

# Accélérateurs de Particules

## 1. Introduction

Il existe deux principaux types d'accélérateurs de particules :

- **Les accélérateurs linéaires** dans lesquels les particules se déplacent en ligne droite tout en traversant des champs accélérateurs successifs.
- **Les accélérateurs circulaires** dans lesquelles les particules passent toujours par le même champ accélérateur du fait de leur trajectoire circulaire.

Ce qui nous intéresse à ce stade sont surtout les accélérateurs circulaires.

## 2. Les accélérateurs circulaires

Afin de pouvoir construire les premiers accélérateurs circulaires, l'être humain a dû faire preuve d'ingéniosité. En effet, chacun des aspects de ces derniers, même jusqu'à ce jour, est régit par des principes physiques différents qui travaillent pourtant en conjonction. Effectivement, on utilise :

- **Le champ électrique** afin d'accélérer les particules
- **Le champ magnétique** afin de guider les faisceaux (dans le cas d'un dipôle) et de les focaliser (dans le cas d'un quadripôle)
- **Le détecteur** dont les caractéristiques tel que la luminosité (qu'on étudiera ultérieurement) affectent grandement le rendement
- **Une source de particules**, bien évidemment

Comme vous pouvez sans doute l'imaginer, les accélérateurs circulaires n'ont fait qu'évoluer au fur et à mesure que notre compréhension de ces 4 principes soit devenue de plus en plus accrue.

On constate donc l'existence de 3 types d'accélérateur circulaire qui sont, dans l'ordre chronologique :

### 2.1. Les cyclotrons :

#### 2.1.1. Principes de fonctionnement

Les cyclotrons constituent le premier type d'accélérateur circulaire. Ces derniers utilisaient un champ magnétique uniforme  $\vec{B}$  un générateur de tension alternative produisant un champ électrique oscillant  $\vec{E}$  qui,

grâce à deux électrodes (appelées “Dees”), est toujours accélérateur quel que soit la direction de passage des particules ; ceci étant dû au fait que le passage des particules par ces électrodes est synchronisé avec les oscillations du champ électrique produit par le générateur de tension alternative.

### **2.1.2. Limitations**

Comme mentionné précédemment, à chaque passage des particules par les électrodes, elles reçoivent de l’énergie et accélèrent. À un moment donné, il est inévitable que les particules atteignent des vitesses relativistes. Vu que les principaux effets de la relativité restreinte sont la dilatation du temps et la contraction des longueurs et, vu que le champ magnétique  $\vec{B}$  est uniforme, le passage des particules par les Dees ne sera plus synchronisé avec les oscillations du champ électrique, empêchant ainsi la vitesse des particules d’atteindre les domaines relativistes et ultra-relativistes.

## **2.2. Les synchrocyclotrons**

### **2.2.1. Principes de fonctionnement**

Afin de palier aux difficultés des cyclotrons, la fréquence accélératrice est rendue variable de façon à ce que le passage des particules soit toujours en phase avec les oscillations du champ électrique, et ce malgré les effets relativistes précédemment contraignants.

### **2.2.2. Limitations**

L’unique, mais grand problème des synchrocyclotrons est le fait qu’ils soient limités par la taille de l’aimant. En effet, la formule  $R = \frac{mv}{qB}$  obtenue à l’aide de la mécanique classique implique que le rayon de courbure devient de plus en plus large à mesure que la vitesse des particules augmente.

## **2.3. Les synchrotrons**

### **2.3.1. Principes de fonctionnement**

Les synchrotrons viennent palier à la difficulté des synchrocyclotrons en exploitant la règle de trois. En effet, au lieu de laisser le rayon s’élargir en conjonction avec l’accélération des particules, le synchrocyclotron exploite beaucoup plus intelligemment la formule  $R = \frac{mv}{qB}$  en faisant varier (augmenter)  $B$  au fur et à mesure que  $v$  augmente de façon à ce que le rayon de courbure  $R$  reste constant

### 2.3.2. Limitations

Il n'existe pas de limitations flagrantes aux synchrocyclotrons si ce n'est que, leur rendement dépend énormément de la luminosité du détecteur ainsi que du flux de particules. Il faudra donc viser à maximiser ces deux paramètres ainsi que l'énergie de fonctionnement afin de détecter des particules de plus en plus énergétiques tel que le Boson de Higgs.

C'est en fait pour cette même raison que le LHC (7 TeV), successeur du LEP (200 GeV), a pu collecter des données assez statistiquement significatives pour prouver l'existence du Boson de Higgs alors que le Tevatron qui fonctionnait pourtant à des énergies suffisamment élevées (1 TeV contre 125 GeV pour détecter le Boson de Higgs), a échoué. Effectivement, le LHC est caractérisé par une luminosité 100 fois supérieure à celle du Tevatron; fait qui lui permet d'acquérir, en 1 mois, autant de données que le Tevatron puisse acquérir en 10 ans.