

JEAN PIERRE BATON  
GILLES COHEN-TANNOUJJI

# L'HORIZON DES PARTICULES

Complexité et élémentarité  
dans l'univers quantique

*nrf essais*

GALLIMARD





4



© *Éditions Gallimard, 1989.*

*Si tu n'espères pas l'inespéré, tu  
ne le trouveras pas.*

**Héraclite**

Les illustrations du cahier hors-texte sont appelées dans l'ouvrage par des notations en marge (ex. : *Fig. II. 3*).



INTERACTIONS	PORTEE	INTENSITE	MESSAGER (masse)
GRAVITATIONNELLE	INFINIE	$10^{-38}$	GRAVITON ? (0)
ELECTROMAGNETIQUE	INFINIE	$10^{-2}$	PHOTON (0)
NUCLEAIRE FORTE	$10^{-13}$ cm	1	GLUONS (0)
NUCLEAIRE FAIBLE	$10^{-18}$ cm	$10^{-7}$	BOSONS W, Z (90 GeV)

Tab. I.1 Tableau des interactions.

PARTICULES	CHARGE	1ère FAMILLE	2ème FAMILLE	3ème FAMILLE
LEPTONS CHARGES	-1	<b>e</b> <i>électron</i>	$\mu$ <i>muon</i>	$\tau$ <i>tauon</i>
LEPTONS NEUTRES (neutrinos)	0	$\nu_e$	$\nu_\mu$	$\nu_\tau$
QUARKS	2/3	<b>u</b> <i>up</i>	<b>c</b> <i>charme</i>	<b>t</b> <i>top</i>
	-1/3	<b>d</b> <i>down</i>	<b>s</b> <i>étrange</i>	<b>b</b> <i>bottom</i>

Tab. I.2 Tableau des particules.

INTERACTIONS	LEPTONS CHARGES	LEPTONS NEUTRES	QUARKS
GRAVITATIONNELLE	OUI	OUI	OUI
ELECTROMAGNETIQUE	OUI	NON	OUI
NUCLEAIRE FORTE	NON	NON	OUI
NUCLEAIRE FAIBLE	OUI	OUI	OUI

Tab. I.3 Tableau des règles de sélection.

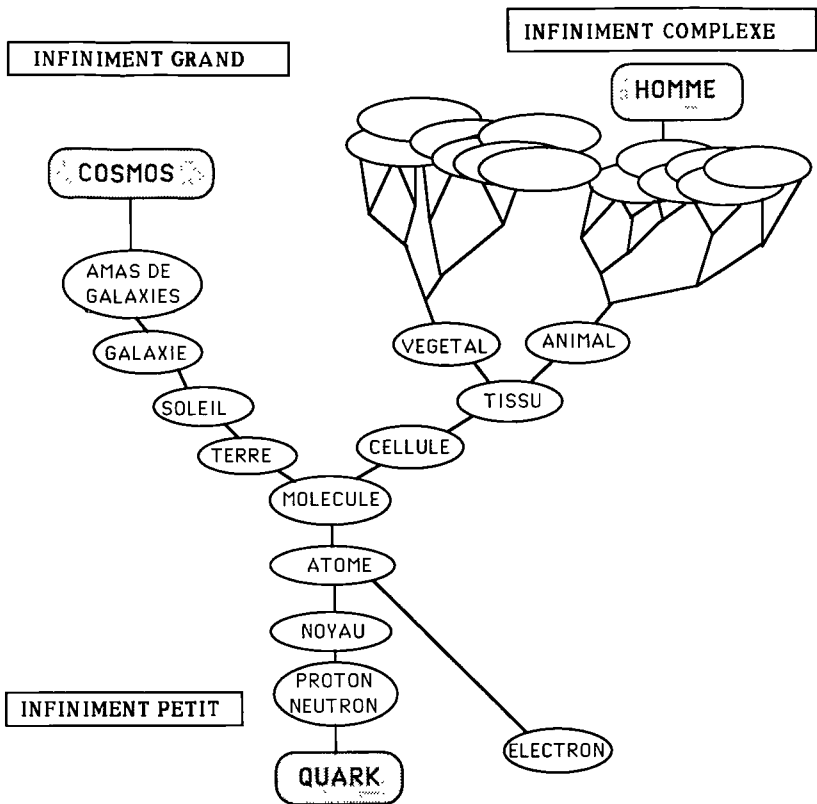


Fig. I.1 Les Trois infinis.  
Des architectures en étages.

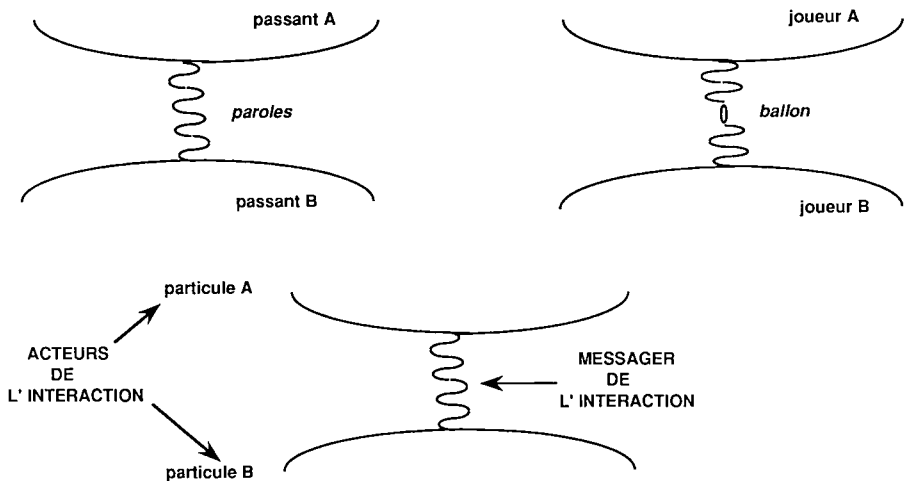


Fig. I.2 L'interaction et son messageur.

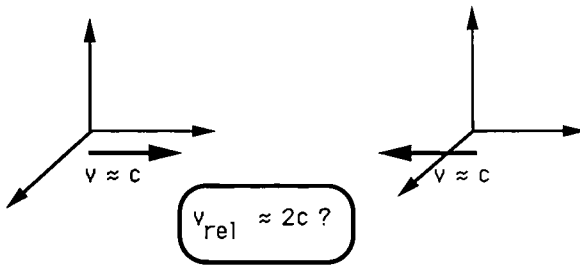


Fig. I.3 Schéma de la composition des vitesses.

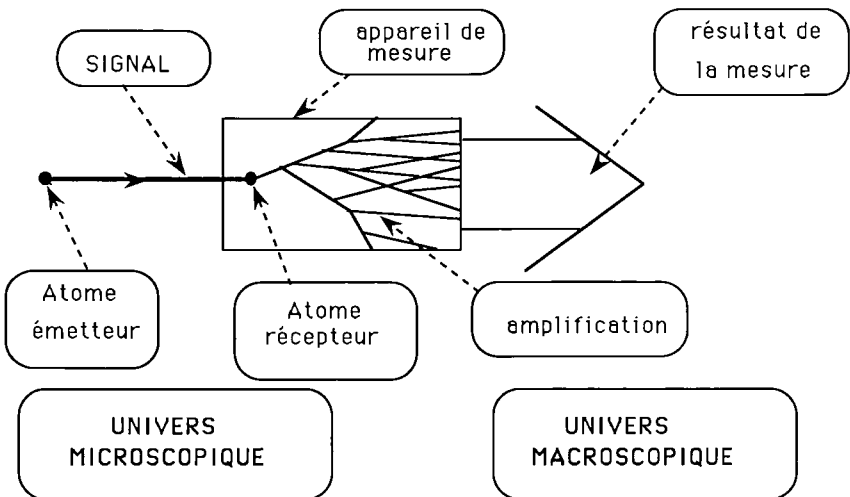


Fig. I.4 Transmission d'un signal de l'univers microscopique à l'univers macroscopique.

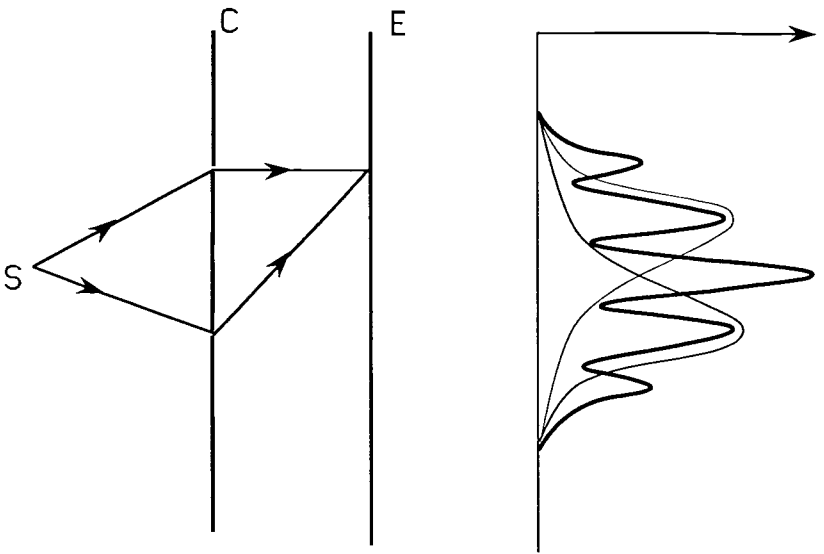
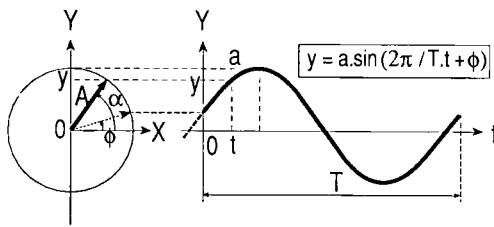


Fig. II.1 Expérience de Young. Les deux rayons lumineux issus de la source S et passant par les deux trous de la feuille C forment des franges d'interférence sur l'écran E. Leur intensité lumineuse est montrée sur la partie droite de la figure. Lorsque l'on obture un des trous, on obtient une des deux courbes en traits fins.



avec  $\alpha = (2\pi/T + \phi)$

Fig. II.2a Représentation graphique d'une onde.

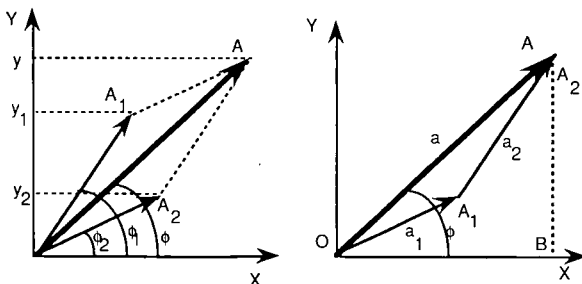


Fig. II.2b Représentation graphique de la composition de deux ondes.

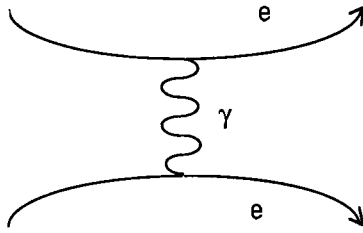


Fig. II.3 Echange d'un photon entre deux électrons.

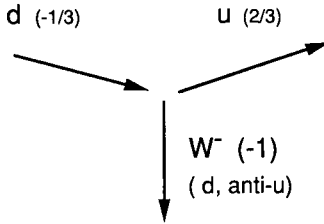


Fig. II.4 Transformation d'un quark d en un quark u par émission d'un W.

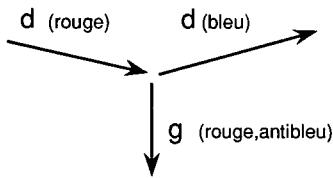


Fig. II.5 Transformation d'un quark d rouge en un quark d bleu par émission d'un gluon.

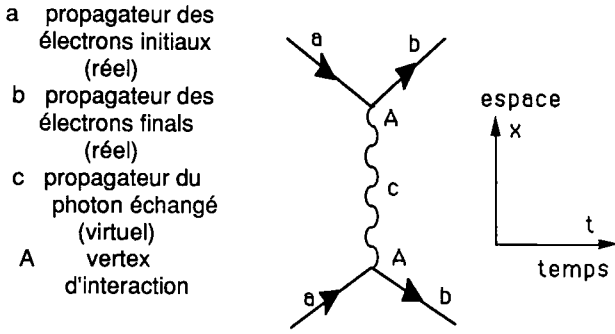


Fig. II.6 Schéma d'un diagramme de Feynman.

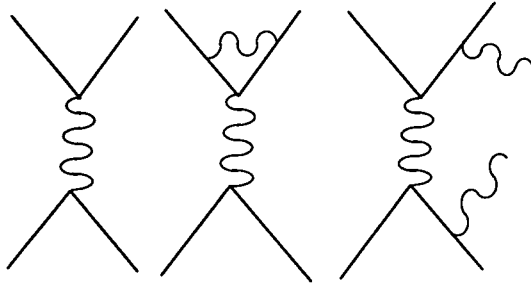


Fig. II.7 Exemple de diagrammes de Feynman d'ordre supérieur.

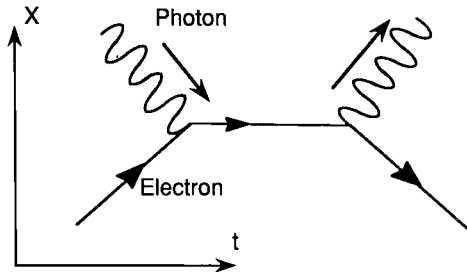


Fig. II.8 Diagramme de Feynman pour la diffusion d'un photon sur un électron.

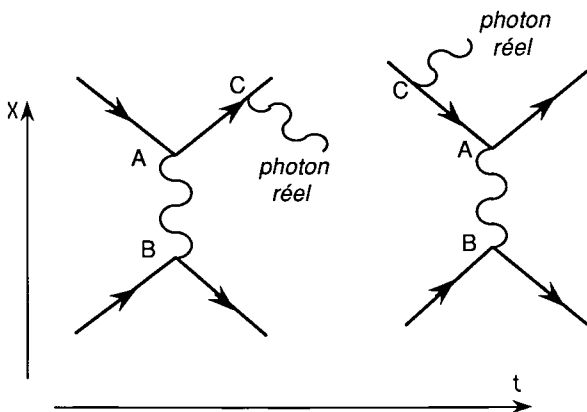


Fig. II.9. Diagramme de Feynman pour le rayonnement de freinage.

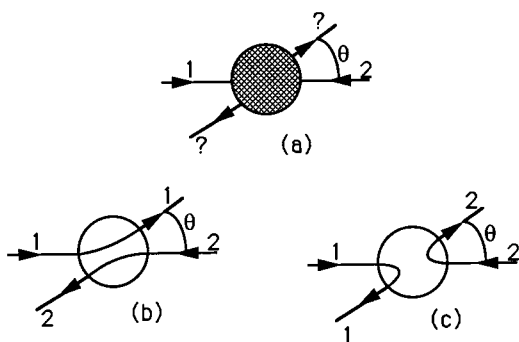


Fig. II.10 Diffusion de deux particules indiscernables.

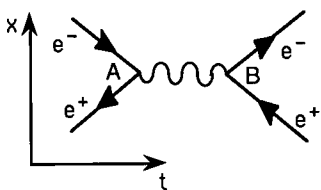


Fig. II.11 Annihilation et création d'une paire électron positon.

### ACCELERATEURS CIRCULAIRES

	Nom	Site	Année de démarrage	Particule accélérée	Energie par faisceau en GeV
Cible fixe	Tevatron	Chicago (USA)	1973	proton	1000
	SPS	CERN (Genève)	1978	"	450
	UNK	Serpukov (URSS)	1995	"	3000
Collisionneur	Tevatron	Chicago (USA)	1987	proton-antiproton	1000
	SPS	CERN (Genève)	1981	"	450
	LEP	"	1989	électron-positon	50
	HERA	Hambourg (RFA)	1990	électron-proton	30 - 830
	Tristan	Tokyo (Japon)	1987	électron-positon	30

### ACCELERATEUR LINEAIRE

Collisionneur	SLC	Stanford (USA)	1988	électron-positon	50
---------------	-----	----------------	------	------------------	----

### COLLISIONNEURS EN PROJET

LEP II	CERN (Genève)	1995	électron-positon	100
LHC	"	fin des années 90	proton-proton	20.000
SSC	TEXAS (USA)	fin des années 90	proton-proton	80.000

Fig. II.12a Tableau des accélérateurs.



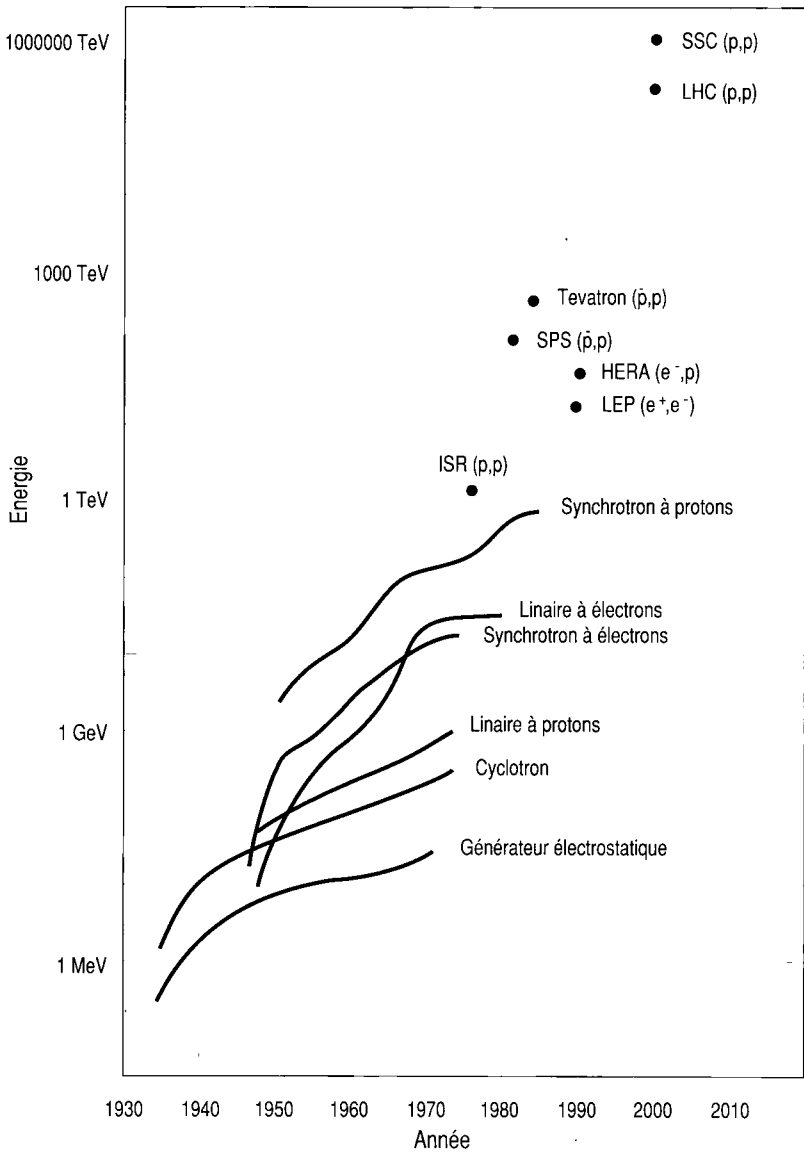


Fig. II.12b Montée en énergie des accélérateurs au cours des années.

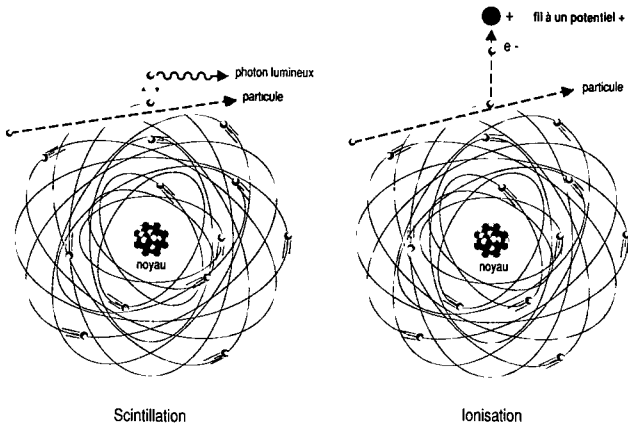


Fig. II.13 Schéma de la scintillation et de l'ionisation.

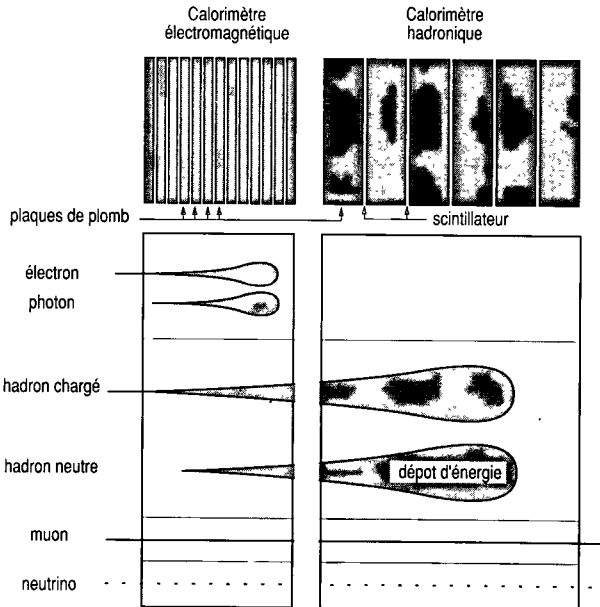


Fig. II.14 Schéma du dépôt d'énergie dans les calorimètres électromagnétique et hadronique, pour différents types de particules.

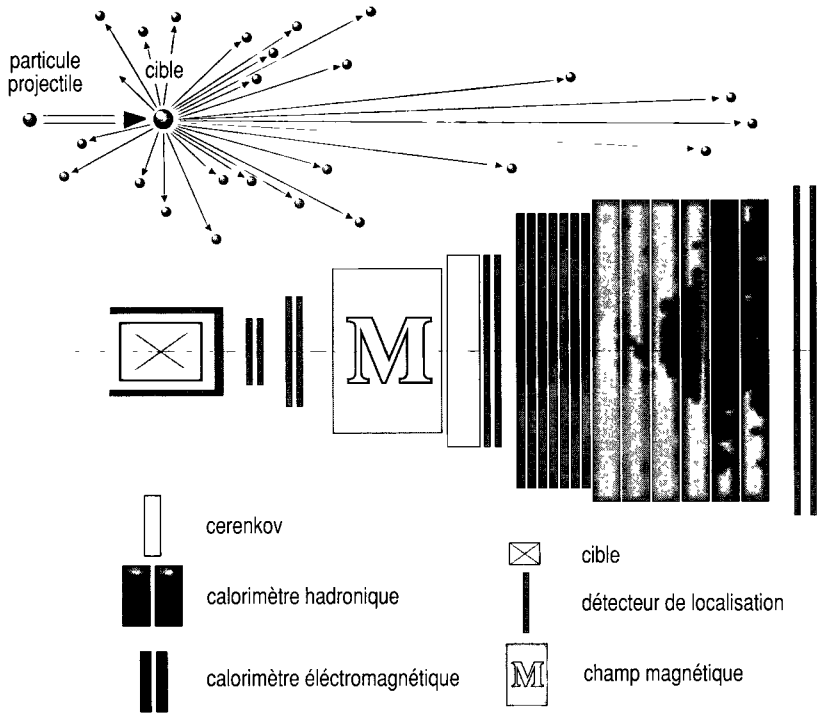


Fig. II.15 Schéma de principe d'un détecteur placé autour d'une cible fixe.

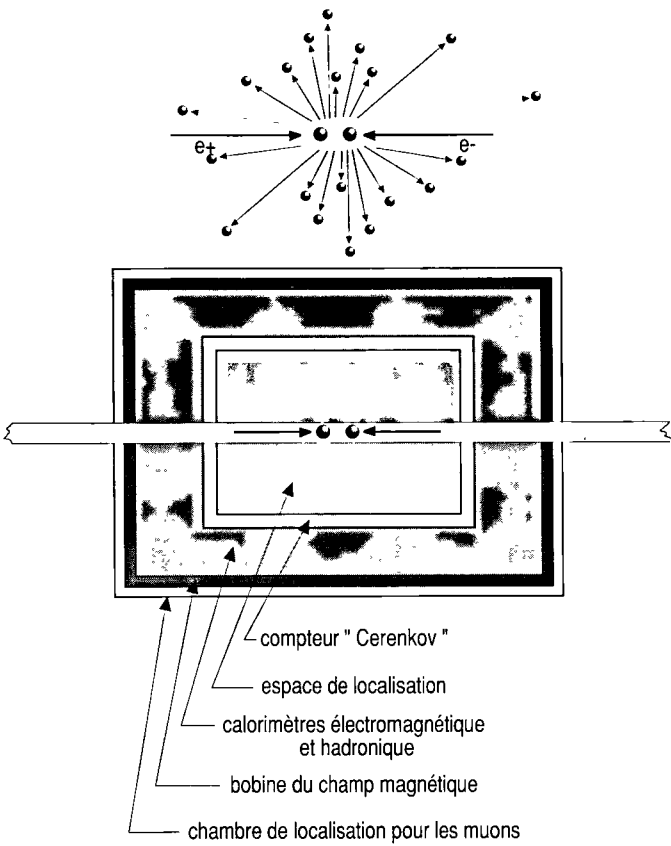


Fig. II.16 Schéma de principe d'un détecteur installé sur un anneau de collisions de particules identiques.



JEAN PIERRE BATON  
GILLES COHEN-TANNOUDJI

## L'HORIZON DES PARTICULES

Complexité et élémentarité  
dans l'univers quantique

Que peut-on savoir aujourd'hui de la matière?

Pour répondre à cette question, la physique quantique cherche à déterminer quel est le plus petit élément constitutif du réel. Ce qu'elle découvre, ce n'est plus un objet mais un rapport, une *relation*. Les particules les plus élémentaires ne peuvent, en effet, être observées sans entrer en interaction avec les instruments qui les observent. L'observation même modifie irrémédiablement les particules. Les constituants ultimes de la matière ne sont plus des points matériels, mais une interaction. Ils relèvent des plus hautes énergies et renvoient aux temps de l'univers primordial, quand la matière était une énergie indifférenciée. L'infiniment petit ouvre donc à l'infiniment complexe et donne les clés de l'univers — l'infiniment grand.

Ces trois infinis, la physique quantique les trouve dans l'horizon des particules. L'horizon apparent, observable dirait-on, celui de l'expérimentation qui enregistre les traces laissées par des particules dans le détecteur; l'horizon profond, celui où la théorie postule de manière étourdissante l'existence nécessaire de particules ou de phénomènes interactifs que l'expérimentation ne peut pas encore prouver, ou bien, au contraire, cherche à comprendre les stupéfiantes découvertes d'une expérimentation qui la devance.

Aussi la notion clé d'*horizon*, avancée par les auteurs, aide-t-elle à penser, en cette fin de siècle, les rapports bouleversés de l'objectif et du subjectif, du visible et de l'inobservable, de l'information et de son coût d'incertitude, bref, à redéfinir pas moins que le concept de *sujet* de la connaissance.

*Jean Pierre Baton et Gilles Cohen-Tannoudji sont physiciens au service de physique des particules du CEA de Saclay.*

*Jean Pierre Baton, qui est expérimentateur, a édité, en collaboration avec Monique Neveu, un livre sur la vie et l'œuvre de Francis Perrin, à paraître.*

*Gilles Cohen-Tannoudji, théoricien, est l'auteur de La Matière-Espace-Temps (avec Michel Spiro, Fayard, 1986, Gallimard, 1989) et des Constantes universelles (Hachette, 1991, 1995).*



9 782070 717439



89-X A 71743 ISBN 2-07-071743-7