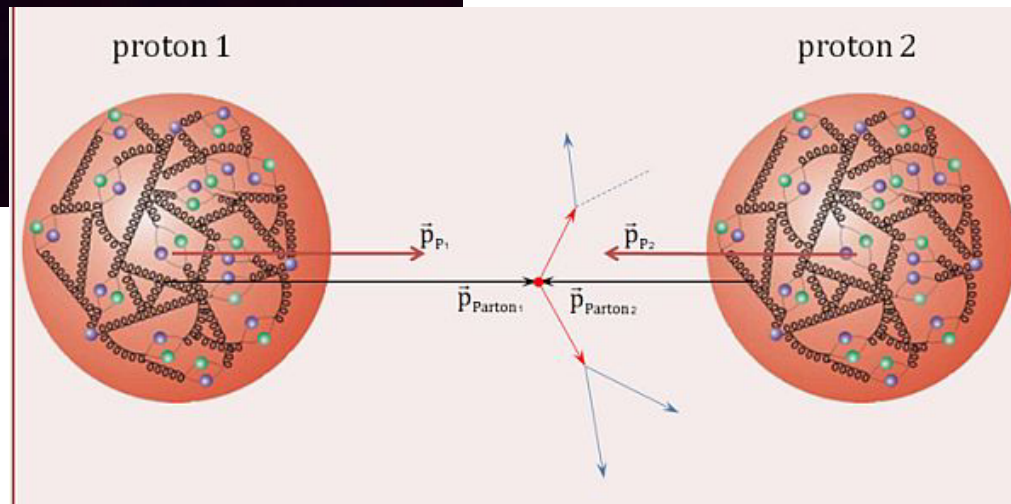
Le LHC (grand collisionneur de protons) vient d'entrer en fonctionnement au CERN (Genève) pour explorer la structure de la matière à des énergies très élevées (14 000 GeV). Le jeu "Collisions" propose d'illustrer ces réactions.



Le jeu "Collisions" (2)



2 constituants entrent en collision et de nouvelles particules sont créées

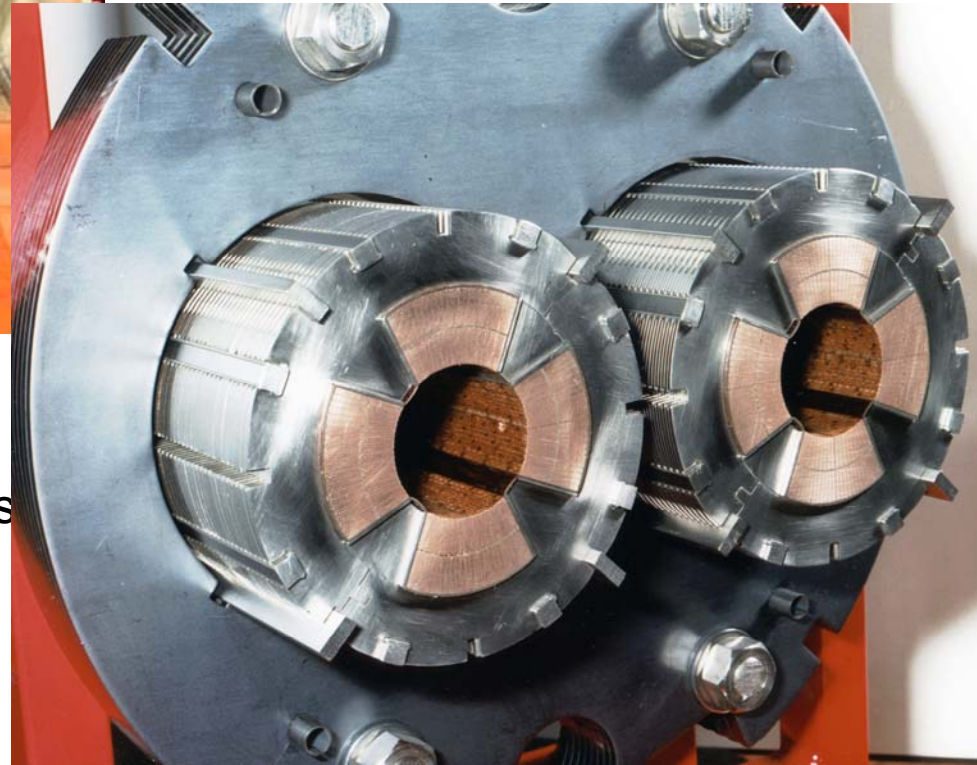


Le LHC dans son tunnel

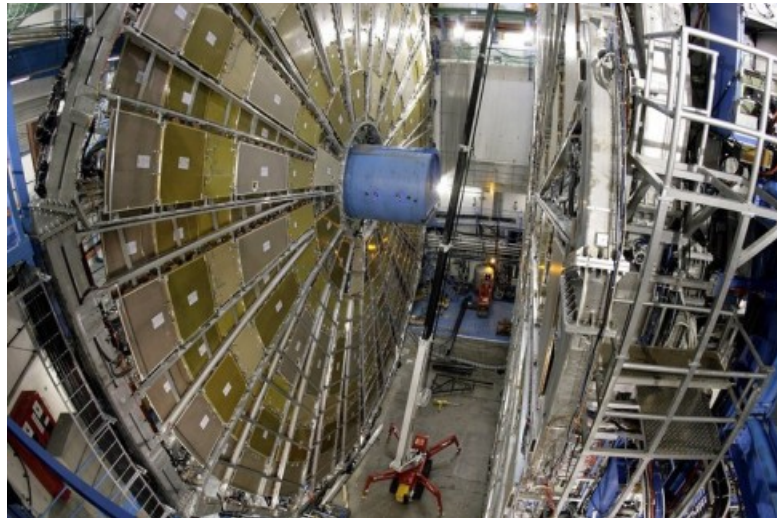
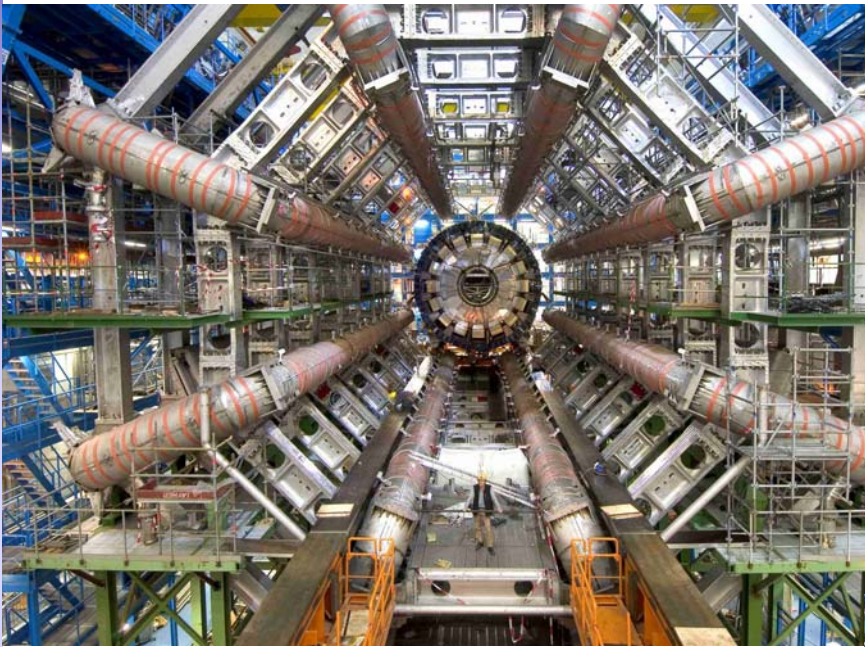


-Aimants du LHC

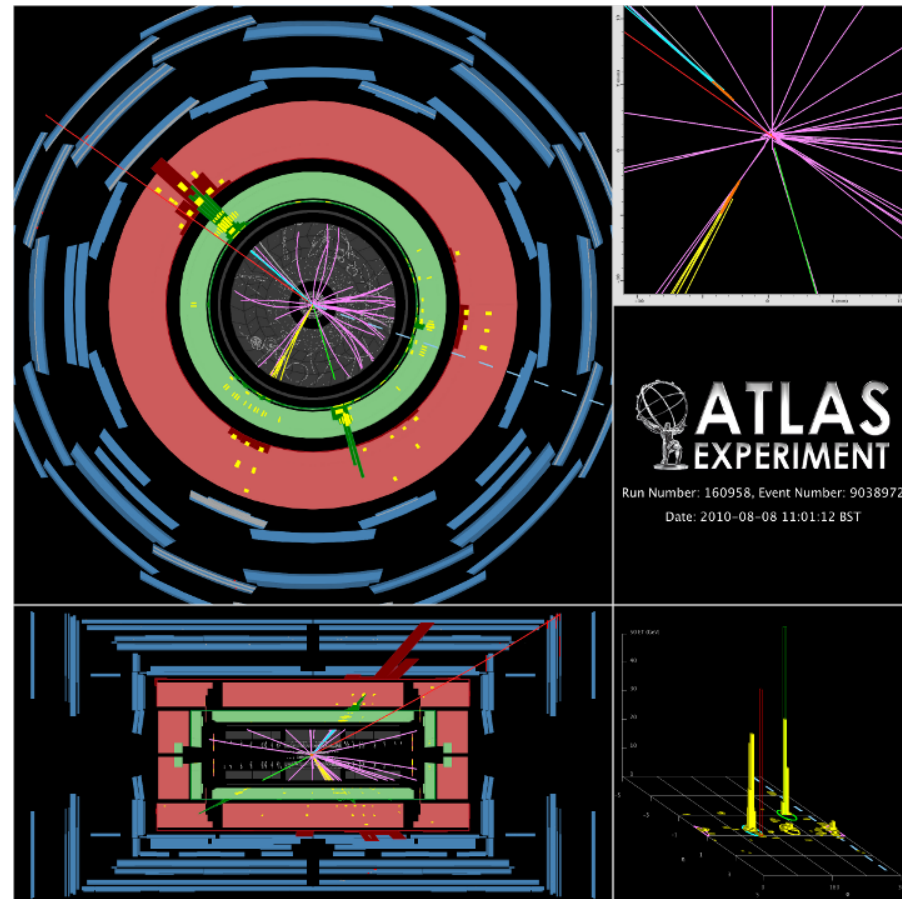
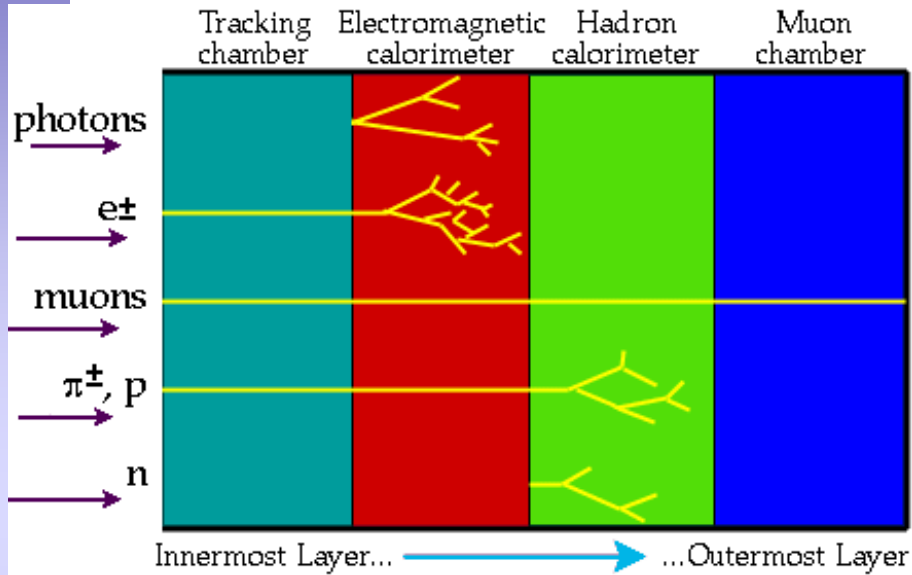
La supraconductivité permet de créer des champs magnétiques très intenses. Il faut les refroidir à -271 K .



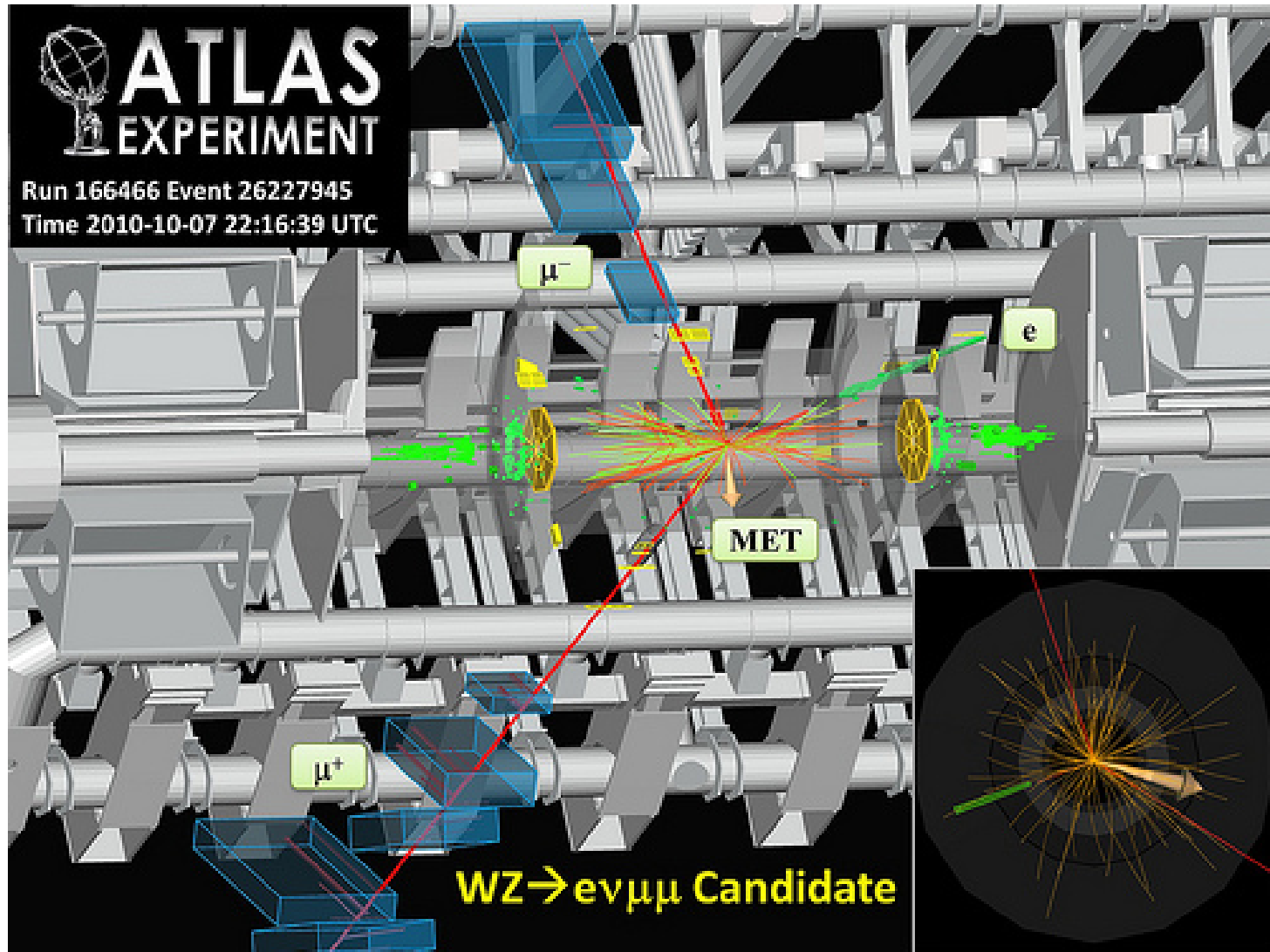
L'expérience ATLAS



L'expérience ATLAS



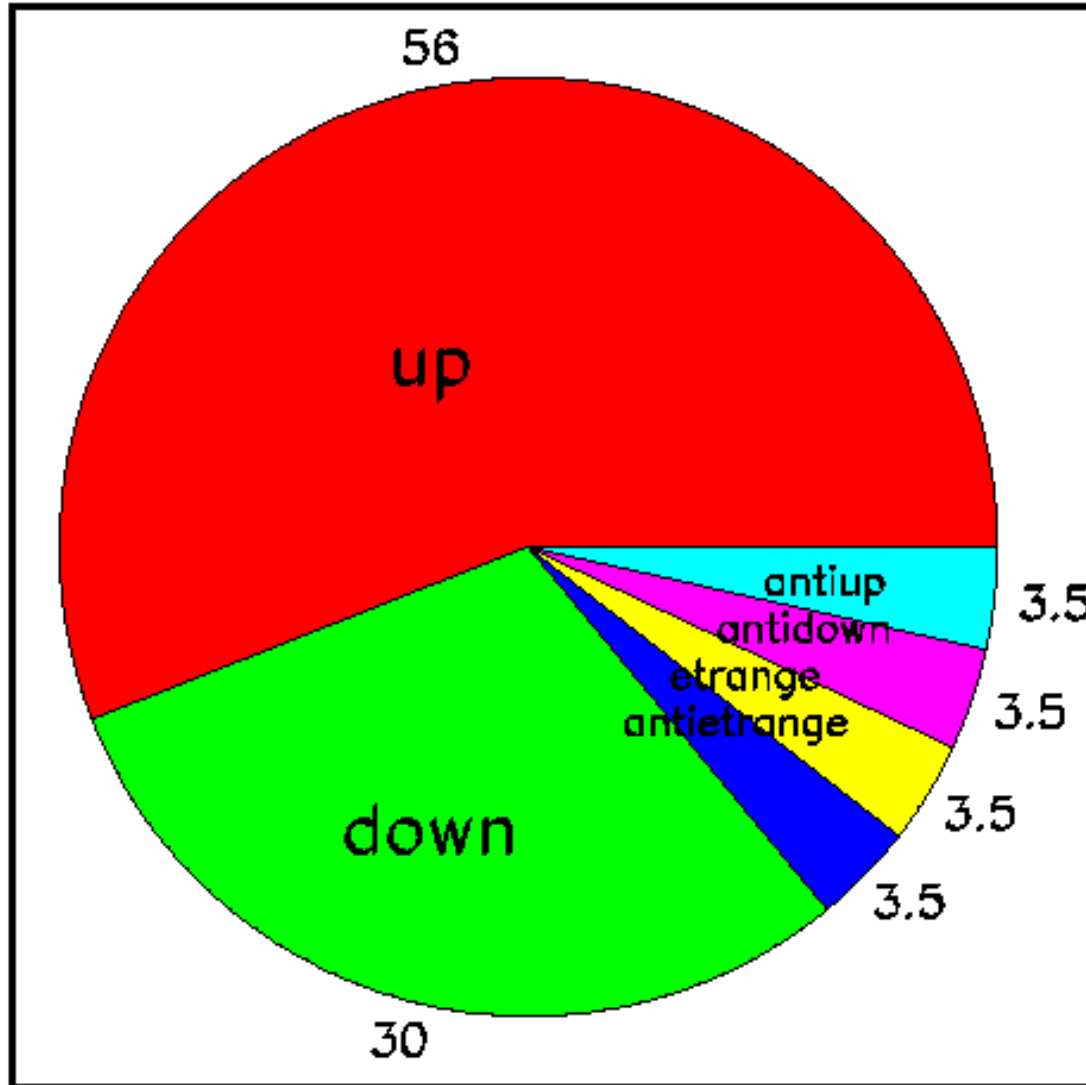
Exemple d'un événement



$p p \rightarrow W Z + \text{particules}, Z \rightarrow \mu^+ \mu^-, W \rightarrow e \nu$

Le jeu "Collisions" (3)

quarks et antiquarks dans le proton



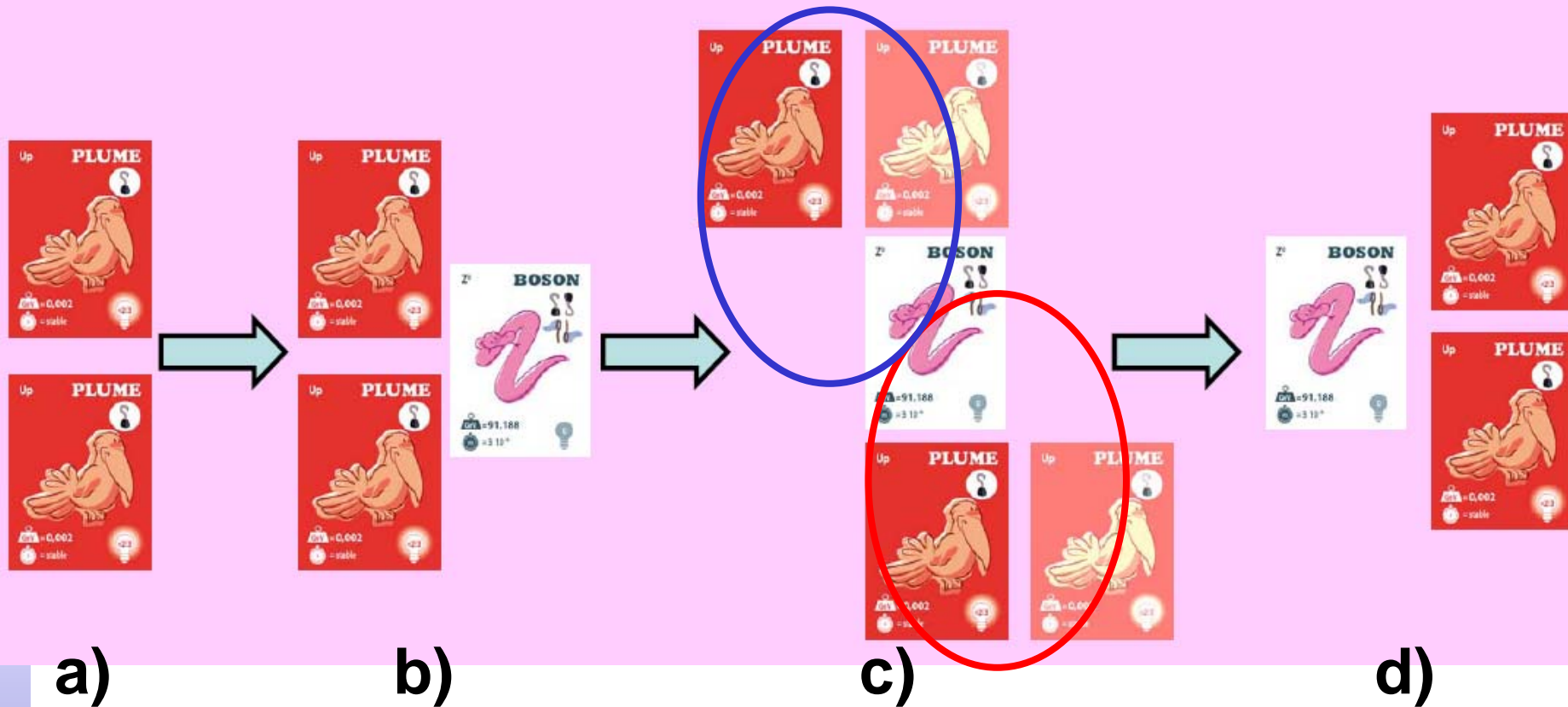
**Choisir 2
constituants
au hasard.**

(dans cette version on n'a pas de gluons : l'interaction forte est "débranchée").

Le jeu “collisions” (4)

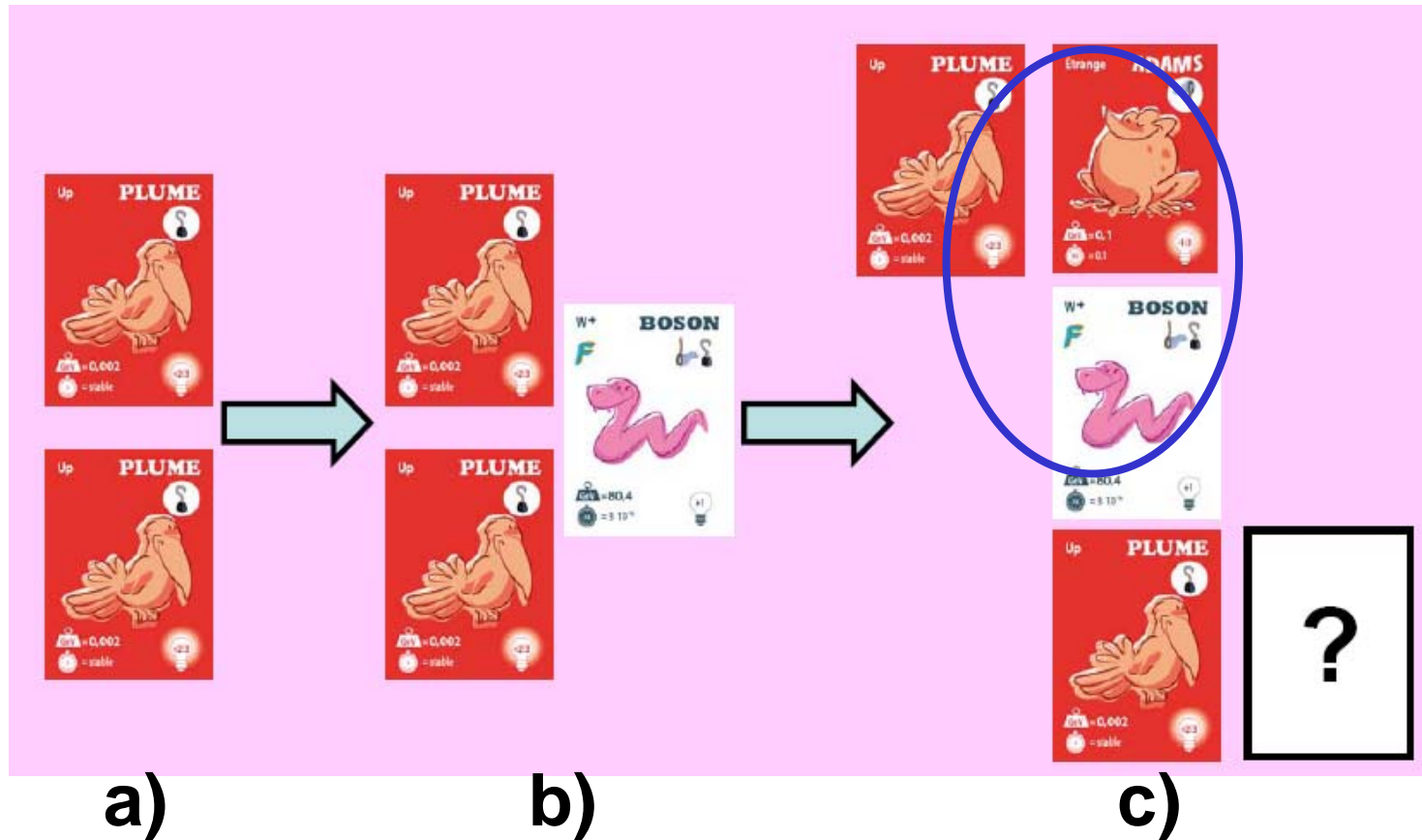
- on distribue 3 cartes à chaque joueur (8 joueurs au maximum) ;
- pour démarrer il faut qu'un joueur pose une carte représentant une force qui puisse être transmise entre les 2 éléments de départ ;
- chaque joueur, quand c'est son tour, peut échanger tout ou partie de ses cartes avec la pioche ;
- lorsque la collision a démarré chaque joueur pose les cartes permettant de poursuivre le développement de « la gerbe » ;
- lors de l'évolution d'un quark ou d'un antiquark on posera d'abord le boson qui va permettre le passage à l'étape suivante ;
- on ne peut poursuivre la suite de ce développement que si l'étape précédente est terminée ;
- on peut poser un photon à côté de toute particule chargée;
- si un joueur n'a plus qu'une carte il peut la poser, si cela est possible, pour former un méson avec une carte qui est déjà sur la table;
- le joueur qui gagne la manche est celui qui a pu poser ses 3 cartes le premier.
- celui qui gagne 5 ou 10 manches a gagné la partie

Le jeu "collisions" : deux quarks "up"



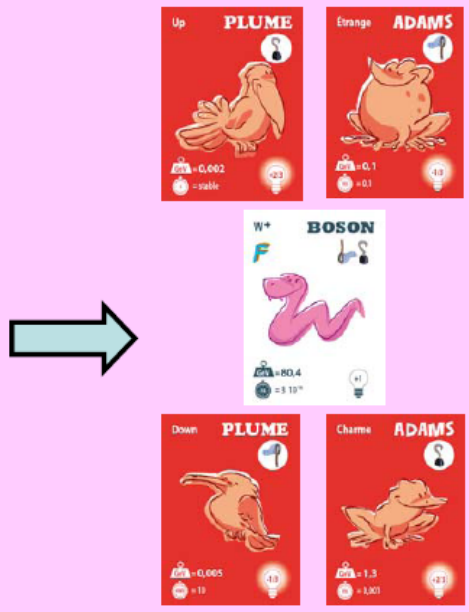
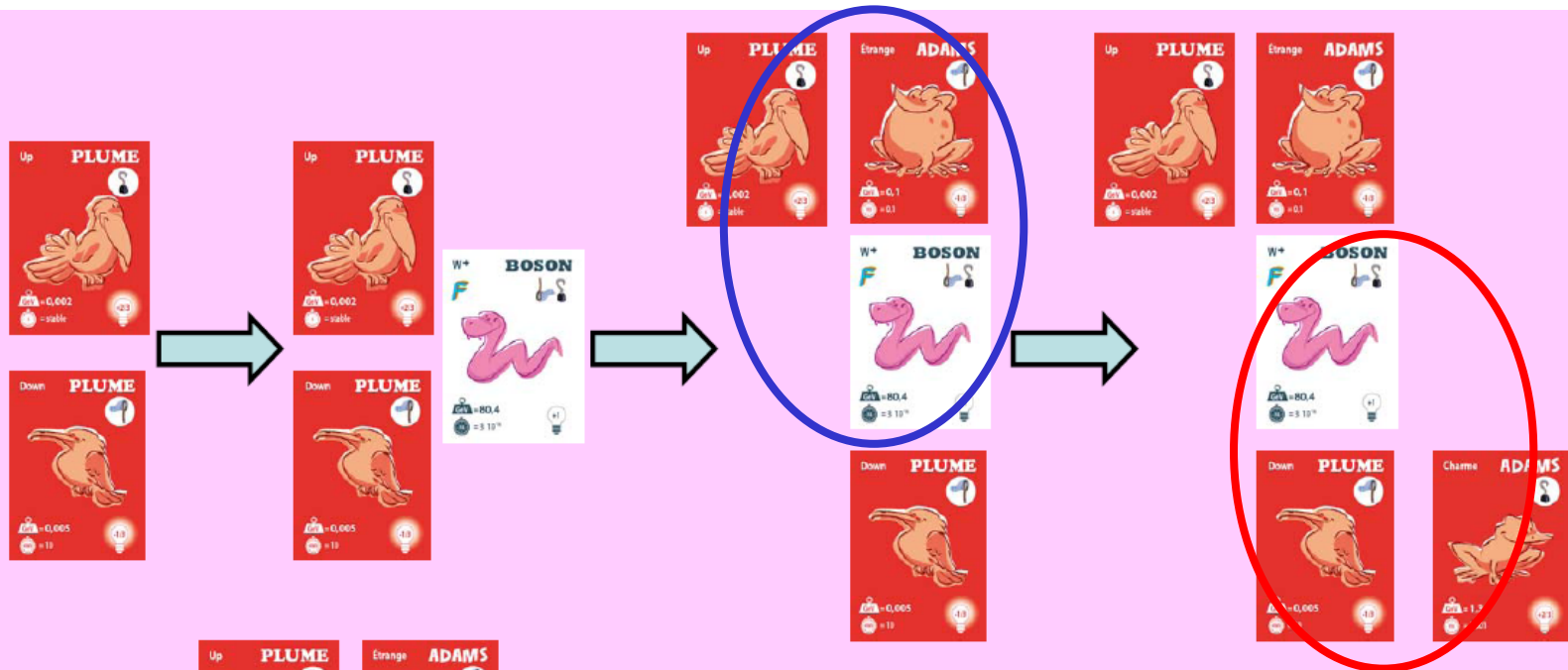
À la place du Z^0 on aurait pu aussi utiliser un photon (γ) ou bien le boson de Higgs (H^0).

Le jeu "collisions" : deux quarks "up"(2)



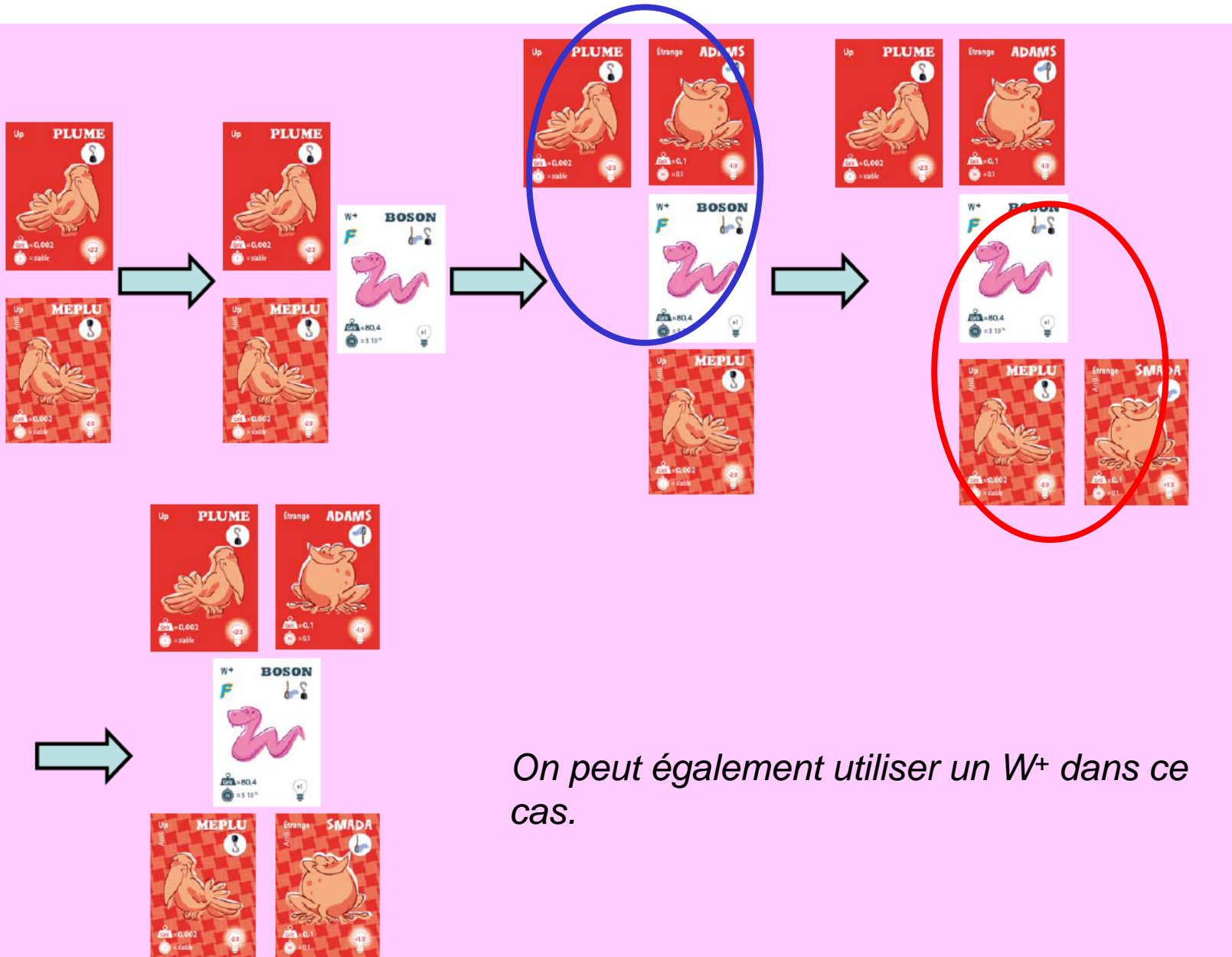
*Il faut imaginer si on va pouvoir continuer la réaction.
L'exemple ci-dessus indique une impossibilité.*

Le jeu "collisions" : "up" et "down"

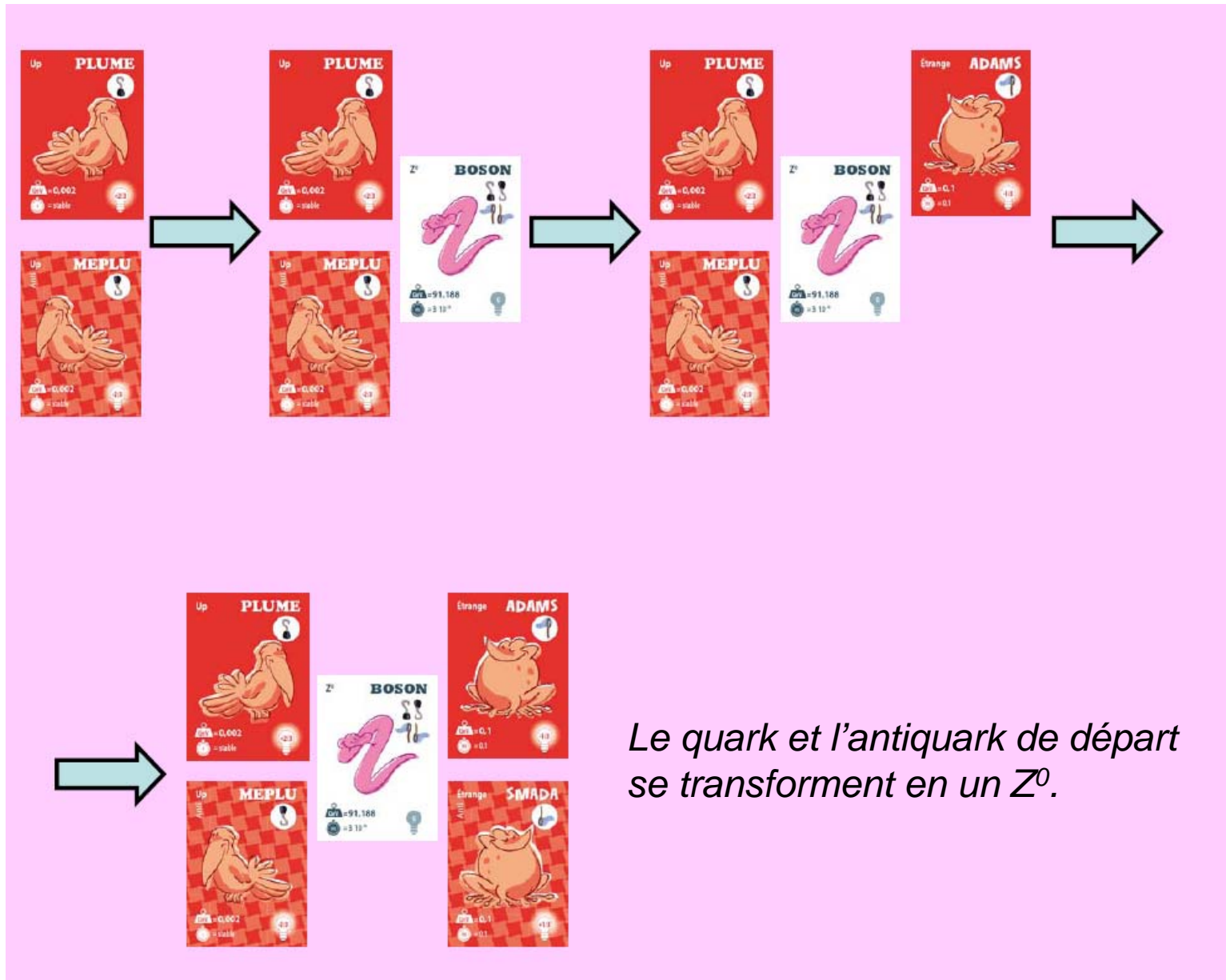


On peut utiliser un W^+ dans ce cas.

Le jeu "collisions" : "up" et "antiup" (1)

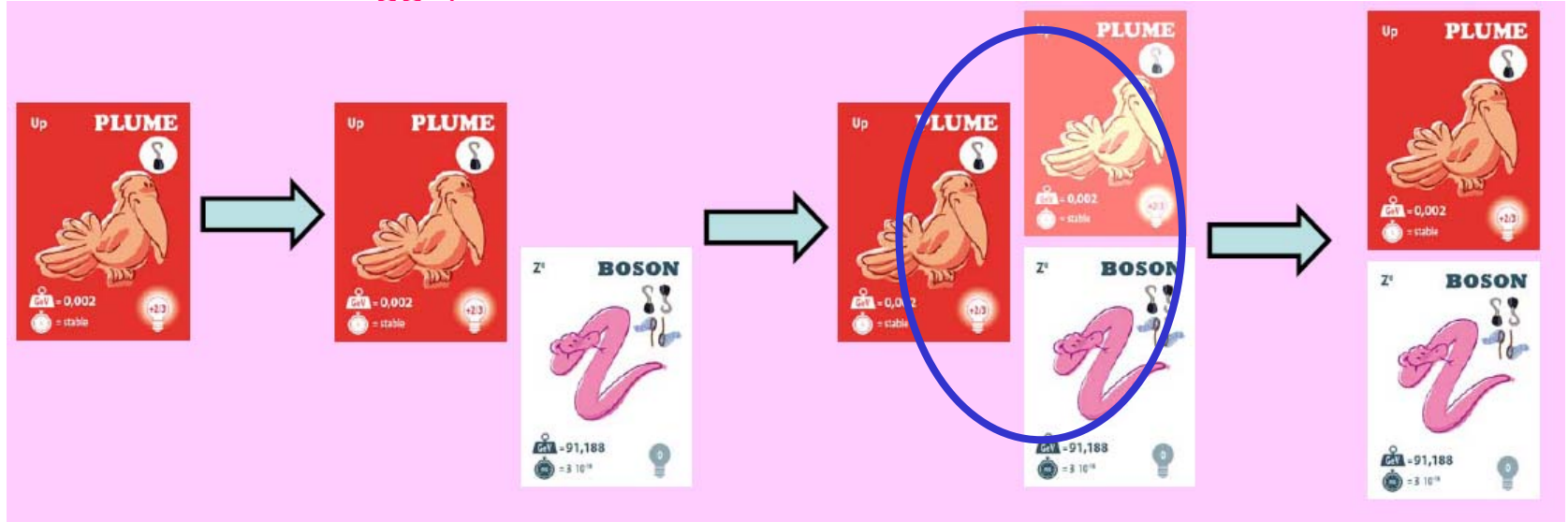


Le jeu "collisions" : "up" et "antiup" (2)



Transformation d'un quark (ou antiquark)

Action d'un Z^0 (ou bien d'un photon ou du boson de Higgs)

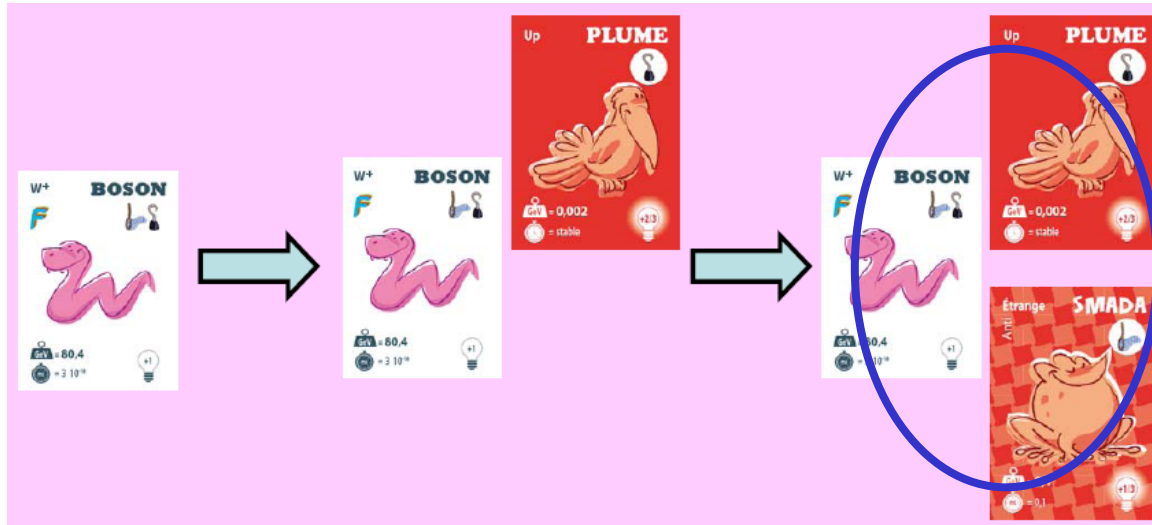


Action d'un W

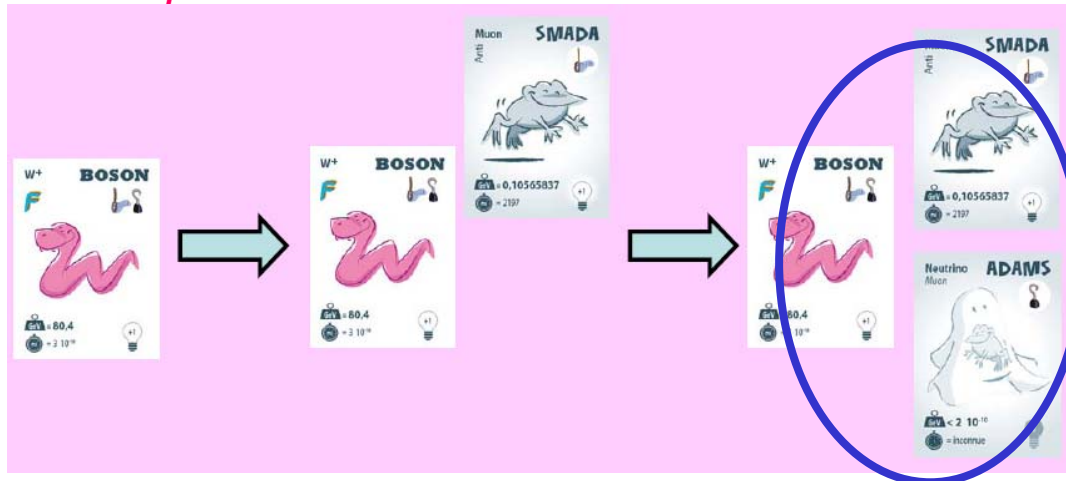


Transformation d'une force (exemples)

Le W se transforme en quark et antiquark



Le W se transforme en lepton et antilepton



on ne peut transformer une nouvelle carte que si l'étape précédente est terminée

Cas particuliers

Si la dernière carte dont on dispose est un quark (antiquark) on peut la poser à côté de tout autre antiquark (quark) pour former un méson.



On peut poser un photon à côté de toute particule chargée.

Ce que disent les cartes

Cette approche ludique doit permettre de comprendre :

- quels sont les constituants fondamentaux de la matière ;
- comment ils s'organisent en familles contenant chacune deux quarks et deux leptons ;
- quelles sont les propriétés des quarks et des leptons à l'intérieur d'une famille ;
- quelles sont les trois forces qui agissent entre ces constituants : forte, faible et électromagnétique ;
- comment ces trois forces agissent par échanges de nouvelles particules ;
- les effets de ces forces sur les constituants fondamentaux ;
- ce qu'est l'antimatière ;
- quels sont les deux types de particules formées de quarks et/ou d'antiquarks qui existent dans la nature ;
- la notion de particule instable et de radioactivité ;
- des notions comme la conservation de la charge électrique et de l'énergie ;
- la place du boson de Higgs dont la découverte est un des principaux objectifs du LHC.
- ...

Perspectives

-« Finaliser » les règles

-Aspect ludique destiné à un public plus large que celui des spécialistes, le graphisme permet de jouer en oubliant la physique.

- Notices avec les règles en voie d'achèvement;

- Brochure plus élaborée expliquant les liens entre carte et physique en cours de finalisation.

- Les documents ainsi que des images de cartes seront disponibles sur le site « Élémentaire » en accès libre;

-Des versions imprimées des cartes et des brochures pourront être achetées. Des échanges seront possibles avec les utilisateurs via le site;

-Commentaires, questions bienvenues (via Email par exemple). Il est important d'avoir des réactions de joueurs.

elementaire@lal.in2p3.fr

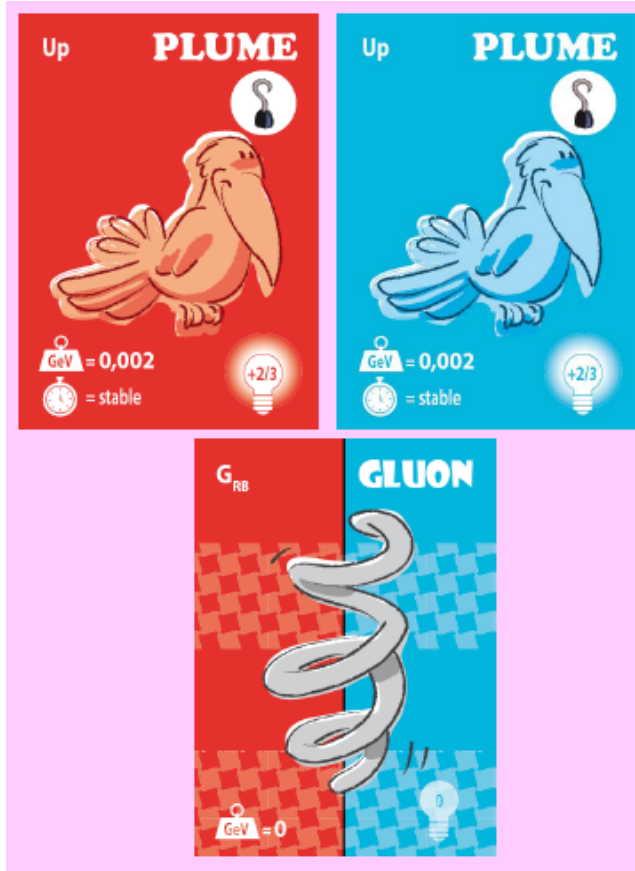
Particules et trois interactions : 64 cartes

On ajoute 8 gluons et les quarks sont de 3 couleurs (~1970 : QCD).
Chaque gluon possède 2 couleurs.

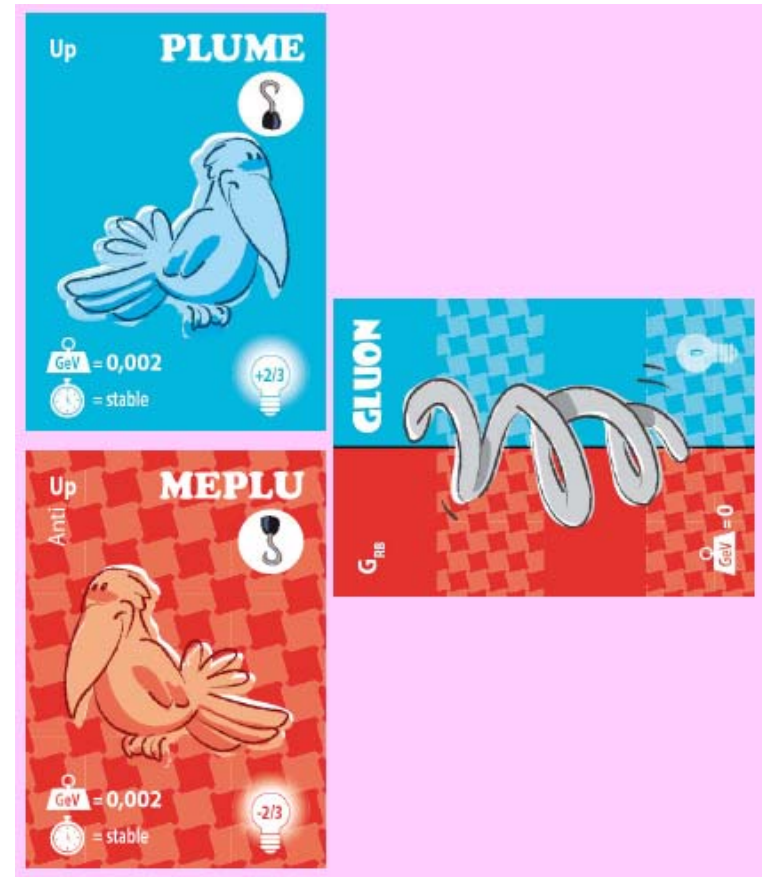
Plume)	u_R	u_V	u_B	d_R	d_V	d_B	e^-	ν_e
Adams	c_R	c_V	c_B	b_R	b_V	b_B	μ^-	ν_μ
Sumo	t_R	t_V	t_B	b_R	b_V	b_B	τ^-	ν_τ
Boson	W^+	W^-	Z^0	Z^0	γ	γ	γ	H
Gluon	$g_{RR+VV+BB}$	g_{RV}	g_{RB}	g_{VR}	$g_{RR+VV+BB}$	g_{VB}	g_{BR}	g_{BV}
Meplu	$-u_R$	$-u_V$	$-u_B$	$-d_R$	$-d_V$	$-d_B$	e^+	$-\nu_e$
Smada	$-c_R$	$-c_V$	$-c_B$	$-b_R$	$-b_V$	$-b_B$	μ^+	$-\nu_\mu$
Omus	$-t_R$	$-t_V$	$-t_B$	$-b_R$	$-b_V$	$-b_B$	τ^+	$-\nu_\tau$

couleur (int. forte) ~ **signe de la charge électrique** (int. électromagnétique)

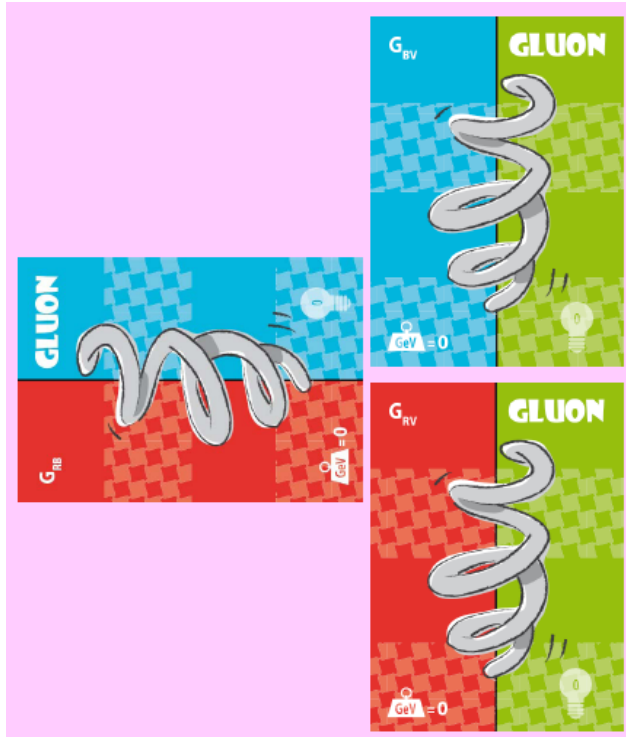
Interactions quark-gluon (3 cartes)



- l'interaction n'a lieu qu'entre objets colorés;
- la saveur du quark reste inchangée;
- la couleur du quark peut changer



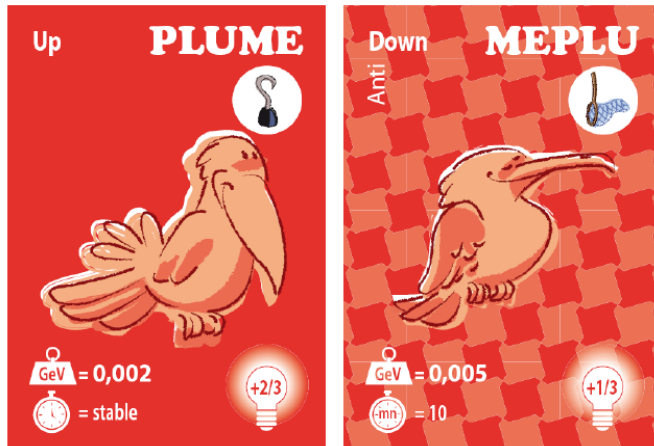
Interactions gluon-gluon (3 et 4 cartes)



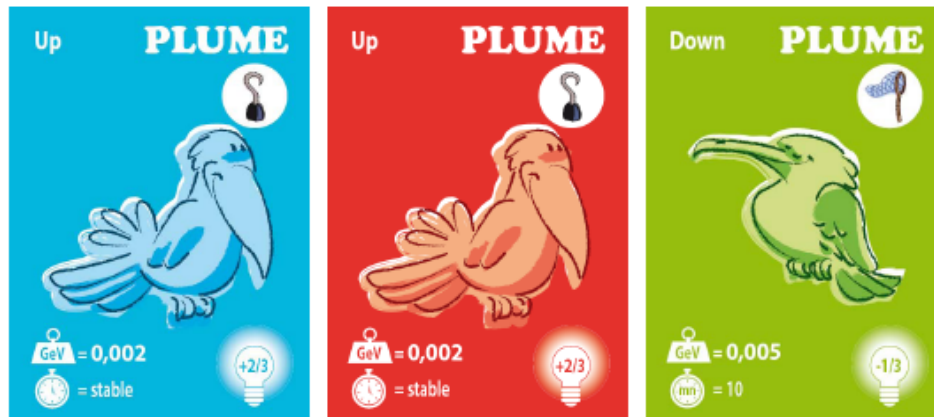
- les gluons étant colorés ils interagissent entre eux par l'interaction forte

Les baryons (3 cartes)

L'interaction forte entre quarks, antiquarks et gluons conduit à l'existence de 2 types de particules : les mésons et les baryons. Ce sont deux systèmes non-colorés.



méson : couleur et anticouleur correspondante s'annihilent pour donner du blanc.

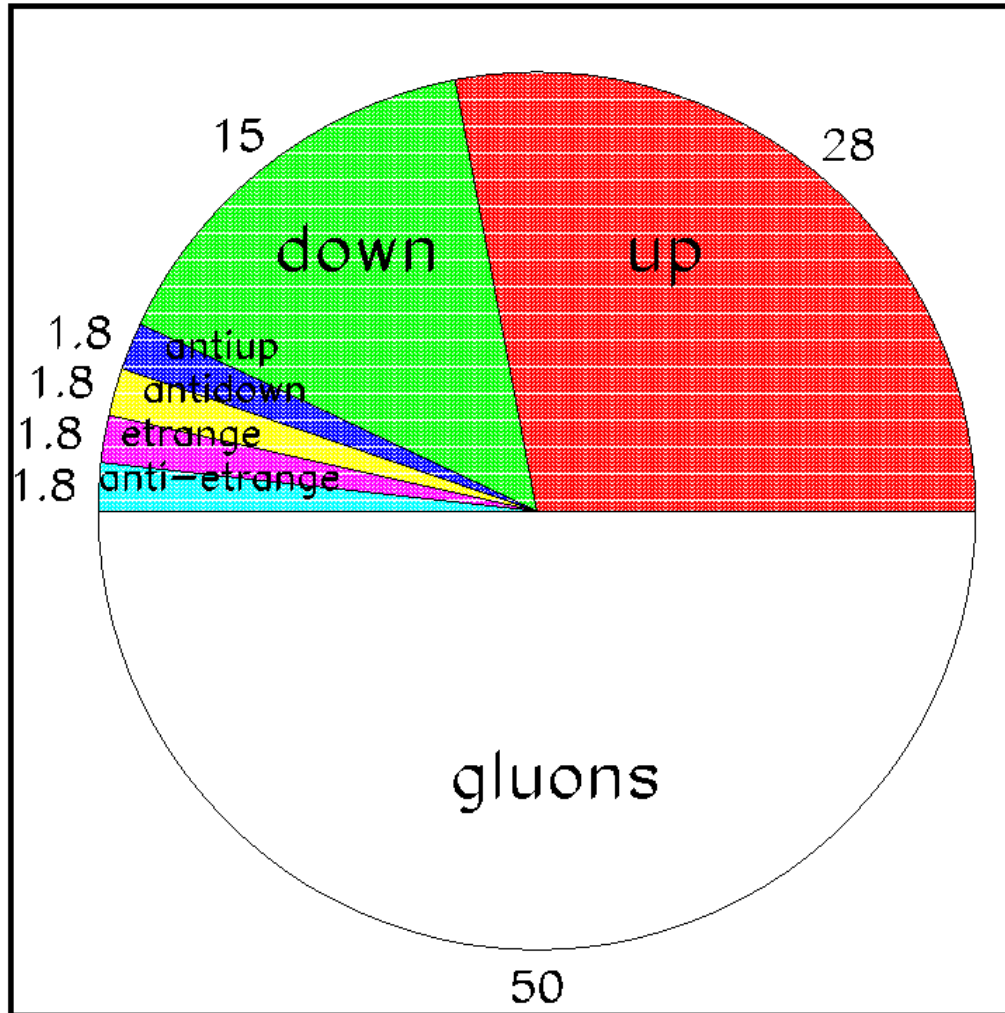


baryon : les 3 couleurs fondamentales se « mélangent » pour donner du blanc.

Exemple: $uud = \text{proton}$

Le jeu "collisions" : 64 (+ 8 gluons)

quarks, antiquarks et gluons dans le proton



**Choisir 2
constituants
au hasard.**

**Choisir une
(ou 2) couleurs
au hasard.**

Le jeu “collisions” : démarrage

Plus de possibilités que dans le jeu à 32 cartes.



quark + gluon



gluon + gluon

-les 2 constituants élémentaires de départ doivent avoir une couleur commune

-distribuer 6 cartes à chaque joueur

7 familles

Plume	u_R	u_V	d_R	d_V	e^-	ν_e
Adams	c_R	c_V	b_R	b_V	μ^-	ν_μ
Sumo	t_R	t_V	b_R	b_V	τ^-	ν_τ
Boson	W^+	W^-	Z^0	photon	gluon	Higgs
Meplu	$-u_R$	$-u_V$	$-d_R$	$-d_V$	e^+	$-\nu_e$
Smada	$-c_R$	$-c_V$	$-b_R$	$-b_V$	μ^+	$-\nu_\mu$
Omus	$-t_R$	$-t_V$	$-b_R$	$-b_V$	τ^+	$-\nu_\tau$

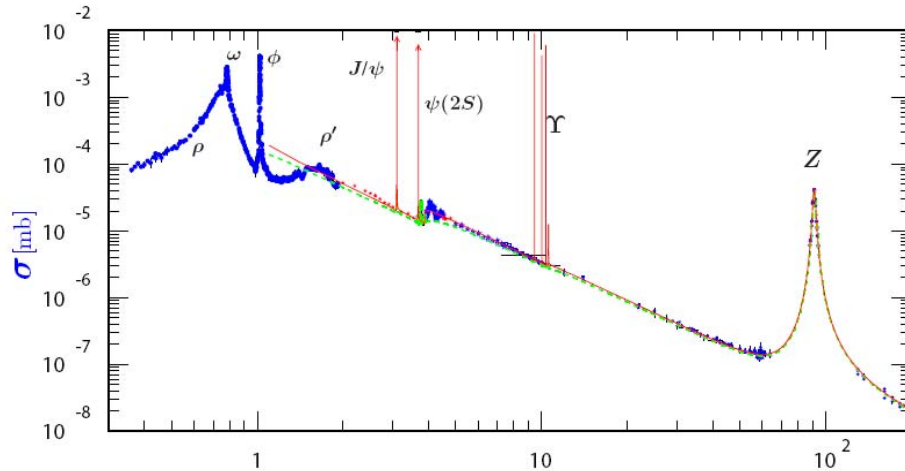
avec "Quizz"

The quiz cards are arranged in a 2x3 grid:

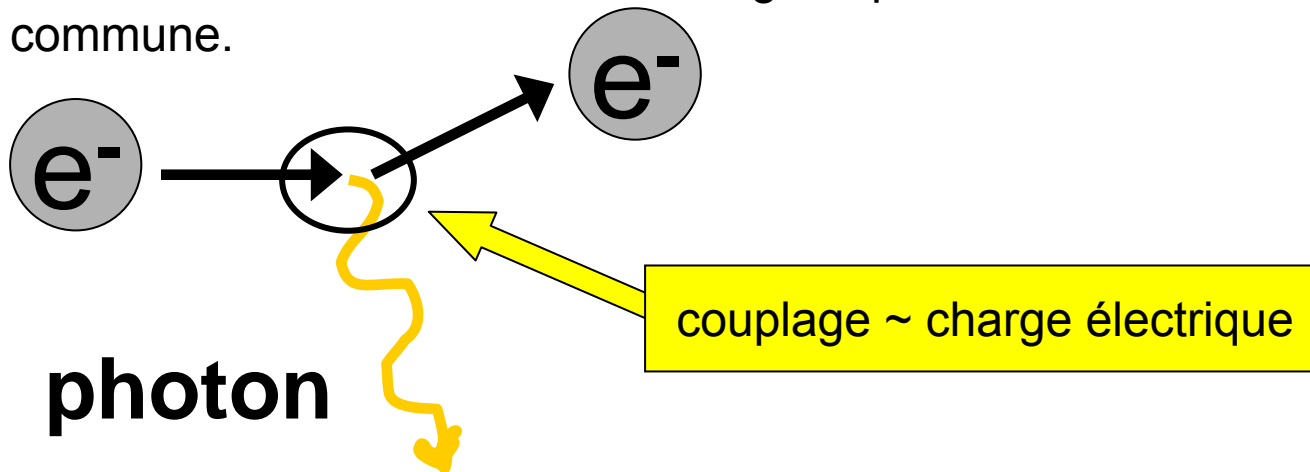
- Top Row:**
 - Up (Green):** $m = 0,002$ GeV, stable, +2/3.
 - Up (Red):** $m = 0,002$ GeV, stable, +2/3.
 - Neutrino Electron (Grey):** $m < 2 \cdot 10^{-10}$ GeV, inconnu, 0.
- Bottom Row:**
 - Down (Green):** $m = 0,005$ GeV, 10, -1/3.
 - Down (Red):** $m = 0,005$ GeV, 10, -1/3.
 - Electron (Grey):** $m = 0,0005485799$ GeV, stable, -1.

Suppléments

Unification des forces



Les interactions faible et électromagnétique sont unifiées dans une équation commune.



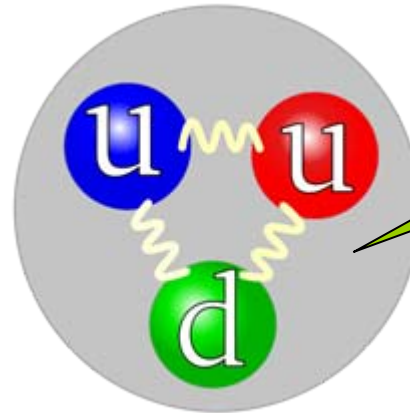
Les interactions faibles et électromagnétiques sont décrites par 2 couplages. Le crochet et le filet sont reliés à ces couplages.

Mésons et baryons

Il existe 2 types de particules formées de quarks et d'antiquarks liés par des gluons qui sont **stables pour l'interaction forte**.

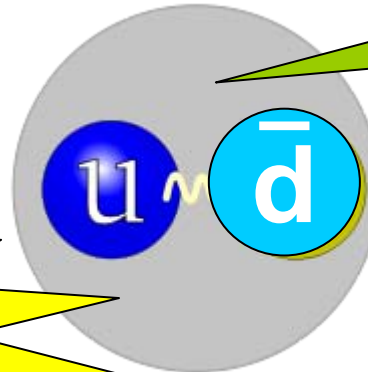
Deux manières de former du blanc avec des couleurs.

les baryons



3 couleurs

les mésons



couleur
+
anticouleur

Seul, le proton est stable
pour les 3 forces

Régularités

Up PLUME $m = 0,002$ GeV = stable +2B	Down PLUME $m = 0,005$ GeV = 10 +1B	Neutrino PLUME Electron $m < 2 \cdot 10^{-10}$ GeV = inconnue 0	Electron PLUME $m = 0,0005485799$ GeV = stable -1	Up MEPLU Anti $m = 0,002$ GeV = stable -2B	Down MEPLU Anti $m = 0,005$ GeV = 10 +1B	Neutrino MEPLU Electron Anti $m < 2 \cdot 10^{-10}$ GeV = inconnue 0	Electron MEPLU Anti $m = 0,0005485799$ GeV = stable +1
Charme ADAMS $m = 1,3$ GeV = 0,001 +2B	Étrange ADAMS $m = 0,1$ GeV = 0,1 +1B	Neutrino ADAMS Muon $m < 2 \cdot 10^{-10}$ GeV = inconnue 0	Muon ADAMS $m = 0,10565837$ GeV = 2197 -1	Charme SMADA Anti $m = 1,3$ GeV = 0,001 -2B	Étrange SMADA Anti $m = 0,1$ GeV = 0,1 +1B	Neutrino SMADA Muon Anti $m < 2 \cdot 10^{-10}$ GeV = inconnue 0	Muon SMADA Anti $m = 0,10565837$ GeV = 2197 +1
Top SUMO $m = 173$ GeV = $3 \cdot 10^{-4}$ +2B	Beauté SUMO $m = 4,2$ GeV = 0,0015 +1B	Neutrino SUMO Tau $m < 2 \cdot 10^{-10}$ GeV = inconnue 0	Tau SUMO $m = 1,7768$ GeV = 0,000291 -1	Top OMUS Anti $m = 173$ GeV = $3 \cdot 10^{-4}$ -2B	Beauté OMUS Anti $m = 4,2$ GeV = 0,0015 +1B	Neutrino OMUS Tau Anti $m < 2 \cdot 10^{-10}$ GeV = inconnue 0	Tau OMUS Anti $m = 1,7768$ GeV = 0,000291 +1

De nombreuses particules mais qui beaucoup ont un comportement similaire. Des règles simples vont émerger.

Les interactions sont véhiculées par des particules



colorée
(forte)



... il y en a 8



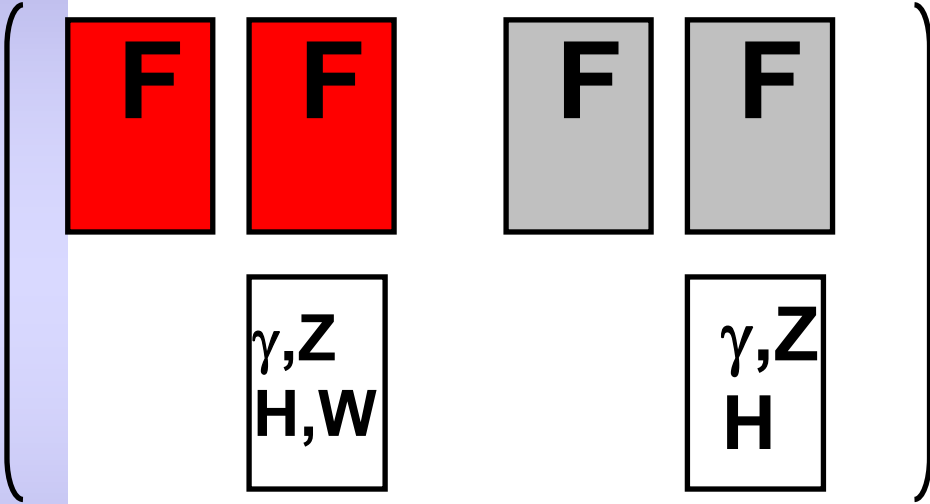
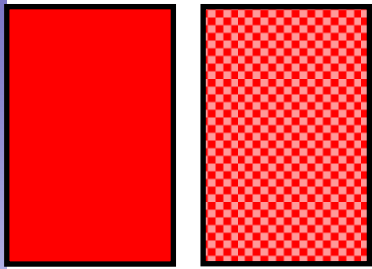
non colorée

faible



électro-
magnétique

unifiées (~1970)



γ, Z
 H, W

F

F

γ, Z
 H, W

F

F

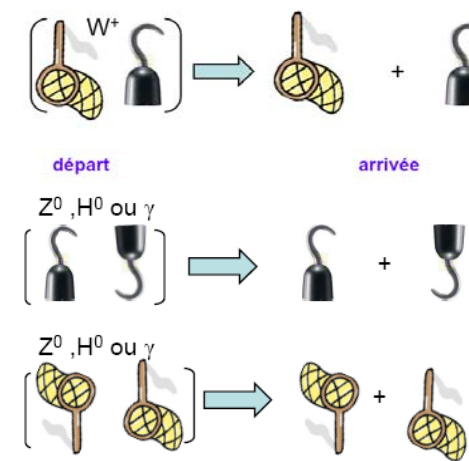
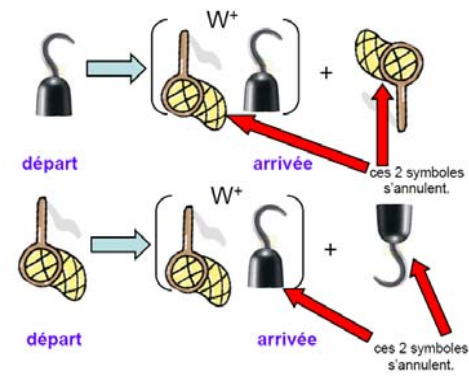
F **G**

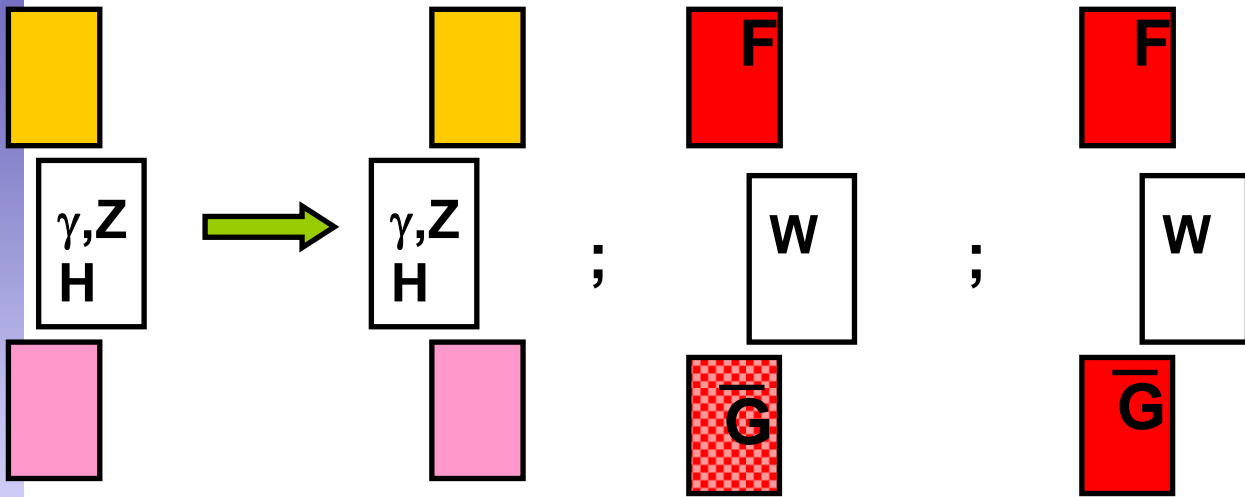
W

W



F

G

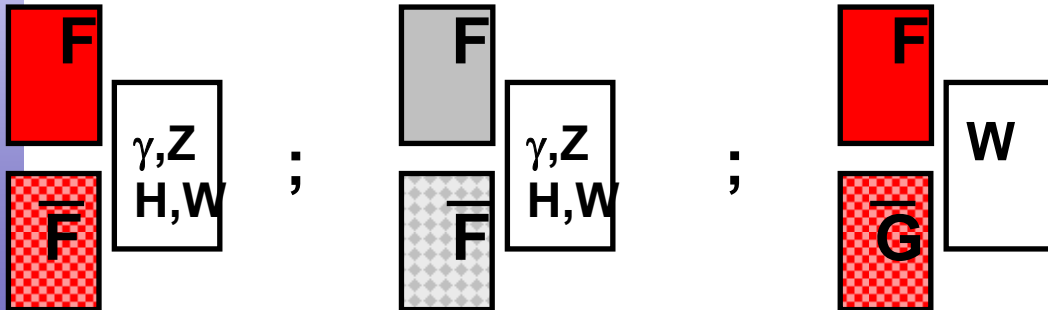




Vérifier les règles pour les symboles (crochet et filet)

 ;  = cartes quelconques

**Démarrage de la collision
(on pose une force)**



Vérifier les règles pour les symboles (crochet et filet)