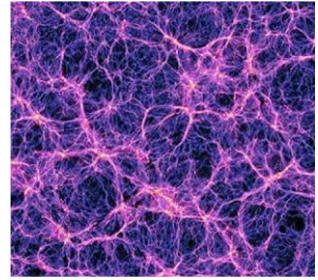
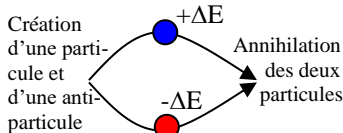


**Définition du vide** : Espace ne contenant aucune particule matérielle, ni aucun champ électromagnétique (énergie). Stephen Hawking et d'Andrei Sakharov ont établi une théorie selon laquelle le vide, dans son acceptation quantique, était constitué d'énergie "virtuelle" et pouvait fluctuer sur la base des relations d'incertitudes de Heisenberg. L'énergie du vide, que l'on suppose nulle, ne peut être définie qu'à  $\Delta E$  près pendant un temps  $\Delta T$  avec la relation  $\Delta E * \Delta T > \hbar/4\pi$  où  $\hbar$  est la constante de Planck. Des paires particules/antiparticules d'énergie  $\Delta E$  vont donc se créer et s'associer en permanence, avec une durée de vie de l'ordre de  $\hbar/\Delta T$  une des deux particules possède une énergie positive, et l'autre une énergie négative, de façon à ce que l'énergie totale soit toujours constante. On appelle ce phénomène : fluctuation du vide quantique.



**Vue d'artiste des fluctuations du vide quantique :**



Les particules virtuelles et réelles sont presque identiques, même masse propre, même spin, même charge électrique. Leurs propriétés intrinsèques sont les mêmes. Différences : Les virtuelles ont une durée de vie extrêmement courte et elles ne respectent pas la conservation de l'énergie.

$\Delta E$	$\Delta T$
$10^{-5}$ eV	$10^{-15}$ s
$10^6$ eV	$10^{-21}$ s
$10^9$ eV	$10^{-24}$ s

**Implication des particules virtuelles :**

✚ Le premier effet observé des fluctuations du vide est le **dédoublage des raies d'émissions** des spectres atomiques. Ce dédoublage (**décalage de Lamb**) crée des particules virtuelles qui peuvent interagir avec des particules réelles.

✚ La manifestation expérimentale la plus flagrante des fluctuations du vide est la **force de Casimir**. Entre deux miroirs plans parfaits (dans le vide) s'exerce une force attractive qui a pour origine les fluctuations du vide. C'est aujourd'hui un fait expérimental parfaitement vérifié.

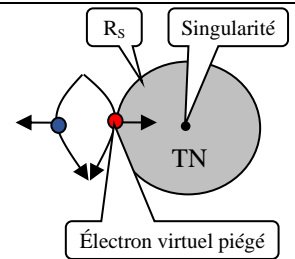
$$F = \frac{\pi \hbar A}{480 L^4}$$

$\hbar$  : constante de Planck  
 $A$  : surface des miroirs en  $m^2$   
 $L$  : distance entre miroirs en  $m$   
 $F$  : force en  $N$

✚ La température du **Fond Diffus Cosmologique** est une propriété intrinsèque du vide quantique.

✚ **Les particules virtuelles étudiées CERN** : elles ne possèdent pas assez d'énergie pour pouvoir vraiment se matérialiser et, de ce fait, ne sont pas directement observables. Pour les faire exister vraiment, il faut leur donner l'énergie qui manque à leur pleine incarnation. Pour cela, il suffit de faire entrer en collision deux particules de haute énergie, qui offrent alors leur énergie au vide. Du coup, certaines particules virtuelles que celui-ci contenait deviennent réelles et s'échappent hors de leur repaire.

✚ Les particules virtuelles sont responsables de **l'Évaporation des trous noirs** (rayonnement de Hawking). Imaginons qu'un électron virtuel et son antiparticule surgissent du vide et apparaissent à proximité du rayon de Schwartzschild d'un trou noir. Il est tout à fait possible que l'électron plonge très rapidement dans le trou noir et y disparaisse, mais que son antiparticule réussisse à échapper au piège. Dans ce cas, l'antiélectron virtuel, qui aurait rapidement dû s'annihiler avec son compagnon, n'est plus en mesure de la faire. Il va donc errer un certain temps et finir par rencontrer un autre électron virtuel créé dans des circonstances similaires. À ce moment, les deux particules peuvent s'annihiler et donner naissance à des photons. Entre leur création et leur annihilation, les particules virtuelles peuvent entrer dans le monde réel car elles volent un peu d'énergie gravitationnelle au trou noir. Pour ce dernier, le processus se traduit par une légère diminution d'énergie donc de masse, d'où le nom d'évaporation. Cette évaporation est négligeable pour les trous noirs stellaires ou galactiques mais très importante pour les trous noirs primordiaux.



✚ Lors de **l'inflation cosmologique**,  $10^{-32}$  s après le Big-Bang, les particules virtuelles s'approprient l'énergie réelle pour exister de manière stable. La taille de l'Univers est alors multipliée par un facteur  $10^{26}$ .

**Le vide quantique du point de vue énergie :**

L'énergie du point zéro du vide quantique est la plus faible énergie possible qu'un système physique quantique puisse avoir, cela correspond à son énergie quand il est dans son état fondamental, c'est-à-dire lorsque toute autre forme d'énergie a été retirée.

Tous les systèmes mécaniques quantiques subissent des fluctuations même quand ils sont à leur état fondamental (auquel est associée une énergie du point zéro), une conséquence de leur nature ondulatoire. Le principe d'incertitude implique que chaque système physique possède un point zéro pour son énergie, supérieure au minimum de son puits de potentiel classique. Cela entraîne du mouvement même au zéro absolu. Par exemple, l'hélium liquide ne gèle pas sous la pression atmosphérique, quelle que soit la température, à cause de son énergie du point zéro.