

Atelier sur « Les boîtes mystère »

07/07/2025

Auteurs : Sophie Botto, Patrick Carrot, Michèle Roudeau, Patrick Roudeau, Ghislaine Vendryes et avec la participation des autres membres de « La Compagnie des Sciences et des Arts » de Soustons.

La proposition est d'adapter le concept de « Mystery boxes » proposé dans les rubriques pédagogiques du Centre Européen de la Recherche Nucléaire (CERN) à Genève.

Les Boîtes Mystère

Voici ce que l'on peut trouver sur le site du CERN :

<https://scoollab.web.cern.ch/mystery-boxes>

« Les boîtes mystère **sont un excellent outil pour mettre en pratique les compétences de raisonnement scientifique et présenter aux étudiants la puissance des modèles scientifiques.**

Pour plus de détails sur la proposition du CERN voir l'Appendice 2. La relation entre ce jeu et la physique est indiqué dans l'Appendice 3.

Proposition d'atelier

L'activité autour des Boîtes mystère s'inscrit dans un atelier plus général consacré aux mondes souterrains. Nous avons couplé cette activité avec un déplacement des participants dans l'obscurité.

Deux types de boîtes ont été réalisés. Des boîtes en LEGO, de forme carrée et des boîtes rondes utilisant des emballages de fromage (bois ou carton). À l'intérieur de chaque boîte nous avons placé une bille en acier de 12 mm de diamètre. Les boîtes sont fermées et il est recommandé de ne jamais les ouvrir. Elles sont identifiées, à l'extérieur, par une image ou un symbole. Seule la personne ayant créé la boîte connaît la correspondance entre l'aménagement interne de la boîte et le repère extérieur. Des images des boîtes utilisées sont données dans l'Appendice 1.

Le principe du jeu est de trouver l'aménagement interne des boîtes (que l'on ne peut pas percevoir directement) en utilisant le mouvement de la bille placée à l'intérieur. On observe le mouvement de la boîte lorsqu'on la déplace (est-ce qu'elle résiste ou bien continue le mouvement ?) On note les bruits de la bille : arrêt contre un obstacle, chute, mouvement continu, ...)

Une histoire

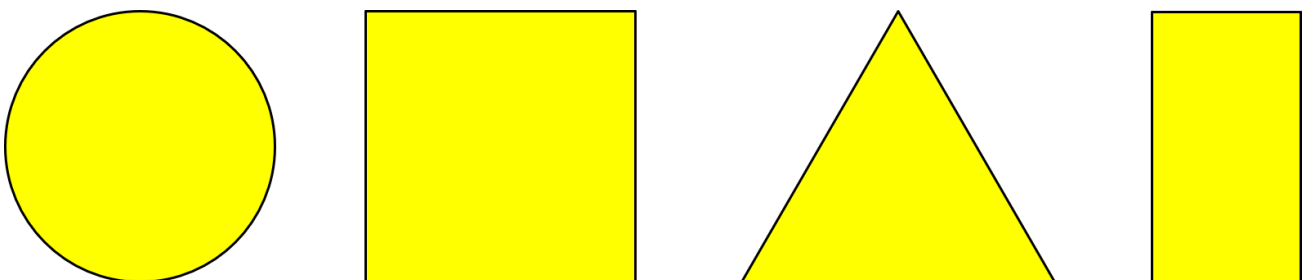
On propose un petit conte afin de se rapprocher des mondes souterrains.

« Au fond de certaines cavernes vivent de tout petits êtres qui ne sortent que la nuit venue. Ils vivent dans des maisons, **carrées ou rondes**, toutes petites bien sûr. Quand ils les quittent, ils les ferment complètement par le simple effet de leur pensée. C'est bien commode ; comme ça ils ne perdent jamais la clef. Ici, sur Terre, on les appelle les « Kiss-et-toux ¹ ». Sur chaque maison il y a l'image d'un petit animal vivant sous terre, le plus souvent. Les « Kiss-et-Toux » aiment beaucoup ces animaux et ont formé 4 clans, chacun ayant son animal préféré. Le lombric (ver de terre) est particulièrement populaire car, comme les « Kiss-et-Toux » il n'a pas de pattes. Pour se déplacer, aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur, les « Kiss-et-Toux » utilisent une bille dans laquelle ils pénètrent toujours par l'effet de leur pensée. Les autres animaux, des différents clans, ont des nombres de pattes variés, ce qui impressionne les membres de leurs clans respectifs car, eux, peuvent se déplacer facilement sans avoir besoin de billes.

Le célèbre explorateur Yves Copains d'Antan aimerait bien connaître comment vivent ces petits êtres et devenir, ainsi, encore plus renommé. Cependant il y a un problème. La caverne où vivent les « Kiss-et-Toux » est précédée d'une grande salle éclairée à laquelle on accède par une porte. Mais, si quelqu'un pénètre dans la caverne qui suit la salle, alors, la porte d'entrée générale se referme et tout le monde est prisonnier.

Pour ressortir il faut composer un code qui permet d'ouvrir une boîte dans laquelle se trouve la clef. Les « Kiss-et-Tout », ont inscrit ce code sur une feuille qu'ils ont mise sous un pot de fleurs, placé à côté de l'entrée, au cas où un voyageur imprudent ait pénétré dans la caverne. Malheureusement, ce code est écrit dans leur langage. Cela n'est pas gênant pour eux car ils connaissent, la correspondance entre chaque symbole et le chiffre qui lui correspond.

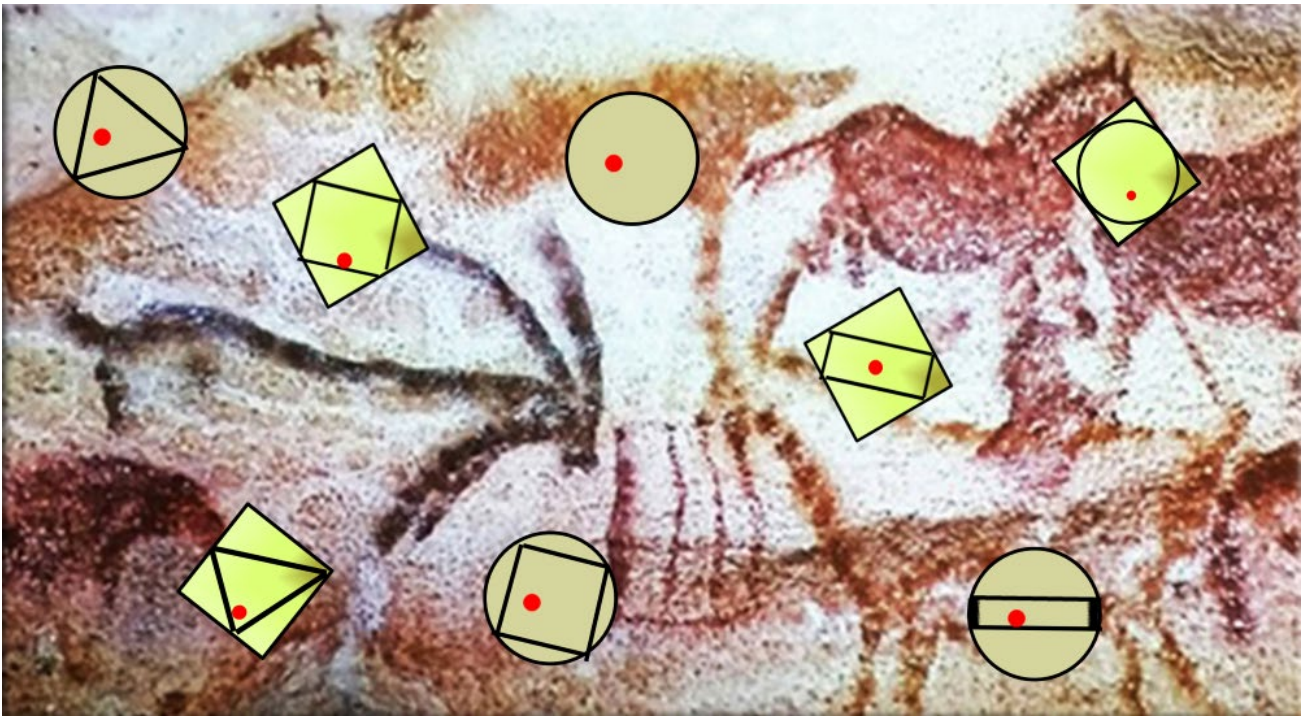
Voici l'inscription trouvée par Yves Copains d'Antan lors de sa dernière visite :



Comment trouver la correspondance entre ces symboles et les chiffres du code? Où les « Kiss-et-Toux » ont-ils caché cette correspondance ?

Yves Copains d'Antan se souvient alors d'une grande photo qu'avait prise le fameux explorateur Lasco de l'agence Gamma. Il avait utilisé un flash, afin de ne pas pénétrer dans la grotte. La photo représente une paroi sur laquelle apparaissent, en plus des animaux, également des carrés et des cercles.

¹ ce surnom leur est venu d'un explorateur qui les a entendus discuter, la nuit, dans un bois : leur conversation semblait être une mélodie formée de bruits de baisers et de petits toussicotits.



Photographie d'une paroi de la grotte (@Lasco de l'Agence Gamma).

Que remarque-t-on ? *(les participants interviennent)* Les formes sont uniquement carrées et rondes, comme celles des maisons. Il y a autant des unes que des autres. À l'intérieur on voit des dessins qui ressemblent à ceux inscrits près de la porte. **Il y a donc de grandes chances pour que les dessins sur la paroi représentent l'intérieur de ces maisons.** Mais **comment passer des dessins aux chiffres** ? Par exemple à quel chiffre correspond le dessin du triangle ??

La première chose à faire est donc de se procurer quelques-unes de ces maisons puis de **trouver comment elles sont aménagées à l'intérieur. On aura ainsi la correspondance entre les symboles du code et les images qui représentent chacun des clans.**

Yves Copains d'Antan propose **d'y aller tout de suite**, en effet, aujourd'hui les « Kiss-et-Tout » sont tous partis en forêt pour leur réunion annuelle des clans. On peut donc récupérer des maisons puis les remettre en place sans qu'ils s'en aperçoivent.

Malheureusement, ces habitations sont faites d'un matériau inconnu que l'on ne peut pas couper ni percer ! La photo de Lasco indique que les pièces sont définies par des cloisons placées le long des murs. On voit aussi que, **dans chaque maison il y a une bille (point rouge)** que les occupants doivent utiliser pour se déplacer à l'intérieur.

Ayant résolu ce problème, il restera à trouver **la correspondance entre l'image de chaque clan qui est sur la maison et le chiffre quelle représente.** Avez-vous une idée ? *(les participants interviennent)*

Réponse : il suffit de compter le nombre de pattes de l'animal représenté sur l'image de la maison. Par exemple, si on pense que la maison avec une taupe contient un triangle alors le chiffre associé au triangle est le 4.

Proposition de déroulement du jeu

Yves Copains d'Antan vous propose donc :

- + pénétrez dans la caverne et ramenez des boîtes en les prenant doucement pour ne pas les abîmer et afin que les « Kiss-et-Toux » ne se rendent compte de rien, quand ils rentreront. Assurez-vous qu'il y a bien une bille à l'intérieur de la boîte en la bougeant mais sans essayer de l'ouvrir;
- + on doit récupérer 8 boîtes au total : 4 carrées et 4 rondes ;
- + essayez de comprendre comment il faut les bouger, doucement, pour identifier la forme qui est à l'intérieur ;

Comme le temps est très court pour l'atelier, il faut indiquer aux enfants comment procéder :

+ leur montrer les dessins des boîtes (photo de la paroi de la grotte) et leur indiquer que l'on va bouger les boîtes de manière à ce que **la bille roule successivement sur toutes les parois qui sont dans la boîte;**

+ pour cela, il faut tenir les boîtes verticalement (comme un volant de voiture) et les faire tourner jusqu'au moment où ils entendent que la bille se déplace. Pour les boîtes rondes, il suffit de les faire rouler sur une table;

+ on s'arrête alors de tourner.

* si la bille s'arrête aussi, alors la bille roule simplement sur un cercle. Dans ce cas continuer de tourner jusqu'à ce que la bille s'arrête. Cela voudra dire qu'**elle a rencontré un obstacle;**

* si la bille continue son mouvement, alors qu'on ne tourne plus la boîte, on va entendre un "cloc" indiquant que **la bille a rencontré un obstacle;** La bille se sera déplacée en ligne droite.

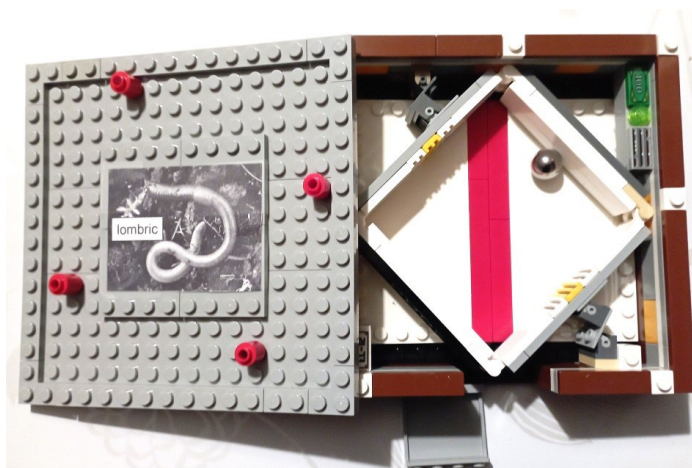
+ Ils prennent alors la boîte en haut au milieu, entre 2 doigts, sans trop serrer afin que la boîte puisse bouger, comme un pendule. La boîte se met dans une position avec la bille qui est le plus bas possible, dans un angle. Pour les boîtes rondes, mettre un petit bout de post-it (quelques mm x mm) sur le bord de la boîte, à cet endroit. Pour les boîtes en LEGO poser un petit repère ;

+ reprendre la boîte comme un volant et continuer de la faire tourner. Au début rien ne se passe puis la bille se met en mouvement et on va entendre un nouveau "cloc" ;

+ repérer la position de ce nouvel obstacle par la méthode précédente avec un "post-it" ou un repère en LEGO;

+ et ainsi de suite jusqu'à faire un tour complet: on va retomber sur le premier post-it.

+ Les post-it ou les repères vont nous donner la forme qui est à l'intérieur sachant que la bille relie deux points consécutifs.



Exemple de repérage avec une boîte LEGO. Les plots rouges ont été mis en utilisant la méthode décrite ci-dessus qui permet de retrouver les angles à partir des « clocs » de la bille. En reliant les plots on retrouve le carré qui est à l'intérieur de la boîte.

+ Si cette approche reste trop compliquée, notamment pour les plus jeunes, on pourra utiliser la méthode de Braille en leur faisant découvrir, par le toucher, la forme qui est cachée et dont le contour peut être suivi par des points en relief.

Pour des formes plus complexes que celles proposées dans l'atelier (cercle vide, triangle, carré et rectangle) il faudra faire appel à son imagination pour les retrouver.

+ il y a des boîtes ouvertes, à disposition, permettant de voir comment cela peut fonctionner ;



Exemple de boîte sans le couvercle que l'on peut manipuler afin de comprendre comment on pourra retrouver l'aménagement des cloisons, une fois la boîte refermée.

+ lorsque l'on a identifié une forme, vérifier que c'est bien la bonne réponse en bougeant la boîte différemment (par exemple en revenant en arrière en la faisant tourner en sens inverse);

+ si on ne sait pas identifier la forme, utiliser une méthode « à la Braille » où on suit avec le doigt un contour défini par des petits points en relief disposés suivant le contour du symbole qui est dans la boîte ;

+ lorsque l'on a identifié le contenu de chacune des 4 boîtes carrées et rondes, les aligner dans l'ordre du code écrit avec les symboles (trouvé sous le pot de fleurs). Transcrire ce code en chiffres. Vérifiez que le code est le même pour les boîtes rondes et carrées.

+ tester le code sur la boîte à clef ;

+ si elle ne s'ouvre pas : il y a une erreur quelque part

Variantes

+ avec 4 boîtes pour trouver le code de 4 chiffres, si on a identifié 3 chiffres, le 4^{ème} est connu (si l'on ne s'est pas trompé pour les 3 premiers). On peut donc ajouter une cinquième boîte qui correspond à une forme qui n'est pas dans le code initial. Cela obligera à identifier correctement au moins 4 chiffres.

+ pour les plus rapides on peut leur proposer de retrouver des symboles inconnus à partir de nouvelles boîtes ;

+ on peut aussi discuter de la « meilleure » manière de bouger les boîtes afin d'arriver le plus rapidement à la solution.

Appendice 1

Voici ce que l'on peut trouver sur le site du CERN :

<https://scoollab.web.cern.ch/mystery-boxes>

Mystery boxes

« Les boîtes mystères **sont un excellent outil pour mettre en pratique les compétences de raisonnement scientifique et présenter aux étudiants la puissance des modèles scientifiques.** Les élèves développent des hypothèses sur la structure interne d'une boîte mystère et proposent des idées sur la manière de tester leurs hypothèses. Ils apprennent également la différence entre observation et inférence.

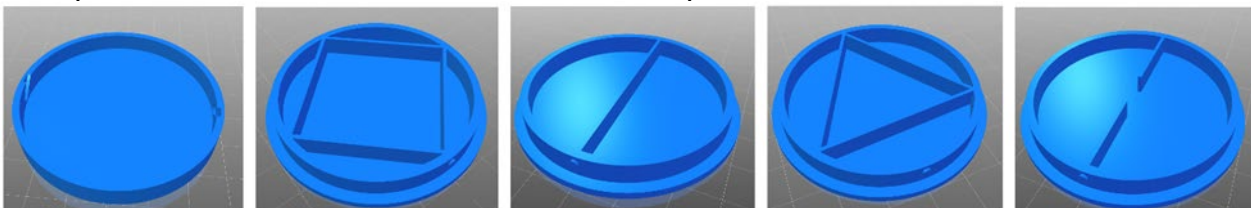
Au cours de ces activités, les élèves apprennent :

- le rôle des prédictions théoriques en science,
- le rôle et la différence entre les observations et les déductions scientifiques,
- comment les modèles scientifiques évoluent à la lumière des nouvelles découvertes,
- que la science est une entreprise sociale.

Nous savons que c'est tentant, mais n'ouvrez JAMAIS la boîte mystère, ce n'est pas ainsi que fonctionne la science. Si vous ne pouvez pas résister à la tentation, collez la boîte ensemble (c'est ce que nous avons fait).

Ci-dessous, nous présentons des idées d'activités utilisant différentes configurations de boîtes mystères, notamment une configuration imprimable en 3D, une configuration LEGO, ainsi que quelques alternatives.

Il est possible de réaliser des boîtes avec une imprimante 3D :



Ou bien avec des LEGO



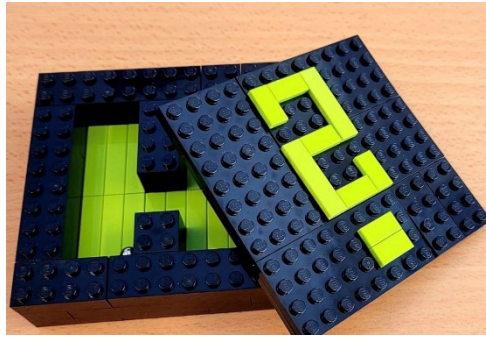
Suggestions pour les éducateurs

Il existe différentes manières d'utiliser les boîtes mystères dans votre classe. En fonction de l'âge et du niveau de vos élèves, vous pourrez adapter l'activité à différents niveaux de difficulté.

Version facile :

- + Préparez des boîtes mystère avec les structures internes les plus simples : triangle, carré, ligne ou base vide pour la boîte mystère imprimée en 3D, et carré, cercle ou ligne pour la boîte mystère LEGO. Idéalement, chaque paire d'élèves reçoit une boîte mystère.
- + Laissez les élèves étudier leur boîte mystère et demandez-leur de créer un modèle de sa structure interne. Ici, les élèves observent le bruit que fait la balle lorsqu'elle déplace dans la boîte. Laissez les élèves dessiner leur modèle sur papier.
- + Désormais, 2 paires d'élèves avec des dessins différents travaillent ensemble. Les élèves expliquent leurs modèles. Ensuite, ils trouvent des idées pour tester le modèle de chacun. Ces idées devraient être des prédictions sur le comportement des boîtes dans une certaine expérience, basées sur leur modèle. Par exemple : « S'il y a un carré à l'intérieur, je devrais entendre 4 clics lorsque je tourne la boîte mystère d'un tour complet. »
- + Les élèves testent leurs prédictions et notent leurs observations. Si nécessaire, les élèves améliorent leurs modèles si les prédictions ne correspondent pas à leurs observations et dessinent leur modèle amélioré sur papier.
- + Pour la boîte imprimée en 3D, vous pouvez introduire le principe des sondes et des mesures plus précises à l'aide de petites tiges aimantées. Chaque groupe d'élèves reçoit une petite tige aimantée qui attirera la bille d'acier si elle est suffisamment proche. À l'aide de l'aimant, les élèves peuvent à nouveau tester leurs modèles de structure interne : ils sentiront si la bille d'acier ne peut pas être tirée dans une certaine partie de la base parce qu'il y a un mur caché.

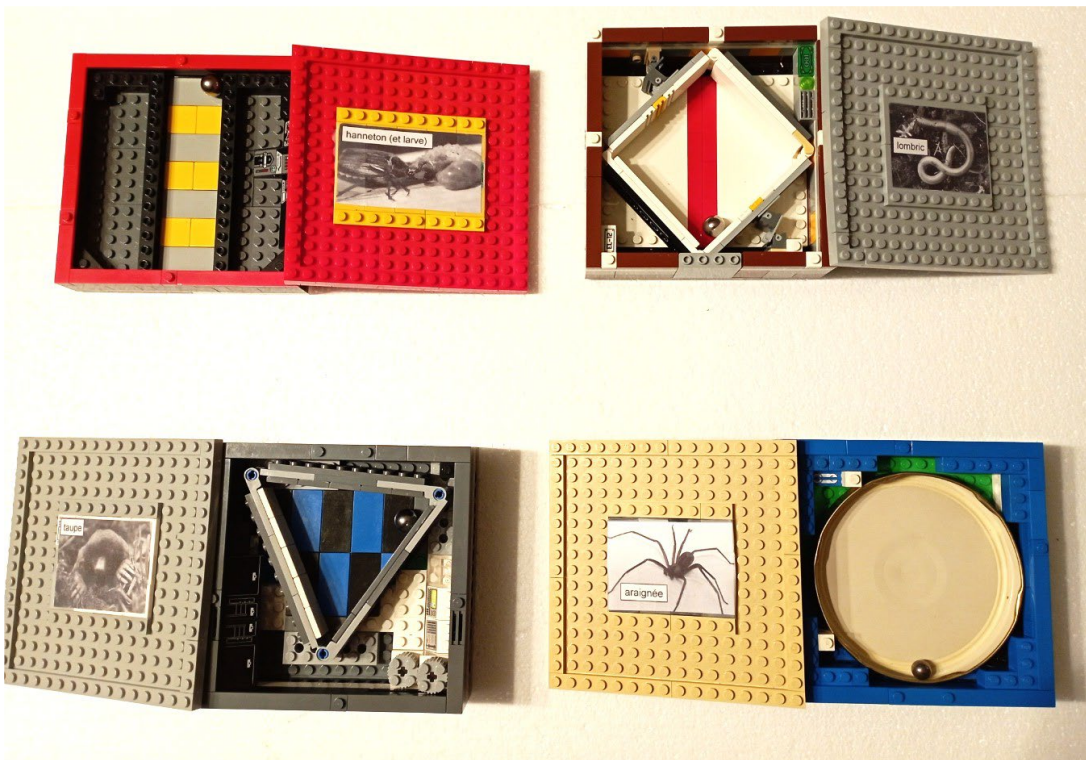
Version difficile : au lieu des structures internes les plus simples, utilisez les plus difficiles. Version du jeu : Nous utilisons également des boîtes mystères dans notre escape game S'Cool LAB. Ici, nous présentons 4 symboles représentant la structure interne des boîtes dans un certain ordre, par exemple ▲ O I ■ . Les boîtes mystères sont étiquetées avec des numéros, par ex. ▲=1, ■=3, O=7, I=8. Les élèves doivent déterminer la structure interne pour placer ces 4 chiffres dans le bon ordre (ex. : 1783) pour ouvrir une serrure à combinaison et trouver le trésor ou l'indice suivant.

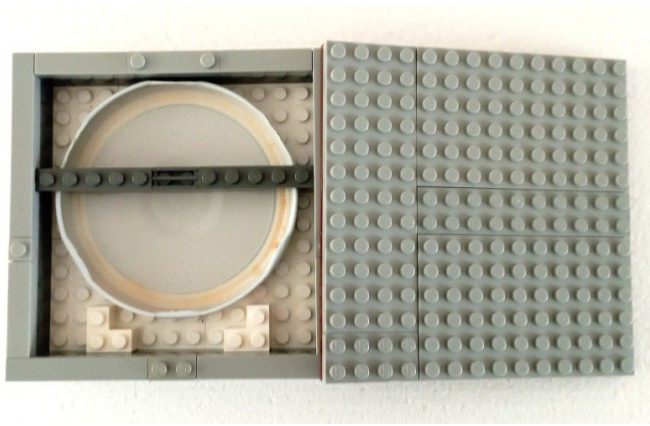


Exemples de « Boîtes mystère » : impression 3D (à gauche) et réalisation LEGO (à droite).

Appendice 2

Boîtes carrées utilisées





Les 4 boîtes de base : hanneton = rectangle, lombric = carré, taupe = triangle, araignée = cercle vide. La cinquième boîte correspond à un cercle divisé en 2 parties par une droite.

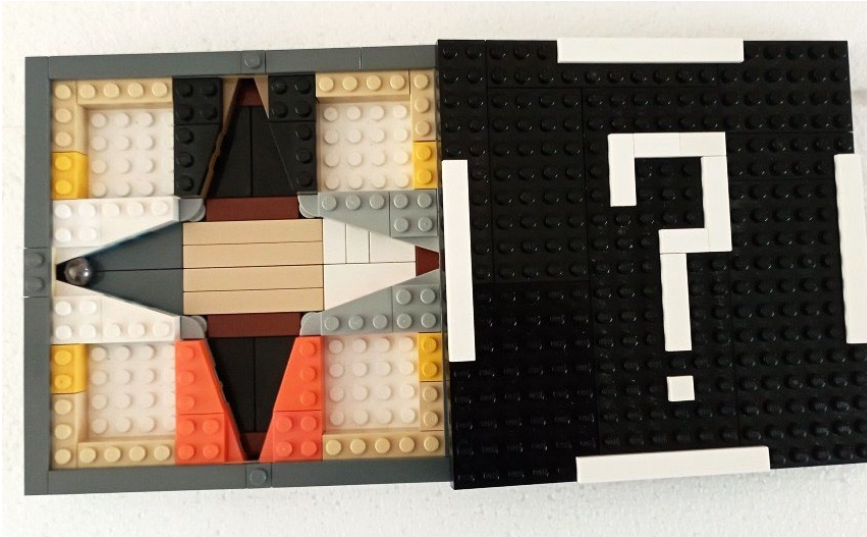
Boîtes rondes utilisées



Quatre boîtes de base : rectangle = hanneton, carré = lombric, triangle = taupe et cercle = araignée. La cinquième boîte correspond au $\frac{1}{2}$ cercle = cloporte

Autres boîtes :

- + carré avec une diagonale incomplète fourmilion
- + cercle avec un rayon : collemboule

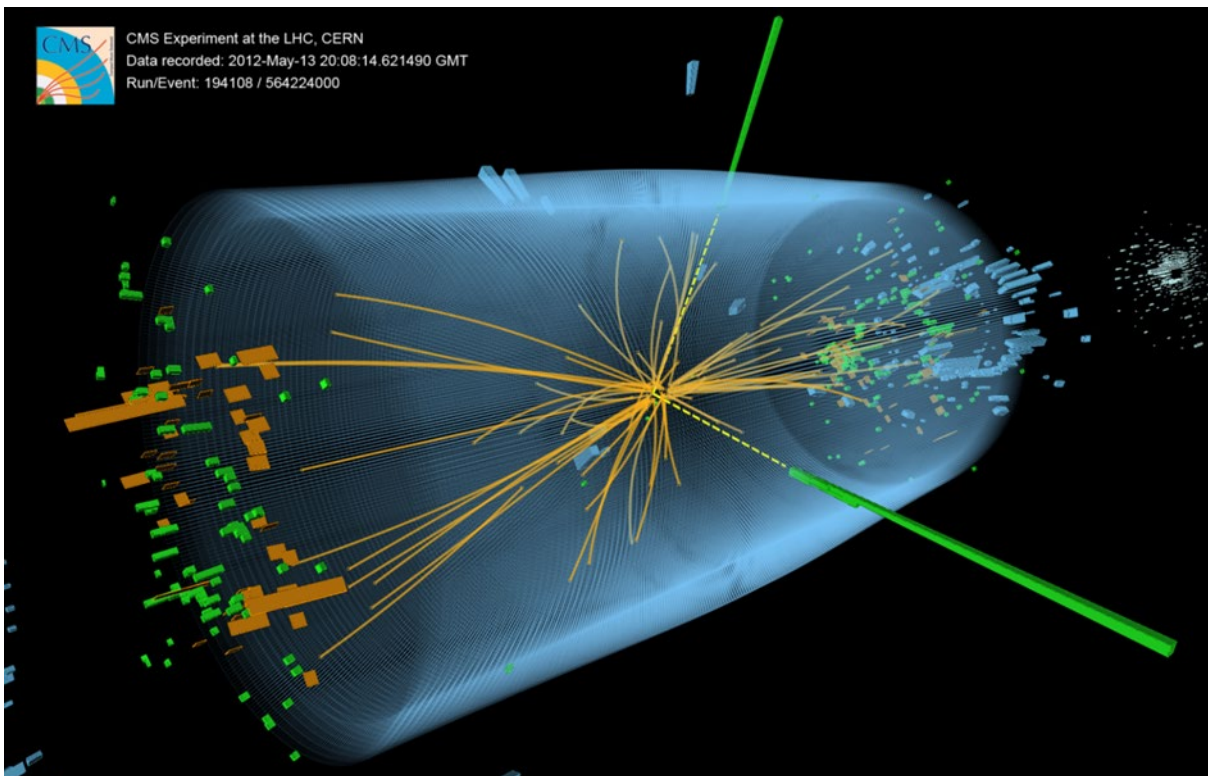


Etoile à 4 branches.

Appendice 3 : Relation avec la physique

Il existe trois grandes méthodes pour chercher des particules élémentaires nouvelles :

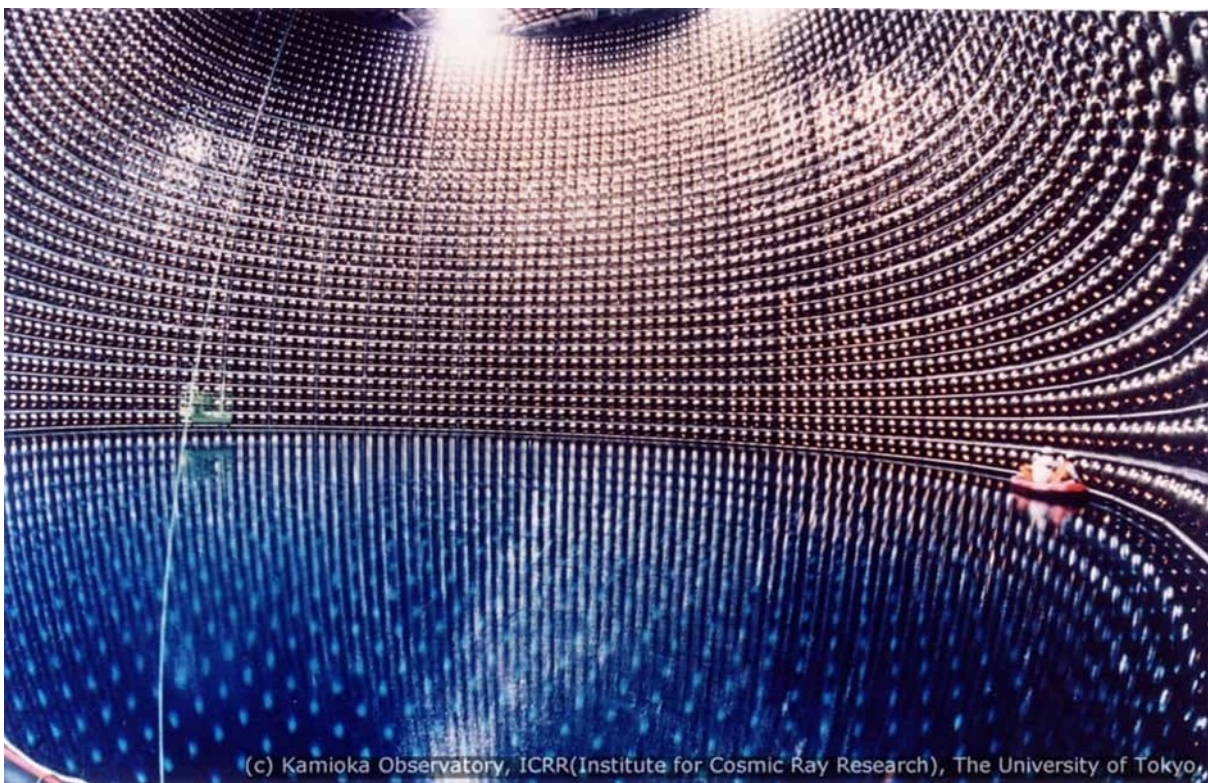
+ créer des chocs entre deux particules connues dans des accélérateurs de particules. Une partie de l'énergie de la collision permet de créer des particules élémentaires dont la masse doit nécessairement être inférieure à l'énergie totale disponible. À partir des particules reconstituées dans les appareils, on peut retrouver si de nouveaux objets ont été créés.



Représentation par CMS d'un candidat au boson de Higgs se désintégrant en deux photons ; il s'agit de l'un des deux canaux de désintégration qui ont joué un rôle clé dans la découverte de la particule. (Image: CERN)

Dans cette image d'une collision proton-proton au Large Hadron Collider, les appareils placés autour du point de collision permettent de reconstruire les trajectoires des particules chargées et neutres qui sont créées. Certaines d'entre-elles peuvent venir de la désintégration de particules plus lourdes produites lors de la collision. Dans cet exemple on a trouvé 2 particules neutres (traits en pointillés partant du centre) qui déposent beaucoup de leur énergie dans un appareil (traits verts suivant les pointillés). Il s'agit de photons. On pense ainsi que dans cette collision une particule lourde (appelée boson de Higgs) a été créée et qu'elle s'est désintégrée en deux photons. Pour en être sûr, il faut accumuler de nombreuses collisions semblables et observer si la masse du système formé par les deux photons est la même (aux incertitudes de mesure près) dans différentes collisions.

+ rechercher des désintégrations radioactives très rares. Plus elles sont rares et plus la particule qui permet cette désintégration peut être lourde. On a ainsi étudié la stabilité du proton en surveillant des tonnes de fer (ou d'eau). Le proton pourrait se désintégrer s'il existe une nouvelle force permettant cela. La limite actuelle sur la durée de vie du proton est de l'ordre de 10^{34} années, soit environ un million de milliard de milliard de fois l'âge de l'Univers. Si ce type de force existe, on en déduit que la masse de la particule qui en serait à l'origine est un million de million de fois plus grande que celle libérée dans une collision au LHC. Cette approche d'étude d'événements très rares est donc un moyen indispensable pour explorer tout un domaine dans lequel peuvent se trouver de nouvelles particules qui ne peuvent pas être produites en laboratoire.

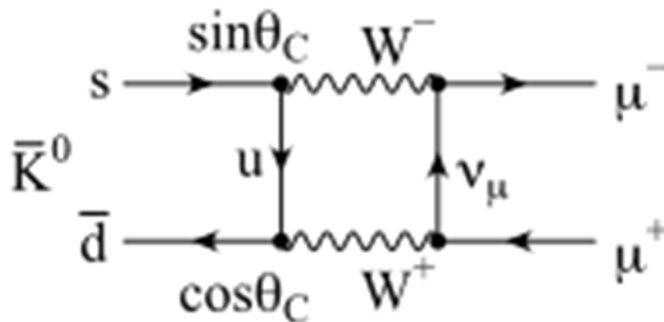


(c) Kamioka Observatory, ICRR(Institute for Cosmic Ray Research), The University of Tokyo,

La cuve de l'expérience Super-Kamiokande au Japon contient des tonnes d'eau très pure. Sur les parois des milliers « d'yeux » (de gros photomultiplicateurs) enregistrent toute lumière produite par des particules (principalement des électrons) traversant ou créées dans la cuve. Notez les techniciens dans le bateau gonflable qui vérifient l'état des photomultiplicateurs. En fonctionnement normal, la cuve est remplie d'eau. Cette expérience est sensible à des protons (contenus dans les molécules d'eau) qui, éventuellement pourraient se désintégrer (la meilleure limite sur ce phénomène est obtenue par cette expérience), au passage de neutrinos issus du Soleil ou d'explosions de Super-Nova et aussi envoyés vers la cuve par d'autres expériences, ...

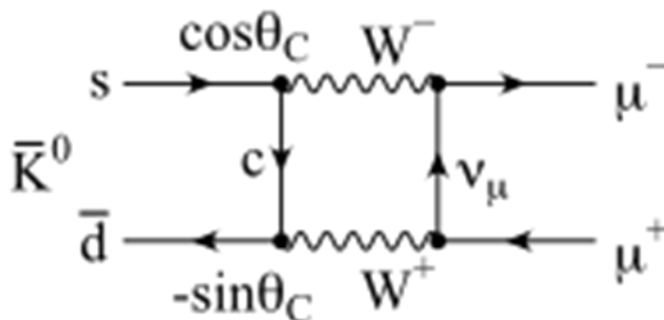
+ la troisième approche consiste à mesurer le plus précisément possible des processus « connus », c'est-à-dire déjà observés et de bien vérifier si, compte tenu de nos connaissances, les mesures sont bien en accord avec ce que l'on attend. Si c'est le cas ... on est un peu triste. Si ce n'est pas le cas ... youpie ! on va chercher d'où vient la cause du désaccord ... malheureusement, le plus souvent c'est du côté de la mesure qu'il y a eu quelques « petites erreurs ». Cela d'autant plus que « La Science » progresse et qu'il est de plus en plus ardu de trouver de nouveaux phénomènes.

Un exemple : jusqu'aux années 70, le quark charmé n'était pas connu.



On pouvait calculer la transformation $K^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-$ à partir du diagramme ci-dessus. Les particules élémentaires constituant le K^0 (le quark « s » appelé « étrange » et l'anti-quark « d ») se transforment en μ^+ et μ^- par un processus compliqué où interviennent 4 autres particules élémentaires (u , \bar{u} , W^+ et W^-). Ces particules n'apparaissent jamais dans les appareillages. Le K^0 a une masse voisine de la moitié de celle d'un proton alors que les W sont cent fois plus lourds que le proton. Donc, au départ (le K^0), il n'y a pas assez d'énergie pour que les W soient émis dans la Nature. Les 4 particules restent prisonnières comme enfermées dans une boîte. Le fait que le K^0 se désintègre « agite » la boîte et tout ce qui existe dans la Nature, quelle que soit sa masse, et qui peut contribuer à la désintégration observée va contribuer.

Par ailleurs, on avait observé la désintégration du $K^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-$ et trouvé une valeur en complet désaccord avec celle attendue à partir du mécanisme indiqué ci-dessus. « On » a alors introduit un nouveau quark « le charme » (noté « c ») qui permettait de résoudre ce problème ainsi que certains autres, par ailleurs. Le « charme » ne se distingue du quark « u » que par sa masse, il est 500 fois plus lourd. Par contre les façons dont les W s'associent aux quarks (s,u) et (s,c) ainsi que ($u,\text{anti-d}$) et ($c,\text{anti-d}$) sont différentes.



En tenant compte des deux diagrammes, le calcul donne bien le résultat mesuré. La présence du quark charmé a ainsi été anticipée avant que des particules qui le contiennent puissent être observées lors de collisions.

Observer le comportement de particules connues peut ainsi renseigner sur la présence d'objets qui sont trop lourds pour être créés directement et apparaître dans les appareillages. Les diagrammes où participent plusieurs particules élémentaires qui restent invisibles s'appellent des **diagrammes en boîte**. Ils permettent de révéler ce qui peuple le vide. Comme disait un de mes professeurs : « Le travail du physicien c'est de comprendre le vide » (citation sans doute approximative)... à méditer.