

UNIVERSITE DE GENEVE
ECOLE DE PHYSIQUE - DPNC

DIPLOME DE PHYSICIEN

Le DIORAMA:

*Une présentation
multimédia interactive audiovisuelle
de communication scientifique publique
sur le CERN.*

- Conception et réalisation du prototype -

H. Platteaux
dirigé par: Dr M. Focacci-Kienzle

25 février 1991

Abstract

Le Diorama est un projet de communication scientifique publique mené conjointement avec MICROCOSM, le centre d'exposition permanente du CERN, et Digital Equipment Corporation. C'est une présentation multimédia interactive audiovisuelle conçue pour montrer au public les activités du CERN, le Laboratoire Européen de Physique des Particules.

La première partie de ce mémoire essaie de montrer ce qu'est la communication scientifique publique, avec ses finalités et sa démarche didactique. Un éclairage est donné sur l'importance des médias dans la communication scientifique publique, en particulier sur celui utilisé pour le Diorama, c'est-à-dire l'image.

Une seconde et une troisième parties retracent toutes les phases du travail mené avec le projet Diorama:

- l'analyse initiale des conceptions du public du Diorama
- l'établissement d'une base de données explicatives sur les activités du CERN
- la conception de la structure interactive du Diorama
- la réalisation du prototype du Diorama

Table des matières

1	INTRODUCTION	1
I	LA COMMUNICATION SCIENTIFIQUE PUBLIQUE, NECESSITE ET SPECIFICITES	3
2	LA COMMUNICATION SCIENTIFIQUE PUBLIQUE	4
II	LE PUBLIC ET LES EXPLICATIONS	7
3	LE PUBLIC ET SES CONCEPTIONS	8
3.1	Méthode de collection des informations	8
3.1.1	Le questionnaire	8
3.1.2	Discussions avec des visiteurs de Microcosm, des amis, J. Geer . . .	10
3.2	Réponses et analyse	11
3.2.1	Le questionnaire	11
3.2.2	Discussions avec des visiteurs de Microcosm, des amis, J. Geer . . .	15
3.3	Résumé	17
4	LES TROIS PARTIES DE L'EXPLICATION SUR LE CERN	19
4.1	Définition des trois parties	19
4.2	Les notions principales des trois parties	20

4.3	Les liaisons principales dans chaque partie	20
4.4	Les liaisons principales entre les trois parties	21
4.5	Le message principal de l'explication	23
4.6	Une base de données explicatives	24
5	EXPLIQUER LES ACCELERATEURS DE PARTICULES	25
5.1	Le complexe des accélérateurs du CERN	25
5.1.1	La fonction d'un accélérateur de particules	25
5.1.2	Le schéma des accélérateurs	26
5.1.3	Production des particules	27
5.1.4	Accélérateurs linéaire et circulaire	29
5.1.5	Injection d'un accélérateur à l'autre	30
5.2	La technologie des accélérateurs	31
5.2.1	Le tube à vide	31
5.2.2	Les aimants de courbure	32
5.2.3	Les aimants de focalisation	32
5.2.4	Le système d'accélération	34
5.2.5	Comparaison de deux accélérateurs	35
5.2.6	La dynamique des faisceaux	36
5.3	Résumé de l'explication à donner sur les accélérateurs	37
6	EXPLIQUER LES EXPERIENCES DU CERN	38
6.1	Le choix des expériences	38
6.1.1	La liste des expériences	38
6.1.2	Le schéma des expériences	39
6.1.3	PS 195 et NA 31	40
6.1.4	PS 196	41

6.1.5	PS 200	41
6.1.6	WA 79	42
6.1.7	UA1 et UA2	42
6.1.8	Les expériences du LEP	43
6.1.9	Les expériences du LHC	45
6.2	Généralités sur les expériences	46
6.2.1	Le principe de fonctionnement d'une expérience	46
6.2.2	Expériences à cible fixe et "à collisionneur"	48
6.3	La détection des particules	49
6.3.1	Le principe de détection	49
6.3.2	La tâche du détecteur	50
6.3.3	Corrélation des informations du détecteur	51
6.3.4	Le tri sur les événements	52
6.4	Résumé de l'explication à donner sur les expériences	53
7	EXPLIQUER LA THEORIE DE LA PHYSIQUE DES PARTICULES	54
7.1	L'explication en général	54
7.1.1	Les deux parties principales	54
7.1.2	Le schéma de la théorie	55
7.1.3	La création de matière	56
7.1.4	Découvrir la simplicité du monde microscopique	58
7.2	Des notions théoriques nécessaires	59
7.2.1	La mécanique quantique	59
7.2.2	La relativité	61
7.3	Le modèle standard	63
7.3.1	Les particules élémentaires	63

7.3.2	Les interactions fondamentales	66
7.4	Résumé de l'explication à donner sur la théorie	69
 III LE PROTOTYPE DU DIORAMA: CONCEPTION ET REALISATION		70
8	QU'EST CE QUE LE DIORAMA?	71
8.1	Le Diorama en deux mots	71
8.2	Les premiers pas du Diorama	72
8.3	Les particularités du Diorama	72
8.3.1	C'est une présentation interactive	72
8.3.2	C'est une présentation multimédia	73
8.3.3	C'est une présentation de CSP	73
8.4	Quel système pour le Diorama?	74
8.5	Comment fonctionne le système MUSE?	74
8.5.1	Le "hardware" de MUSE	75
8.5.2	Le "software" de MUSE	77
9	LA CONCEPTION DU DIORAMA	78
9.1	Les buts de la conception	78
9.2	L'interactivité de la présentation	78
9.2.1	Le niveau 1 d'interactivité	80
9.2.2	Le niveau 2 d'interactivité	81
9.2.3	Le niveau 3 d'interactivité	81
9.3	L'interactivité de l'explication	82
9.3.1	Bâtir un discours interactif	82
9.3.2	Connaître le public du Diorama	82

9.3.3	Le canevas général de l'explication	83
9.3.4	Trouver le message principal du Diorama	84
9.3.5	La structure interactive de l'explication	85
9.3.6	Concevoir une présentation avec MUSE	86
10	REALISER LE PROTOTYPE DU DIORAMA	87
10.1	Quelle partie explicative réaliser pour le prototype?	87
10.2	Les deux étapes de la réalisation	88
10.3	Réaliser les séquences vidéo	88
10.3.1	Les moyens vidéos utilisés	88
10.3.2	Les deux types de séquences vidéo	90
10.4	Programmer la présentation avec MUSE	93
10.4.1	Organiser les images présentées	93
10.4.2	Le travail mené actuellement avec MUSE	97
10.5	Les difficultés de la réalisation	98
10.5.1	La mise en image des explications	98
10.5.2	La réalisation et la structure interactive d'explication	100
11	CONCLUSION	103
11.1	Le prototype du Diorama, développements futurs	103
11.2	L'interactivité, pour ou contre?	104
11.2.1	L'interactivité et la conception-réalisation	104
11.2.2	L'interactivité et la compréhension du public	104
11.3	Le dilemme d'une explication en physique des particules	105
12	REMERCIEMENTS	106
A	DE LA VULGARISATION SCIENTIFIQUE A LA CSP	113

A.1	Définition de la vulgarisation scientifique	113
A.2	Entre le mot et la chose	115
A.2.1	Pourquoi vulgariser?	115
A.2.2	Comment vulgariser?	118
A.3	Importance des médias dans la CSP	120
A.3.1	Comment toucher tout le public?	120
A.3.2	Problème de la CSP par l'image	121
A.3.3	Les nouvelles possibilités de l'image	121
B	UN QUESTIONNAIRE MICROCOSM	123
C	LES ABREVIATIONS UTILISEES AU CERN	124
D	DANS "LA RECHERCHE"	126
E	INTRODUCTION DU DIORAMA	134
F	RECHERCHE DU MESSAGE PRINCIPAL	137
G	RECHERCHE D'ANALOGIES	138

Chapitre 1

INTRODUCTION

Ce travail de diplôme s'est effectué pour le Département de Physique Nucléaire et Corpusculaire de l'Université de Genève, dans le cadre de MICROCOSM, le centre d'exposition permanente du CERN.

J'ai été chargé par le Docteur W. Kienzle, qui dirige MICROCOSM, de concevoir et de réaliser, en collaboration avec d'autres personnes parmi lesquelles M. Hodges¹ et J. P. Vialle², une présentation audiovisuelle interactive que nous avons appelée: le DIORAMA. Elle doit permettre au public d'avoir un panorama général sur les activités du CERN. Mon travail, dans ce projet, a consisté surtout à bâtir l'explication sur la physique et à réaliser les audiovisuels nécessaires.

Le but premier de ce travail est la réalisation du Diorama. C'est donc une "vulgarisation" de la physique des particules au CERN. Et ce n'est pas un travail théorique sur la communication scientifique publique³ ou sur l'audiovisuel.

Cependant, les particularités de ce travail de Diplôme:

- il concerne la communication scientifique publique
- il nécessite l'emploi de l'audiovisuel
- son but est une présentation interactive

impliquaient qu'il fallait développer également ces trois points.

¹MIT, Athena

²LAPP Annecy et CERN

³Cette expression est plus précise que le terme vulgarisation (voir Partie 1).

Le but de la Partie 1 de ce mémoire est justement de donner un éclairage sur l'aspect multidimensionnel d'un travail de communication scientifique publique. On peut le situer à la croisée des différents domaines que sont la science, la sociologie, la communication, la pédagogie, la didactique, etc.. Les outils et les "techniques" nécessaires de la communication scientifique publique sont également explicités puisqu'ils ont été utilisés pendant la conception du Diorama.

La Partie 2 commence par une analyse des conceptions préalables du public. Cette description est basée sur une enquête menée auprès des visiteurs de MICROCOSM. Le chapitre 4 décrit le canevas d'une explication générale sur le CERN et ses activités. Les trois chapitres suivants constituent une base de données explicatives que j'ai établie pour la réalisation du Diorama. Mais cette base de données pourrait servir également pour un autre projet de communication scientifique publique sur la physique des particules, et peut-être aussi aux étudiants dans ce domaine.

La conception et la réalisation du prototype du Diorama sont développées dans la Partie 3. Un premier chapitre précise ce qu'est le Diorama et décrit le système informatique utilisé pour sa présentation au public. Les deux chapitres suivants détaillent les phases de l'élaboration de la structure interactive d'explication puis de la réalisation du Diorama.

La Partie 1 de ce mémoire est résumée sous la forme de deux schémas synthétiques. Ils sont précédés par une liste des "techniques" employées pendant la conception du Diorama. Cette liste et ces schémas permettent de s'attaquer rapidement aux deux autres Parties de ce mémoire tout en comprenant mieux le travail poursuivi avec le Diorama.

Pour que la lecture de ce mémoire soit plus facile, on se reportera au besoin à l'Annexe C. Elle contient la plupart des abréviations utilisées au CERN pour nommer les machines et les expériences du site.

Part I

**LA COMMUNICATION
SCIENTIFIQUE PUBLIQUE,
NECESSITE ET SPECIFICITES**

Chapitre 2

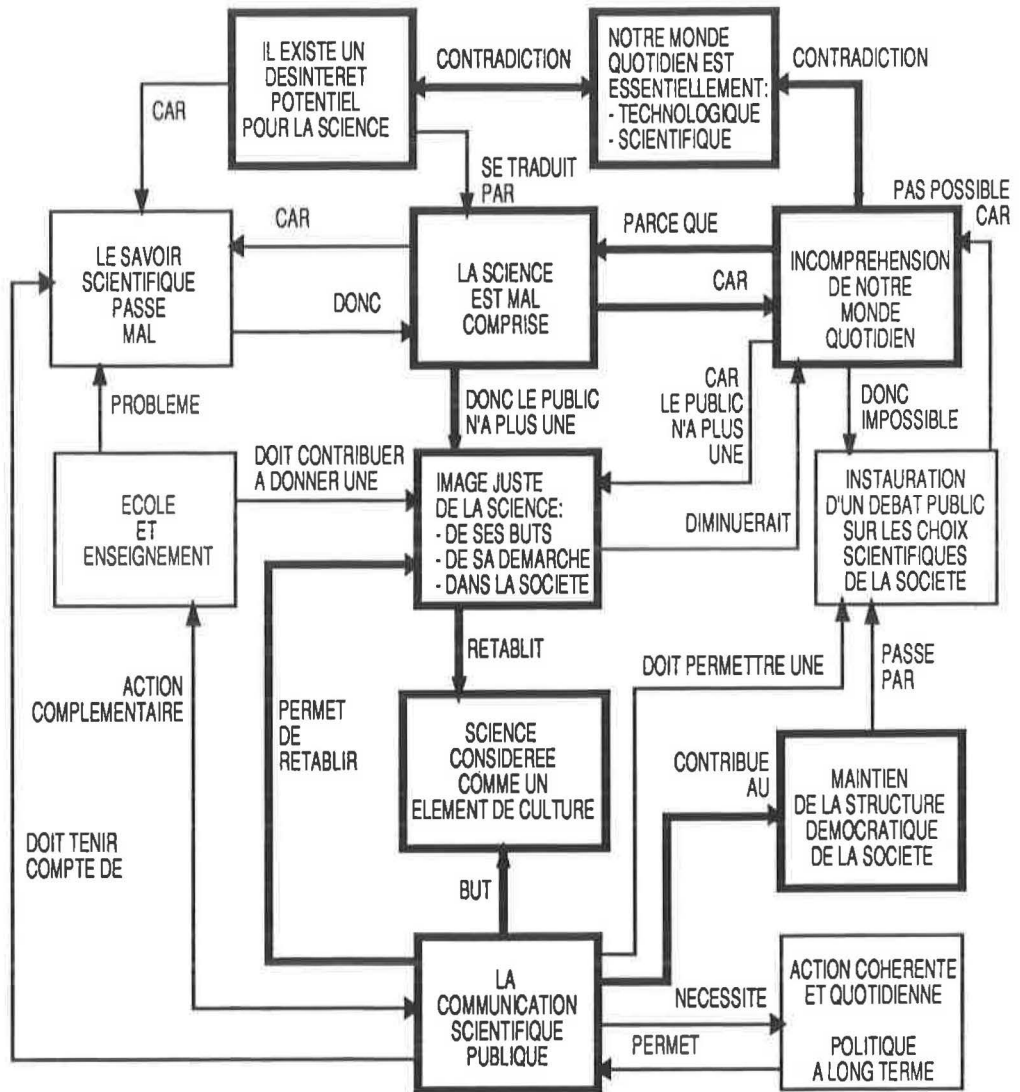
LA COMMUNICATION SCIENTIFIQUE PUBLIQUE

La communication scientifique publique (CSP) est nécessaire car son existence ou son absence ont des conséquences cruciales sur notre société. Cette activité est multidimensionnelle car un projet de CSP met en relation de nombreuses personnes différentes et doit prendre en compte de nombreux paramètres corrélés.

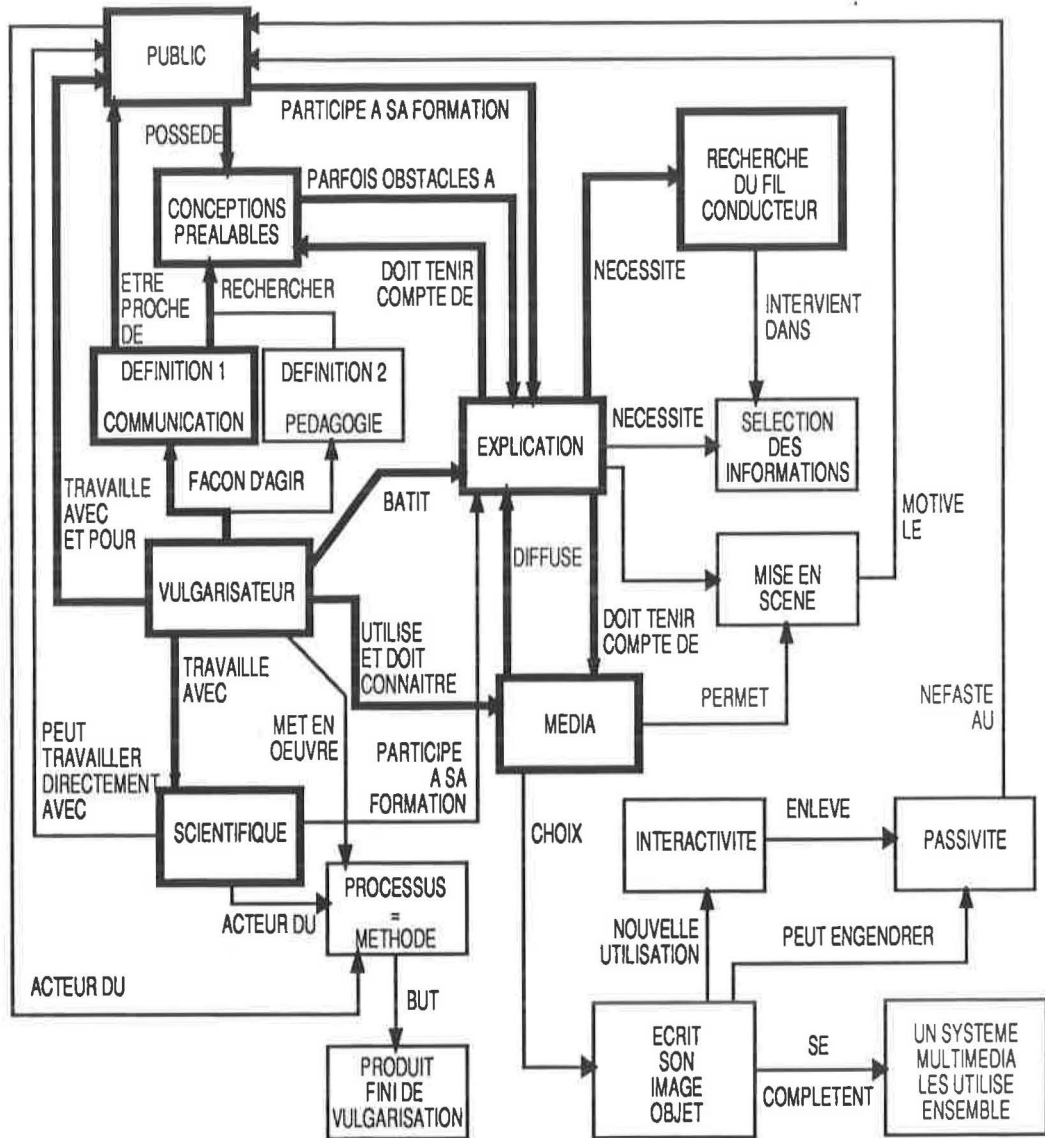
Ces deux questions essentielles: *Pourquoi vulgariser?* et *Comment vulgariser?* sont développées dans l'Annexe A. Deux schémas, donnés dans la suite de ce chapitre, proposent une vision synthétique résumant ces deux interrogations. Il est intéressant d'y jeter un coup d'oeil avant de se lancer dans la lecture des deux autres parties du mémoire. En effet, les points mentionnés ci-dessous, et faisant partie du développement de l'Annexe A, sont intervenus tout au long de la conception-réalisation du Diorama:

- la CSP est une activité de communication avec le public car elle doit tenir compte des conceptions qu'il possède sur le sujet scientifique vulgarisé
- le vulgarisateur adopte généralement une méthode appelée processus de CSP pour mettre au point, en plusieurs étapes bien définies, un projet de CSP scientifique
- une explication de CSP doit être construite autour d'un message principal, d'un fil conducteur, qui doit motiver le public et constituer l'idée directrice de cette explication
- la connaissance du média employé pour diffuser le message vulgarisé intervient pour une large part dans la réussite d'un projet de CSP

POURQUOI VULGARISER?



COMMENT VULGARISER?



Part II

**LE PUBLIC ET LES
EXPLICATIONS**

Chapitre 3

LE PUBLIC ET SES CONCEPTIONS

On cherche à déterminer deux choses:

- à quel public est destiné le Diorama
- quelles sont les connaissances de ce public sur la physique des particules

3.1 Méthode de collection des informations

3.1.1 Le questionnaire

La technique employée pour appréhender les conceptions du public est essentiellement basée sur l'utilisation d'un questionnaire de type ouvert. Un exemple de ce questionnaire rempli par une visiteuse montre qu'il n'est pas adapté pour laisser le public le remplir lui-même. Lorsqu'il le fait, nous ne pouvons rien apprendre sur ses conceptions à partir de ses réponses car celles-ci sont beaucoup trop générales et ne donnent aucun détail (voir le questionnaire d'une enseignante donné à l'Annexe B).

La question "*Avez vous des connaissances en physique des particules?*" a pour réponse directe (c'est-à-dire celle que la personne donne si on ne la questionne pas de façon plus détaillée):

- oui = 20.6 %
- peu (ou très peu) = 31.7 %
- non = 26.9 %

- pas de réponse = 6.3 %
- ou amusantes (mais pas instructives)
 - "celles de l'homme honnête"
 - "seulement les quarks"
 - "J'en ai entendu parler"

Le questionnaire a néanmoins pu servir pour un début d'enquête sur les conceptions du public. Nous avons posé les questions nous-mêmes en utilisant le questionnaire comme fil conducteur d'une discussion avec chacune des personnes interrogées. Cette façon de faire n'est cependant pas rentable. Elle ne permet pas d'interroger un grand nombre de personnes car il faut passer environ cinq minutes avec chacune d'entre elles.

Le questionnaire, utilisé de cette façon, nous a permis de commencer à voir:

- le niveau de public à considérer pour concevoir le Diorama
- l'intérêt du public pour le domaine de la physique des particules
- les connaissances de quelqu'un qui a vu l'exposition Microcosm
(sur le CERN en général et sur la physique des particules en particulier)

L'enquête menée avec le questionnaire s'est déroulée sur février et mars 1990. Les personnes ont été interrogées après qu'elles aient visité Microcosm. Elles ont été choisies au hasard parmi les visiteurs de Microcosm. Il n'y a pas eu de tri préalable.

Pour améliorer les réponses et donner la possibilité de laisser les gens remplir eux mêmes un tel questionnaire, il faut le "fermer" plus, c'est-à-dire compléter les questions, ce qui pourrait donner par exemple (pour la question donnée précédemment):

- Avez vous des connaissances en physique des particules?
- Pouvez vous nous dire par exemple:
 - Comment est fait un atome? - Qu'est-ce qu'un proton?
 - Y a-t-il quelque chose dans le proton? Quoi?
 - Qu'est-ce qu'un électron?
 - Y a-t-il quelque chose dans l'électron? Quoi?
 - Qu'est-ce qu'un quark?

3.1.2 Discussions avec des visiteurs de Microcosm, des amis, J. Geer

Tout au long de la conception du Diorama, nous avons cherché à compléter l'information partielle recueillie avec le questionnaire. Nous l'avons fait avec:

- des amis
Cela ne donne que des renseignements ponctuels au hasard des discussions.
- Julie Geer (membre de l'équipe du Diorama et correspondant au niveau de public visé)
Nous n'avons pas fait de test sur ses conceptions préalables. Nous avons plutôt adapté les explications développées dans le Diorama en fonction de ses réactions. Elle disait franchement "*Je ne comprends pas, rien*" et nous travaillions jusqu'à ce qu'elle dise "*OK, je comprends*".
- des visiteurs de Microcosm
Je testais avec eux les explications bâties (décortiquées) avec Julie. J'avais alors une impression sur leur compréhension en fonction de leurs réactions (questions, grimaces, désintérêt). Je pouvais aussi tester deux explications différentes sur le même sujet avec deux groupes successifs afin de pouvoir comparer leurs réactions avec celles de Julie.

Une systématisation de cette approche permettrait de connaître réellement les conceptions préalables du public visé et de partir de ce point pour:

- améliorer Microcosm (contenu, présentation)
- améliorer le Diorama (contenu, présentation)

Pour cela il faudrait étendre cette enquête à un nombre de gens beaucoup plus important et:

- établir un questionnaire plus complet
- le faire remplir par des élèves de classe de lycée (terminale) et des deux premières années d'université
- le faire remplir comme pré-test aux visiteurs de Microcosm avant qu'ils ne visitent le centre d'exposition
- le faire remplir comme post-test aux visiteurs de Microcosm après qu'ils aient visité le centre d'exposition
- travailler avec un petit groupe d'étudiants (4 ou 5) de façon plus continue et plus rapprochée

3.2 Réponses et analyse

3.2.1 Le questionnaire

On ne prend en compte ici que les questionnaires utilisés comme fil conducteur d'une discussion avec un visiteur et pas ceux qui ont été remplis par les visiteurs eux-mêmes.

Le public du Diorama

- Nombre total de questionnaires = 63
- Etudiants du secondaire (scientifique) = $20/63 = 31.8 \%$
- Etudiants du supérieur (scientifique) = $18/63 = 28.6 \%$
(presque tous en première ou deuxième année d'université)
- Ingénieurs = $5/63 = 7.9 \%$
- Techniciens = $5/63 = 7.9 \%$
- Physiciens = $6/63 = 9.5 \%$
- Professeurs = $3/63 = 4.8 \%$
- Autres = $6/63 = 9.5 \%$

L'ensemble des étudiants scientifiques, jusqu'à la fin du premier cycle universitaire, représentent 60.4 % des personnes interrogées. C'est donc le public que le Diorama doit viser puisque le Diorama doit être installé dans Microcosm. Nous appelons cette catégorie de public le niveau vert.

Nous considérons les étudiants scientifiques de fin d'études secondaires et de début d'études universitaires comme faisant partie du même niveau de public. En effet, les réponses obtenues avec le questionnaire ne distinguent pas une réelle différence de connaissance, sur la physique des particules, entre ces deux types d'étudiant scientifique.

Cela s'explique assez facilement si l'on considère les programmes d'étude du premier cycle universitaire. Jusque là, et s'il étudie la physique, un étudiant suit, en plus des cours de mathématiques, des cours généraux d'électromagnétisme, de mécanique classique, de relativité et de mécanique quantique (cela dépend des universités). Ses connaissances sont donc plus étendues que celles d'un étudiant scientifique en fin de cycle secondaire. Cependant il n'a pas vu les applications spécifiques de ces cours au domaine de la physique des particules. Il ne le fait qu'en se spécialisant dans cette direction, et cela à partir du second cycle universitaire. C'est à partir de ce niveau d'étude que la différence de connaissance se creuse énormément car l'étudiant scientifique possède alors des connaissances théoriques qu'il commence à allier à une certaine pratique (théorique ou expérimentale).

Une deuxième et une troisième catégories de public sont également apparues avec le questionnaire. La deuxième, que nous appelons le niveau rouge, est celle des étudiants ayant

effectué un deuxième cycle universitaire scientifique et qui s'y sont spécialisés en physique des particules. Cette catégorie regroupe aussi des scientifiques qui travaillent dans des domaines proches. La troisième, que nous appelons le niveau noir, est celle des physiciens en physique des particules et des ingénieurs travaillant dans ce domaine. Cette dernière catégorie se distingue de la seconde par toute l'expérience professionnelle acquise, expérience que n'a pas un étudiant "en fin d'étude", même s'il est spécialisé en physique des particules, car il a une connaissance presque uniquement livresque.

Intérêt pour le domaine de la physique des particules et pour Microcosm

Les gens sont assez enthousiastes en général. La majeure partie des réponses reflète des idées similaires à:

- *"La science ne peut pas ne pas intéresser."*
- *"J'adore les sciences et la physique, l'astronomie."*

Cependant il ne faut pas se leurrer. Ces réponses reflètent aussi que les visiteurs de Microcosm ont, pour la majeure partie d'entre eux, un intérêt préalable pour le domaine couvert par l'exposition Microcosm ou pour la science en général. En effet leurs motivations pour venir visiter Microcosm traduisent surtout leurs occupations professionnelles, ou les études qu'elles poursuivent:

- le travail
 - *"Je travaille au CERN."*
 - *"Je suis physicien."*
 - *"Je travaille dans un domaine peu éloigné."*
- une relation avec quelqu'un
 - *"Mon père travaille au CERN."* (revient très souvent chez les jeunes visiteurs isolés)
 - *"Je viens visiter mon frère qui travaille au CERN."*
- les études poursuivies
 - *"Je suis étudiante en physique."*
- l'intérêt, la curiosité
 - *"La science est un hobby."*

Les gens qui travaillent au CERN aiment bien l'exposition Microcosm. Elle leur donne l'occasion de voir la majeure partie de l'ensemble des activités du CERN, ce qu'ils n'ont pas toujours la possibilité de faire dans leur travail quotidien. Cela est surtout vrai pour les personnes des catégories professionnelles les moins élevées (ouvriers et même techniciens) qui semblent regretter que Microcosm n'ait pas existé auparavant. Certains disent par exemple qu'ils comprennent mieux ce sur quoi ils travaillent ou ce à quoi sert le CERN. Les physiciens, eux, semblent absolument satisfaits de l'exposition. Il est vrai qu'ils ont les connaissances requises pour comprendre toutes les explications développées dans Microcosm. Ils viennent plutôt par curiosité, pour voir comment c'est fait. Ils viennent aussi avec leur famille ou leurs connaissances pour leur montrer ce qu'ils font.

Les conceptions du public du Diorama

Nous ne nous intéresserons ici qu'à la catégorie de public que le Diorama vise, c'est-à-dire les étudiants du lycée et des premières années d'université, donc 38 questionnaires (voir plus haut). A la question *A quoi sert le CERN?*, les réponses peuvent être regroupées en trois catégories:

- la réponse "Centre de recherche"
 - *"A la recherche fondamentale. C'est une grande réussite de l'Europe."*
 - *"A faire avancer la connaissance scientifique. C'est une contribution au progrès de l'humanité."*
 - *"Le CERN conjugue recherche et applications. Il participe au progrès."*

- la réponse "Le but de la recherche menée au CERN"
 - *"Découvrir les secrets de la matière, sa structure intime."*
 - *"A faire de la recherche et donc découvrir de nouvelles particules"*
 - *"Le CERN fait de la recherche nucléaire."*(étudiant de 21 ans en math-physique à l'université!)
 - *"Recherche fondamentale de l'infiniment petit."*

- la réponse "Les moyens utilisés au CERN"
 - *"Confirmer ou mettre en échec la théorie par la découverte."*
 - *"C'est une concentration de connaissances, de moyens."*
 - *"Accélérer des particules et en trouver de nouvelles."*

Le premier type de réponse est rare par le public du Diorama. Il est donné plus souvent par des étudiants plus avancés dans leurs études et plus souvent encore par des personnes qui ne sont pas directement impliquées dans la science mais qui s'y intéressent. Curieusement ce type de réponse n'a pas été donné par des physiciens ou des ingénieurs travaillant au CERN.

Le deuxième type de réponse est tout à fait correct au premier abord pour le public du Diorama. Par contre il est incomplet et cache, à mon sens, une certaine incompréhension sur le but de la recherche menée au CERN. En effet toutes ces réponses recouvrent plutôt l'idée de *découvrir des nouvelles particules*. Aucune n'a mentionné le fait que cette recherche comprenait aussi la compréhension des interactions entre les particules fondamentales de la matière.

Pour le public vert, la recherche en physique des particules se résume donc à trouver de nouvelles particules. Et si l'on rapproche cette expression d'une seconde qui revient très souvent aussi, *Recherche de l'infiniment petit*, il me semble que l'on peut en conclure que la physique des particules est synonyme, pour ce public, d'une recherche de particules toujours plus petites. Signalons aussi la confusion qui revient toujours (mais rarement) entre physique des particules et physique nucléaire.

La compréhension de la matière se reflète dans les réponses données à la question "Avez vous des connaissances en physique des particules?" Elles peuvent être regroupées ici sous deux types différents:

- la réponse "La matière, il y a plein de choses dedans."
 - "Il y a les atomes, les molécules, tout ça..."
 - "L'étude de la matière est importante pour la découverte de nouveaux matériaux, pour notre vie future."
(étudiant de 20 ans à l'université; dit qu'il lit "La Recherche")
- la réponse "L'atome, oui. Les quarks, non."
 - "L'atome a un noyau et des électrons autour. Dans le noyau il y a des protons et des neutrons. Dedans il y a quelque chose, mais je ne sais pas quoi"
 - "Le quark est un composant de l'électron."
(étudiant en deuxième année de maths-physique à l'université)

Le premier type de réponse traduit une confusion totale des différents niveaux de structure de la matière. Heureusement ce type de réponse n'est donné que rarement. La référence à la publication "La Recherche" apparaît comme une justification de connaissance donnée par l'étudiant en question qui ne doit en fait pas pouvoir retirer grand chose de sa lecture.

Le deuxième type de réponse revient très souvent (environ 90 % des réponses). On peut donc dire que les étudiants à ce niveau ont une connaissance correcte de la structure de l'atome décrit par la physique classique (mais pas quantique). Par contre ils n'ont pas de connaissance au niveau sub-atomique. Certains savent que l'atome se subdivise mais ils ne savent pas comment.

Ces deux types de réponse montrent ce que j'appellerai le problème de l'échelle dans la structure de la matière. Notons aussi que pour le deuxième type de réponse, on ne fait que constater que l'image classique de l'atome est assimilée. On ne vérifie pas en même temps que ces étudiants savent énumérer correctement les différents niveaux de structure allant vers le niveau macroscopique. Cette constatation ne semble pas être en relation avec la physique des particules. Pourtant on remarque souvent que s'il y a méconnaissance des différents niveaux successifs allant du macroscopique vers le microscopique, les étudiants sont un peu perdus au niveau de l'atome car ils ne savent pas vraiment "où ils sont".

Les réponses à la question "Avez vous des connaissances sur les accélérateurs?" sont d'un seul type général:

- "Ils servent à accélérer des particules."

Deux étudiants seulement ont dit:

- "Ils servent à augmenter l'énergie des particules."

Cela semble montrer qu'il y a une grande méconnaissance de ce qu'est un accélérateur, de sa fonction. On peut aussi en conclure que leurs connaissances ne sont pas opérationnelles sur ce sujet.

3.2.2 Discussions avec des visiteurs de Microcosm, des amis, J. Geer

Chacun des points principaux relevés avec le questionnaire s'est trouvé confirmé au cours des discussions menées avec le public vert. Elles ont confirmé les mêmes résultats et les ont précisés:

- le but de la recherche

L'oubli de l'interaction s'est retrouvé constamment. Les étudiants ont l'impression d'une éternelle fuite en avant. On la retrouve dans une question générique du type:

- *"Qu'est-ce qu'il y a dans les quarks?"*

Cet oubli montre en fait une incompréhension de l'interaction entre les particules et la matière. Il faut dire que c'est sans doute l'un des points les plus difficiles à comprendre dans une présentation sur la physique des particules.

- l'interaction particule-particule

Lorsqu'une interaction se produit entre deux particules qui entrent en collision, comme un e^+ et un e^- au LEP, le phénomène semble être compris car le terme collision permet aux étudiants de retrouver une image "bien macroscopique": celle d'un choc entre deux objets. Lors de ce choc il y a forcément quelque chose qui se passe entre ces deux particules: c'est l'interaction.

Il semble aussi que la dépendance de l'interaction en fonction de la nature de ces deux objets soit comprise. Des particules différentes auront des interactions différentes; cela leur semble logique. Mais ils ne savent pas préciser ce que l'on entend par "particules différentes".

- l'interaction particule-matière

Lorsqu'une explication situe l'interaction entre une particule et un matériau (par exemple dans une partie d'un détecteur), on voit que ce phénomène n'est pas compris. Il semble que le public se demande avec quoi interagit la particule, comme s'il oubliait que la matière (le matériau du détecteur) est elle-même constituée de particules, comme s'il considérait que ce matériau n'est fait que d'un seul bloc (c'est ce qu'il en voit).

Cette réaction montre en même temps que le public ne se pose pas la question de savoir comment les constituants élémentaires de la matière tiennent ensemble dans des formations macroscopiques (interaction entre les particules constituant la matière).

- les échelles du monde microscopique

Les étudiants rencontrés lors des discussions donnent aussi une image classique correcte de l'atome. Elle contient trois éléments (proton, neutron et électron) qu'ils placent sur un pied d'égalité puisqu'ils sont présents au même niveau de la structure de la matière. Comme les deux premiers (proton et neutrons) ont une structure plus petite (les quarks), les étudiants pensent que les électrons contiennent aussi des éléments plus petits et, bien souvent, ils disent que ce sont des quarks.

Ils font là un enchaînement logique erroné qui montre qu'il manque peut-être un objet muséologique comme une maquette montrant les différents niveaux successifs de la structure du monde microscopique.

Les discussions avec le public du Diorama ont aussi permis d'autres remarques sur ses conceptions préalables:

- la grande absente: la mécanique quantique

Le public de ce niveau n'a aucune connaissance opérationnelle de mécanique quantique. Les étudiants du niveau secondaire n'en ont pas. Les étudiants du premier cycle universitaire qui ont suivi un cours sur ce sujet ne connaissent pas les applications spécifiques de la mécanique quantique à la physique des particules.

S'ils ont vu en cours la dualité onde-corpuscule, ce n'est encore pour eux qu'un mot. Leur conception usuelle de la matière est donc purement macroscopique. Ils associent une particule uniquement à quelque chose de dur, de compact, de plein.

Ils n'ont aucune notion de comportement statistique et de l'imprédictibilité d'un phénomène quantique. Ils ne saisissent donc pas ce qui peut se passer au niveau microscopique, lors d'une interaction par exemple.

D'autres notions comme la discontinuité des états quantiques, l'influence de la mesure sur les résultats de cette mesure, ou les relations d'incertitude de Heisenberg ne font pas partie non plus des connaissances qu'ils utilisent pour raisonner.

- la représentation du monde microscopique

La représentation des particules sous la forme d'une petite boule est celle que tous les étudiants adoptent. Pas un ne parle d'une onde (recoupement avec la mécanique quantique), encore moins d'une cordelette. Pas un étudiant ne se pose de question sur l'origine ou la validité de cette image qui est, pour eux, ce qu'ils verraient si ils étaient de la taille d'une particule.

- les liens entre les choses qu'ils connaissent

En tant que guide lors des visites du samedi, j'ai parfois cherché à voir si les étudiants correspondant au public du Diorama sauraient retrouver comment on fait dans un accélérateur de particules pour:

- courber la trajectoire d'une particule
- accélérer une particule

Les deux lois physiques à appliquer font partie du programme des cours du secondaire (Forces de Lorentz et de Coulomb). Ce sont même des phénomènes sur lesquels ils font maints exercices et applications.

Je n'ai eu spontanément aucune réponse. En les mettant un peu sur la voie (par exemple en leur disant "*Et si j'employais un aimant?*"), j'obtenais alors parfois la réponse:

- "*Ah oui, on utilise la force de Lorentz.*"

Mais j'avais plutôt l'impression d'une réponse donnée par coeur ou par hasard. Pas un étudiant ne m'a demandé, par exemple:

- "*Est-ce que la particule a une charge électrique?*"

Je leur demandais aussi:

- "*Peut-on accélérer une particule qui n'a pas de charge électrique?*"

Les réponses relevaient aussi du par coeur et du hasard mais pas d'une réflexion appliquant les connaissances acquises en cours. Ceux-ci sont peut-être trop déconnectés de la vie courante. En conséquence les étudiants, surtout ceux du secondaire, n'y cherchent pas d'éléments de réponse.

- la relativité cette incomprise

Aujourd'hui les étudiants du secondaire ont également des cours de relativité (restreinte). Le contenu de leur cours s'attache à essayer de les faire raisonner de façon relativiste en s'appuyant sur des formules mettant en évidence le terme γ .

Pourtant à la question:

- *"Si une particule a déjà une très grande vitesse et que je l'accélère, que lui arrive-t-il?"*

tous les étudiants rencontrés dans Microcosm lors des visites du samedi répondent:

- *"Sa vitesse augmente."*

et jamais

- *"Son énergie augmente et sa vitesse reste constante."*

Ils continuent à raisonner classiquement et n'appliquent pas les formules qu'ils ont vu en cours. Ils n'ont ni la notion d'un comportement ultrarelativiste ni celle d'une vitesse limite.

- préférence pour la phénoménologie

Le public a plus d'attrance pour ce qui concerne les phénomènes, rattachés à la théorie, de la physique des particules que pour les outils utilisés, rattachés à la technologie, comme les accélérateurs et les détecteurs. Le public est plus fasciné qu'intéressé par ces machines. Une question, par exemple, revient souvent:

- *"Pourquoi faut-il de si grandes machines pour étudier de si petites particules?"*

L'intérêt plus grand pour les phénomènes montre bien que le public comprend que ce sont eux qui sont étudiés et que leur compréhension représente le but de la recherche en physique des particules. La curiosité du public se retrouve par exemple dans des questions du type:

- *"L'antimatière, qu'est-ce que c'est?"*

- *"Comment est né l'univers?"*

Mais le degré d'abstraction sur ces sujets est grand et les connexions entre ces différents phénomènes sont multiples. Le public se perd donc très vite dans une explication plutôt théorique.

3.3 Résumé

Les quelques résultats explicités ci-dessus ne sont que partiels. Ils doivent donc plutôt être considérés à titre indicatif pour une étude plus poussée que comme établissant des données définitives.

Il faut chercher à mieux connaître les conceptions du public en général, et du public visé par le Diorama en particulier puisque c'est le plus nombreux. Cette étude doit être menée sur un nombre assez grand (nombre à préciser) d'étudiants pour être significative. De plus elle doit s'appuyer sur une enquête plus élaborée que celle que nous avons employée.

Pour résumer ce que l'on sait, à l'heure actuelle, des conceptions préalables du public du Diorama, on peut dire qu'il y a un clivage important entre la compréhension du monde macroscopique et celle du monde microscopique. Il se traduit par les faits essentiels suivants:

- Le public raisonne uniquement de façon classique en ignorant tout de la mécanique quantique (même les étudiants du premier cycle universitaire) et de la relativité (restreinte bien entendu).
- Le public a une image classique correcte de l'atome. Par contre, même si certains étudiants savent qu'il existe une structure plus élémentaire que les protons et les neutrons, ils ne savent pas laquelle ni à quels éléments de l'atome elle s'applique (ils placent des quarks dans les électrons).
- Le phénomène d'interaction échappe totalement au public. Un gros travail est à faire au niveau de cette notion car elle conditionne la compréhension du public pour une explication sur les détecteurs de particules.
- Le public fait des confusions d'échelle très importantes ce qui provient sûrement du fait qu'il n'a pas de vision d'ensemble sur les différents niveaux de structure de la matière.

Les résultats obtenus ouvrent cependant déjà quelques voies pour bâtir la trame d'une exposition sur la physique des particules. Les principales sont indiquées ci-dessous:

- Les buts de la recherche dans ce domaine doivent être montrés selon deux axes principaux:
 - c'est l'étude des particules constituant la matière
 - c'est l'étude des interactions entre ces particules
- il faut montrer où se situent les particules élémentaires par rapport aux différentes structures de la matière. Cela peut être illustré par:
 - une sorte de "poupée russe"
 - une maquette généraleCela revient à montrer que les particules sont présentes dans la matière qui nous environne.
- il faut montrer que les interactions entre particules sont présentes au sein d'un bloc quelconque de matière (du fer, du sel, de l'eau) et que ces interactions "stabilisent" les particules en des arrangements qui constituent la matière macroscopique
- pour mener une recherche en physique des particules, il faut employer d'énormes machines:
 - un accélérateur pour accéder au monde des particules
 - un détecteur qui permet de voir le monde des particules

Chapitre 4

LES TROIS PARTIES DE L'EXPLICATION SUR LE CERN

4.1 Définition des trois parties

L'enquête faite préalablement auprès du public, nos premières recherches bibliographiques et nos premières discussions avec des gens du CERN ont permis de découper l'explication que nous voulons établir sur ce centre de recherche en trois parties. Les activités du CERN sont effectivement axées autour des thèmes principaux:

- la chaîne des accélérateurs,
- les expériences,
- des connaissances sur la phénoménologie la physique des particules¹

Pour chacune de ces parties, il faut définir la liste de toutes les notions qui les constituent et qui, rassemblées, les expliquent. Il faut aussi rechercher la façon dont ces notions sont liées, aussi bien à l'intérieur de chaque partie qu'entre les trois différentes parties.

¹Cette partie sera appelée théorie pour simplifier.

4.2 Les notions principales des trois parties

Pour les accélérateurs, il faut faire comprendre:

- leur nécessité pour augmenter l'énergie des particules
- leur technologie
 - le vide
 - le système d'accélération
 - les aimants de courbure et de focalisation

Pour les expériences, il faut faire comprendre:

- leur but c'est-à-dire la mesure effectuée
- leur moyen d'arriver à ce but c'est-à-dire le détecteur et l'analyse des données

Pour la théorie, il faut faire comprendre:

- les bases du modèle standard
 - les particules élémentaires
 - les quatre interactions fondamentales
 - l'unification des forces
- des idées de base sur la physique du monde microscopique
 - pourquoi on l'appelle aussi la physique des hautes énergies
 - la création de matière et d'antimatière à partir de l'énergie
 - la mécanique quantique
 - la relativité
- la liaison entre les mondes microscopique et macroscopique
 - celle qui existe maintenant entre la physique des particules et l'astrophysique

4.3 Les liaisons principales dans chaque partie

Les liaisons existant dans la partie sur les accélérateurs se font en rattachant chacune des explications concernant les fonctions principales d'un accélérateur:

- produire des particules de haute énergie
- faire circuler les particules dans le vide
- courber leur trajectoire pour qu'elles restent dans l'anneau accélérateur
- les focaliser pour qu'elles constituent un paquet dense

Les liaisons existant dans la partie concernant les expériences se font par l'intermédiaire d'une explication commune à toutes les expériences et concernant les principes de détection et les principaux sous-détecteurs. Cette explication décrit globalement un détecteur et sa tâche:

- description du détecteur
 - il n'y a pas de détecteur universel
 - un détecteur est constitué de nombreux sous-détecteurs ayant chacun une mesure spécifique à effectuer
- la tâche du détecteur
 - la reconstruction des trajectoires des particules
 - l'identification de ces particules
 - la mesure de leur énergie et de leur impulsion

La partie concernant la théorie comprend principalement deux sous-parties. L'une d'elle décrit des notions de relativité et de mécanique quantique qui servent à la physique des particules. L'autre décrit plutôt des bases du modèle standard de la physique des particules. Les liaisons existant dans cette partie se créent en montrant que les notions développées répondent à différentes questions qui émergent de l'idée principale de l'explication:

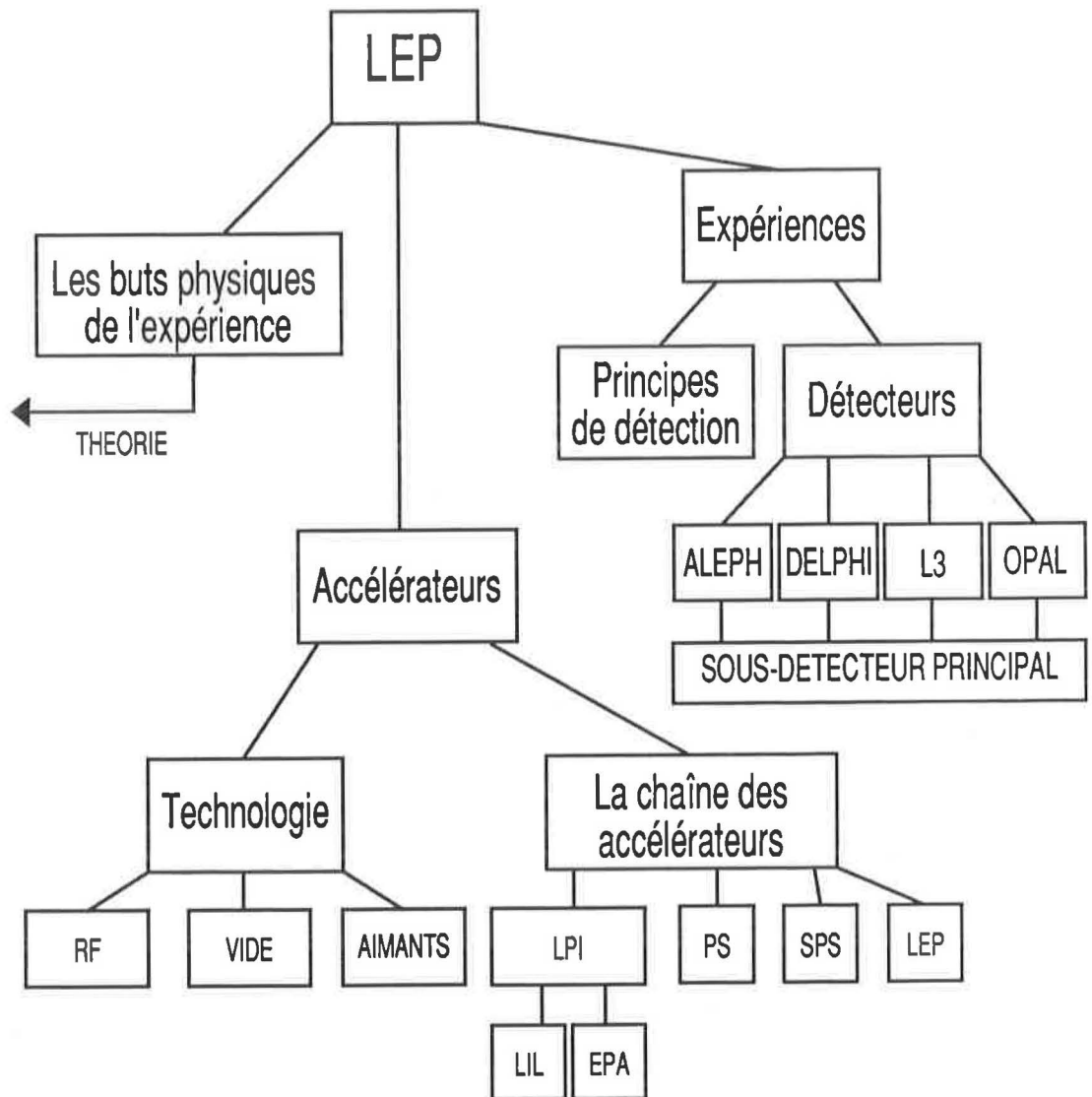
- l'idée principale de l'explication
 - le processus de création de matière
- première question
 - Pourquoi la physique des particules est aussi appelée physique des hautes énergies?*
 - on utilise la mécanique quantique en mettant en évidence l'aspect ondulatoire des particules
- deuxième question
 - Comment fonctionne le processus de création de matière?*
 - on utilise la relativité en mettant en évidence l'équivalence entre énergie et matière
- troisième question
 - A quoi sert le processus de création de matière?*
 - il permet de découvrir la simplicité du monde microscopique axée autour de deux idées du modèle standard:
 - les particules élémentaires sont très peu nombreuses
 - l'interaction entre deux particules est transmise par un messager

4.4 Les liaisons principales entre les trois parties

Une première approche des liaisons à établir entre les trois parties de l'explication est synthétisée sous la forme d'un schéma donné ci-dessous et prenant le LEP pour exemple.

La liaison principale qu'il faut montrer, entre les parties sur la théorie et sur les accélérateurs, est la nécessité des accélérateurs pour accéder à de hautes énergies et donc pour engendrer le processus de création de matière.

SCHEMA DU LEP



La liaison principale entre les parties sur les accélérateurs et sur les expériences doit montrer que les expériences et les accélérateurs sont complètement interconnectés. Les accélérateurs doivent délivrer aux expériences les particules voulues, à l'énergie voulue. Autrement dit, les accélérateurs fournissent l'un des outils qu'utilisent les expériences.

La liaison principale entre les parties sur la théorie et sur les expériences doit mettre en évidence que certaines des idées principales de la phénoménologie sont mises en oeuvre au sein des expériences pour vérifier certaines des idées de la théorie ou pour en générer de nouvelles:

- la relativité, en fait l'équivalence entre matière et énergie, est à la base des particules créées et étudiées dans les expériences
- la mécanique quantique, en fait l'aspect ondulatoire des particules, montre le besoin en particules d'énergie de plus en plus grande pour que les expériences puissent sonder toujours plus finement la structure de la matière
- les particules créées sont détectées et analysées grâce aux interactions qu'elles subissent dans les détecteurs des expériences
- les analyses des événements détectés dans les expériences permettent de mieux percevoir la simplicité du monde microscopique et/ou d'en révéler de nouveaux aspects.

4.5 Le message principal de l'explication

L'idée directrice de l'explication sur les activités du CERN apparaît au travers de ce découpage en trois parties. C'est la création de matière, rattachée à la découverte de la simplicité du monde microscopique et à l'emploi d'énormes machines:

- Le monde macroscopique, c'est-à-dire le monde quotidien, a une grande diversité apparente à cause du grand nombre de matériaux différents qui le composent et des comportements différents existant entre ces "objets".
Au contraire, le monde microscopique a une simplicité intrinsèque par le fait qu'il n'est constitué que de quelques particules élémentaires et que les interactions entre ces particules fonctionnent sur le même principe, celui de l'échange d'un messenger.
- Après une collision entre une particule et son antiparticule, il y a annihilation de la matière et de l'antimatière en énergie au point de collision. Cette énergie va se transformer et créer des particules et antiparticules, différentes de celles existant auparavant.
- Pour engendrer le processus de création de matière, il faut utiliser un accélérateur de particules. Pour étudier les particules créées, il faut utiliser un détecteur. Ces deux machines sont les outils nécessaires à la découverte de la simplicité du monde microscopique.

Prendre ces points comme message principal dans une explication sur la physique des particules et sur le CERN est justifié par deux facteurs. Premièrement l'idée de la simplicité du monde microscopique représente très bien le but de la recherche en physique des particules. De même, le but principal du CERN, c'est-à-dire la mise en oeuvre et l'utilisation de moyens, notamment expérimentaux, permettant de comprendre cette simplicité, est rattachée autour de l'idée de création de matière. Deuxièmement, les discussions avec les visiteurs de Microcosm nous ont prouvé la fascination du public pour ces deux idées.

Elles peuvent donc servir de message principal à une explication sur le CERN car elles traduisent bien le but de la recherche menée au CERN et car elles motivent le public qui voudra donc en savoir plus sur ce sujet.

4.6 Une base de données explicatives

Les 3 chapitres qui suivent dans ce mémoire contiennent toutes les notions principales rattachées aux 3 différentes parties décrites ci-dessus. Chaque notion est décrite par un paragraphe nommé "*Résumé explicatif*" qui peut être parfois d'un niveau supérieur à celui du public vert, mais qui est néanmoins écrit pour servir de base à une explication sur cette notion. Un second paragraphe intitulé "*Les points importants à expliquer*" donne une liste des points principaux sur la notion et les commente en fonction de leur degré de difficulté et de ce qu'ils peuvent ou doivent apporter dans l'ensemble de l'explication.

Dans chacun de ces trois chapitres, après que l'ensemble des notions ait été traité, un résumé est donné sous la forme d'un schéma mettant en relation les notions relatives au chapitre en question.

Ces trois chapitres ne contiennent donc pas l'explication sous la forme exacte dans laquelle elle apparaît dans le Diorama. Ils constituent plutôt une base de données explicatives sur les activités du CERN. Chacun peut l'utiliser pour bâtir une explication en l'adaptant selon les impératifs de son projet (média de diffusion choisi, durée, etc...):

- le schéma du résumé sert à distinguer rapidement les notions nécessaires, ou utiles, et leurs liaisons
- les paragraphes "*Résumé explicatif*" servent comme base d'explication sur les différentes notions à aborder
- les paragraphes "*Les points importants à expliquer*" servent à trouver les points importants d'explication, relatifs à chaque notion, sur lesquels il faut insister

Une bibliographie sur la physique des particules a été établie en prenant la revue *La Recherche* comme source de documentation. L'annexe D donne la liste de tous les articles traitant de ce domaine et parus depuis 1970, date de début de publication de cette revue.

Chapitre 5

EXPLIQUER LES ACCELERATEURS DE PARTICULES

5.1 Le complexe des accélérateurs du CERN

5.1.1 La fonction d'un accélérateur de particules

Résumé explicatif

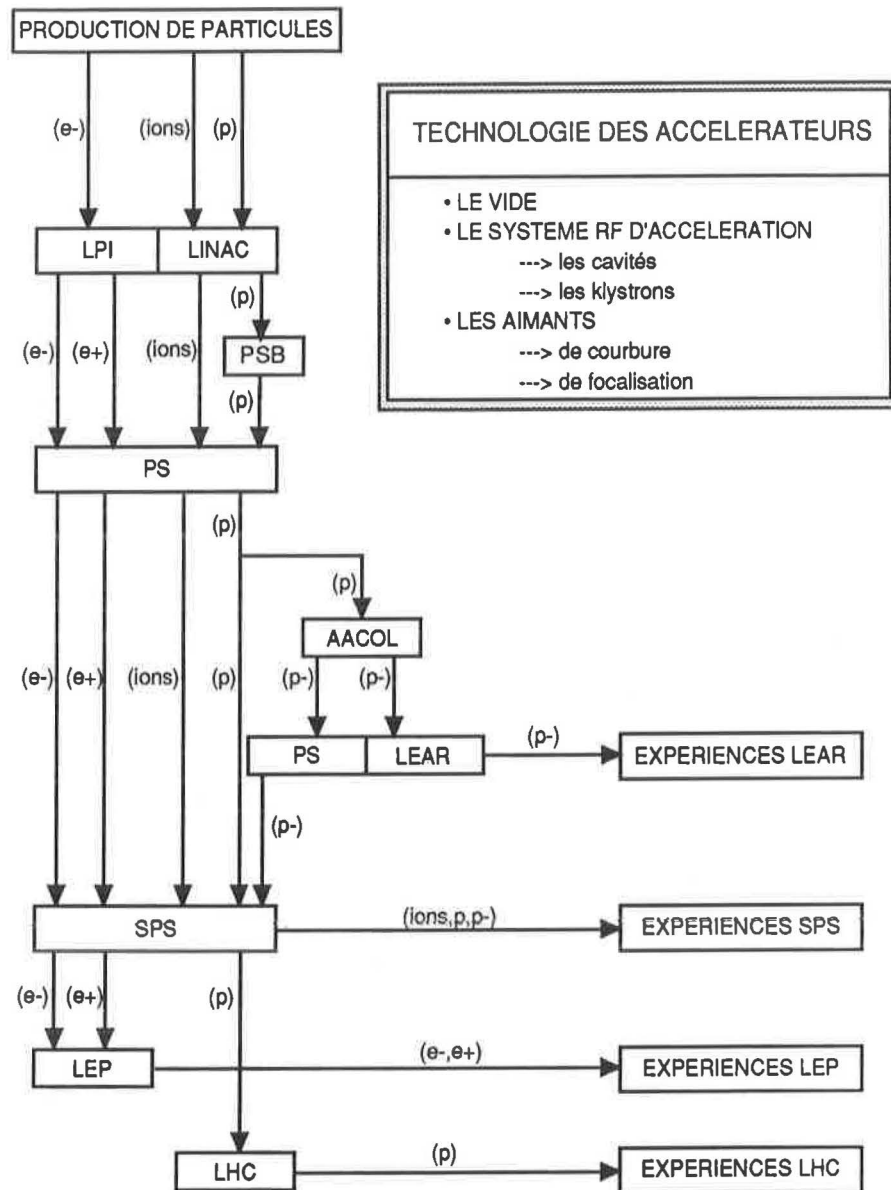
L'accélérateur est l'outil dont se servent les physiciens pour augmenter l'énergie des particules. En regroupant plusieurs machines, le complexe des accélérateurs du CERN rend possible une grande diversité d'expériences. En effet, il permet aussi bien d'augmenter l'énergie de différentes particules (électrons, positons, protons, antiprotons et ions) que d'accéder à des valeurs d'énergie très différentes. Le schéma donné ci-dessous décrit le chemin que suivent ces particules au long de la chaîne des accélérateurs du CERN.

C'est la grande énergie donnée aux particules qui les rend utilisables pour découvrir la structure de la matière et les phénomènes qui se passent à l'échelle des particules élémentaires¹. La valeur exacte d'énergie que l'on fait atteindre aux particules avec un accélérateur dépend du phénomène que l'on veut observer. Avec le LEP, le dernier accélérateur né au CERN, l'énergie que l'on fait atteindre aux paquets d'électrons et de positons est de 45 GeV. Cette valeur d'énergie permet la création de la résonance appelée Z^0 . Plus tard on transformera le LEP pour atteindre 90 GeV par faisceau. Ceci permettra la création d'un couple d'autres résonances appelées W^+ et W^- .

¹Certaines expériences, comme celles de LEAR, utilisent des faisceaux de particules de basse ou moyenne énergie.

5.1.2 Le schéma des accélérateurs

SCHEMA DES ACCELERATEURS



Les points importants à expliquer

- le CERN dispose d'un complexe d'accélérateurs qui permet une grande diversité d'expériences
- un accélérateur est une machine servant à augmenter l'énergie des particules
- l'énergie que l'on veut faire atteindre aux particules dépend du phénomène que l'on veut observer

La liaison entre la valeur d'énergie que l'on veut faire atteindre aux particules et le phénomène à observer doit être donnée car elle permet de relier l'explication sur les accélérateurs à celle sur les expériences. L'explication plus générale sur l'énergie à atteindre pour voir les phénomènes du monde microscopique est donnée dans le chapitre sur la phénoménologie de la physique des particules.

5.1.2 Production des particules

Références: [1]

Résumé explicatif

Les particules dont on augmente l'énergie dans les accélérateurs (électrons, positons, protons, antiprotons et ions) doivent être groupées en paquets composés d'un seul type de particules en grand nombre. En effet, un accélérateur ne peut pas accélérer efficacement un paquet de particules comprenant des particules mélangées. De plus il faut beaucoup de particules dans chaque paquet pour augmenter la probabilité d'interaction particule-matière (si le paquet de particules est envoyé dans une cible fixe) et la probabilité de collision (si l'on fait tourner deux paquets de particules en sens inverse dans le même accélérateur). C'est le résultat de ces interactions et/ou de ces collisions que l'on étudie dans les expériences.

On ne trouve pas dans la nature des paquets prêts à l'usage des accélérateurs. Ainsi les protons et les électrons sont présents dans un atome d'hydrogène. Mais ils ne s'y trouvent pas rassemblés en paquets. Il faut donc produire ces paquets comprenant un grand nombre de particules d'un seul type.

L'obtention de protons isolés se fait à partir de molécules d'hydrogène que l'on "casse" avec un haut champ électromagnétique. Ce champ secoue très fort la molécule et "brise" les liaisons entre ses constituants. Les électrons s'obtiennent par chauffage d'un filament de façon analogue à ceux qui permettent l'illumination d'une lampe à incandescence. Au fur et à mesure que les protons ou les électrons sont produits, on les regroupe dans un même paquet.

L'obtention des positons (d'antiprotons) se fait à partir d'électrons (de protons) dirigés vers une cible après avoir été accélérés dans LIL de LPI (dans le LINAC 2 puis le PS). En interagissant avec les constituants de la cible, les électrons (les protons) donnent naissance à des positons (des antiprotons). La probabilité de cette naissance n'est cependant pas élevée. Ainsi il faut "lancer" un proton environ un million de fois sur une cible pour obtenir un seul antiproton. Il faut ensuite collecter les positons (les antiprotons) produits dans EPA de LPI (dans AACOL) afin de constituer les paquets voulus. Cette opération n'est pas facile².

Toute cette opération de production des particules se déroule au moyen des préinjecteurs (LPI et LINAC) et des collecteurs (EPA et AACOL) connectés au PS.

Les points importants à expliquer

- le besoin de paquets composés d'une seule sorte de particules
- le processus de production des particules de matière et d'antimatière utilisées dans les accélérateurs
- le rôle des préinjecteurs et des collecteurs connectés au PS

Disposer des particules voulues pour pouvoir s'en servir paraît être évident. Il faut toutefois expliquer pourquoi il faut les produire. Les visiteurs pensent souvent qu'elles existent dans la nature. Ils n'ont pas tort. Mais il faut mettre en évidence que ces particules ne sont pas isolées dans la nature et que, pour l'utilisation que l'on veut en faire, il faut qu'elles le soient avant d'être rassemblées dans des paquets.

Une explication sur le processus de production des particules et des antiparticules ne semble pas bloquer le public du niveau vert qui admet, par exemple, facilement qu'il peut considérer la cible comme une "boîte noire" transformant une particule en son antiparticule. Par contre il ne comprend pas que l'on puisse produire de l'antimatière.

Souvent, dès que l'on prononce ce mot, notre public se bloque car cette notion est très mal acceptée par les étudiants qui n'ont aucune idée de ce qu'est l'antimatière. L'existence de ce blocage révèle bien qu'ils comprennent intuitivement qu'il y a là un point très important et qu'ils ne veulent pas le laisser passer sans l'avoir mieux saisi. On reviendra sur cette préoccupation dans le chapitre concernant les explications sur la phénoménologie de la physique des particules.

Notons encore qu'une confusion se produit parfois entre cette production des particules circulant dans les accélérateurs et celle des particules étudiées dans les expériences (issues le plus souvent aujourd'hui de collisions entre des particules accélérées).

²Pour les antiprotons, une technique très performante (appelée "Stochastic Cooling") fut mise au point au CERN par l'équipe du physicien Simon Van Der Meer après que celui-ci en ait eu l'idée.

5.1.3 Accélérateurs linéaire et circulaire

Références: [2], [3], [4]

Résumé explicatif

Il existe deux types principaux d'accélérateurs. Ils peuvent être linéaires ou circulaires. Leur existence simultanée a deux raisons. En premier lieu, on ne sait pas donner une grande quantité d'énergie en une seule fois à une particule et les deux types d'accélérateurs ne permettent pas d'accéder à la même valeur d'énergie (pour deux accélérateurs de taille comparable). Deuxièmement, une particule perd de l'énergie lorsqu'elle est accélérée. Cette perte dépend beaucoup du type de l'accélérateur utilisé.

Aujourd'hui on doit faire atteindre une très haute énergie aux particules pour sonder toujours plus profondément la matière. Mais on ne sait pas donner une grande quantité d'énergie en une seule fois, c'est-à-dire en un seul point d'un accélérateur, à une particule à cause d'une limitation technique. Par conséquent il faut en donner une petite quantité de nombreuses fois pour accéder à l'énergie désirée. La limite en énergie d'un accélérateur linéaire est donc directement proportionnelle à sa longueur finie. Par contre, une particule peut parcourir un très grand nombre de fois le tour d'un accélérateur circulaire et recevoir de l'énergie à chaque tour.

Un accélérateur circulaire ne permet cependant pas d'atteindre une valeur d'énergie infinie. Une particule accélérée dans ce type de machine perd de l'énergie sous la forme de ce que l'on appelle le rayonnement synchrotronique (qui peut être négligé totalement dans une machine linéaire). Cette perte d'énergie par rayonnement synchrotronique est due essentiellement à l'accélération centripète que subissent les particules dans un accélérateur circulaire, accélération qui dépend de la taille de l'accélérateur et de l'énergie de la particule. Plus l'énergie de la particule est grande, ou plus le rayon de courbure de l'accélérateur est petit, plus il faut forcer la particule à courber sa trajectoire naturelle pour la garder dans l'accélérateur.

$$\text{Pertes par rayonnement synchrotronique} \propto \frac{E^4}{R}$$

E = énergie de la particule

R = rayon de l'accélérateur

A chaque tour l'énergie apportée à la particule par l'accélérateur augmente de la même quantité tandis que la particule en perd de plus en plus par rayonnement synchrotronique et ce, justement parce que son énergie augmente. Il arrive donc un moment où le rapport entre la perte et le gain d'énergie devient grand. C'est la limite d'utilisation de l'accélérateur circulaire. Il faut alors injecter la particule dans un accélérateur de rayon plus grand pour minimiser ce rapport, et encore augmenter l'énergie de la particule.

Les points importants à expliquer

- un accélérateur doit faire atteindre une haute valeur d'énergie à une particule
- l'énergie d'une particule est augmentée de nombreuses fois d'une petite quantité car on ne sait pas en donner une grande quantité en une seule fois
- la limite en énergie d'un accélérateur linéaire est proportionnelle à sa longueur
- la limite en énergie d'un accélérateur circulaire est due au rayonnement synchrotronique

La petite quantité d'énergie à donner de nombreuses fois et l'énergie perdue par rayonnement synchrotronique expliquent les dimensions gigantesques des accélérateurs circulaires ou linéaires actuels (LEP: 26 kilomètres de circonférence, SLAC: environ 2 kilomètres de longueur). Ces dimensions doivent toujours être augmentées pour atteindre des énergies plus grandes.

Une explication sur le CERN ne doit cependant pas insister sur la différence entre les machines linéaires et circulaires dans la mesure où le complexe des accélérateurs du CERN repose essentiellement sur des accélérateurs circulaires et n'utilise des machines linéaires que comme préinjecteurs (LINAC 1 ou 2 et LPI).

5.1.4 Injection d'un accélérateur à l'autre

Références: [1]

Résumé explicatif

L'injection des paquets de particules d'un accélérateur au suivant est complexe. Elle s'effectue, le plus souvent, en plusieurs fois et non en bloc. Le nombre des paquets de particules changent entre deux accélérateurs successifs (il y a par exemple 8 paquets d'électrons dans le SPS et 4 dans le LEP). Leur structure change aussi (si les paquets de positons et d'électrons sont stockés en 8 paquets dans EPA, ils sont injectés par moitié dans le PS). Cette injection nécessite des appareillages très sophistiqués comme les "septum électrostatiques" entre l'accumulateur EPA et le PS, comme des aimants spéciaux de courbure, etc...

Les points importants à expliquer

La façon dont se passe l'injection des particules d'un accélérateur au suivant n'est pas développée dans l'explication faite pour le public du niveau vert. Il faudrait entrer dans des détails techniques poussés qui risqueraient de noyer l'idée principale dans un flot d'informations complémentaires.

5.2 La technologie des accélérateurs

Références: [1], [3]

5.2.1 Le tube à vide

Résumé explicatif

Les particules circulent dans un tube où un vide poussé doit être établi. Ce tube est donc nommé le tube à vide. Il faut le vider de toutes les molécules d'air qu'il contient avant que les particules à accélérer y soient injectées. En effet la présence d'air dans le tube où circulent les particules peut avoir des conséquences très néfastes au bon fonctionnement de l'accélérateur. Les particules peuvent rencontrer ces impuretés sur leur trajectoire et subir des chocs qui leur feraient perdre l'énergie qu'elles ont acquise. Le champ électrique accélérateur ne serait alors plus synchronisé avec le passage des particules. Ces chocs peuvent aussi dévier les particules de leur trajectoire sur laquelle on perdrait alors tout contrôle. Dans certains cas ces chocs peuvent tout simplement faire sortir les particules de l'accélérateur et elles seraient alors perdues.

Le vide poussé établi dans l'accélérateur LEP est de 10^{-11} mm de mercure ce qui permet aux particules de circuler sans rencontrer d'impuretés pendant un tiers d'année lumière ce qui correspond à environ 3000 milliards de kilomètres, soit environ 100 milliards de tours du LEP ou encore 20,000 fois la distance terre soleil. Un tel vide est atteint avec tout un système de pompes (primaires et secondaires).

Les points importants à expliquer

- les particules circulent dans un tube à vide
- les conséquences néfastes de la présence d'impuretés sur le fonctionnement de l'accélérateur
- un système de pompes permet d'atteindre un vide très poussé

Le public est intéressé d'apprendre que la seule présence de molécules d'air dans le tube d'un accélérateur perturbe son fonctionnement et qu'au pire elle peut faire sortir les particules du tube à vide. Evidemment l'explication doit se limiter à donner une idée des perturbations possibles. On n'entre absolument pas dans le détail du fonctionnement des différentes pompes à vide.

5.2.2 Les aimants de courbure

Résumé explicatif

Les particules vont naturellement tout droit alors qu'elles doivent suivre la courbure de l'accélérateur circulaire, c'est-à-dire rester dans son tube à vide. Il faut donc leur appliquer une force. Des aimants dipolaires, dits aimants de courbure, sont placés tout au long des parties courbes de l'accélérateur LEP (il y a 3304 aimants principaux de courbure) et créent une force de Lorentz agissant sur les charges électriques en mouvement que sont les particules:

$$\vec{F} = q\vec{v} \wedge \vec{B}$$

F = force de Lorentz

q = charge électrique (positive ou négative) de la particule

v = vitesse de la particule

B = champ magnétique (= 0.11 T à l'énergie maximale de 100 GeV)

Les points importants à expliquer

- il faut courber la trajectoire des particules pour les forcer à rester dans l'accélérateur circulaire
- c'est une force de Lorentz qui agit sur les particules
- ce sont des aimants dipolaires qui créent cette force

Les différents points d'explication que l'on peut donner sur les aimants de courbure d'un accélérateur sont d'un niveau de difficulté très étendu. La force de Lorentz est connue des étudiants du niveau vert et donc aussi l'utilisation d'un champ magnétique créé par un aimant. Par contre le terme dipolaire n'est pas utilisé dans l'explication donnée à ce public car il ne connaît pas la forme du champ magnétique des aimants dipolaires et ne relie pas cette forme à son action.

5.2.3 Les aimants de focalisation

Résumé explicatif

Les particules doivent être regroupées par paquets très denses pour augmenter la probabilité de collision des paquets circulant en sens opposés dans le LEP (par exemple), c'est-à-dire pour obtenir un très grand nombre de collisions dans un temps assez court. Cette très grande densité veut dire deux choses. Premièrement il faut que les paquets contiennent un très grand nombre de particules. Ainsi les paquets du LEP contiennent 12

milliards de positons ou d'électrons). Deuxièmement, il faut aussi que les particules soient très proches les unes des autres dans les paquets qu'elles composent. En effet, malgré le grand nombre de particules dans les paquets, ceux-ci peuvent se croiser, s'interpénétrer sans qu'il y ait collision. Ce deuxième point est ce que l'on appelle la focalisation des faisceaux de particules.

Cette focalisation ne se fait pas naturellement car les particules composant un paquet ont la même charge électrique, c'est-à-dire en particulier de même signe. Elles ont donc tendance à se repousser, à s'écarter les unes des autres. Il faut donc les forcer à rester ensemble, groupées en paquets denses. C'est la tâche des aimants quadripolaires, dits de focalisation, qui sont installés tout au long de l'accélérateur. Il y en a 816 au total dans l'anneau du LEP. Certains d'entre eux (2 par expérience LEP, donc 8 au total) sont supraconducteurs et délivrent un champ magnétique plus intense que les autres (36 Tm^{-1} au lieu de 9.7 Tm^{-1} ou 10.9 Tm^{-1}). Ils sont placés de chaque côté des 4 expériences LEP afin de refocaliser fortement chaque paquet de particules juste avant le point de collision.

Le champ délivré par un aimant quadripolaire a la particularité de focaliser selon un axe et de défocaliser selon l'axe perpendiculaire. Cela veut dire qu'en passant à travers le champ imposé par un seul de ces aimants, un paquet de particules ayant une section circulaire, est "comprimé" horizontalement ou verticalement et la forme de sa section devient donc celle d'un ballon de rugby couché, ou debout. Pour compenser cet effet du champ d'un aimant quadripolaire et pour avoir une focalisation selon les deux axes horizontal et vertical, les aimants de ce type sont couplés par deux, formant ainsi ce que l'on appelle une cellule FODO. On arrive ainsi à maintenir les 12 milliards de positons ou d'électrons dans des paquets qui ont typiquement, dans le LEP, la taille d'une allumette.

Les points importants à expliquer

- il faut que les paquets de particules soient denses pour augmenter la probabilité de collision
- la densité veut dire:
 - un grand nombre de particules dans les paquets
 - des particules très proches les unes des autres dans les paquets
- ce sont les aimants quadripolaires qui permettent la focalisation des paquets

Pour la focalisation des faisceaux, l'explication peut aussi avoir des niveaux très différents. Il est important de dire que les paquets doivent être denses. C'est un exemple concret qui permet au public de se faire une meilleure idée de la "taille" des particules (ou sur la portée de la ou des forces qui interviennent lors des collisions) puisqu'il découvre que deux paquets peuvent se croiser sans entrer en collision. Le terme quadripolaire n'est pas employé car l'action du champ magnétique créé par ce type d'aimant n'est pas connue du public vert. La focalisation n'est donc pas détaillée (focalisation selon un axe et défocalisation selon l'axe perpendiculaire, branchement alterné de ces aimants en cellules FODO). Le point important est le besoin d'une focalisation des faisceaux.

5.2.4 Le système d'accélération

Résumé explicatif

Le système d'accélération a pour but de faire parvenir les particules à l'énergie désirée. C'est une force de Coulomb qui produit cette accélération des particules chargées grâce à l'utilisation d'un champ électrique:

$$\vec{F} = q\vec{E}$$

F = force de Coulomb

q = charge électrique élémentaire (positive ou négative)

E = champ électrique

Le même système d'accélération peut servir pour les électrons et les positons circulant en sens inverse dans le LEP³ (conséquence de la loi de Coulomb). L'accélération est donnée dans les parties droites de l'accélérateur. C'est à ces endroits que sont disposées les 128 unités de cavités formant la structure d'accélération du LEP. Elles sont réparties en 4 groupes principaux de 32 unités. Deux d'entre eux sont placés de part et d'autre de l'expérience L3 et les deux autres de part et d'autre de l'expérience OPAL. La puissance électrique nécessaire à l'accélération est fournie aux cavités par 16 klystrons délivrant chacun 1 MW de puissance nominale.

Le champ électrique d'accélération est un champ haute fréquence (352,21 MHz) synchronisé avec le passage des particules. Cela veut dire qu'il est maximal lors du passage d'une paire de paquets électrons-positons et délivre donc le maximum de puissance au moment nécessaire. L'énergie donnée par une unité de cavités à un électron ou un positon est de 3.1 MeV. Chaque unité est couplée à une cavité sphérique qui sert à stocker, et donc économiser l'énergie lorsque les particules ne sont pas dans cette unité.

Les points importants à expliquer

- le système d'accélération permet d'augmenter l'énergie des particules
- l'accélération repose sur l'utilisation d'un champ électrique (force de Coulomb)
- ce champ électrique est synchronisé avec le moment de passage des paquets de particules

Au niveau vert, l'explication doit insister sur le fait que l'accélération des particules est produite par un champ électrique créé par des cavités qui sont placées dans des sections droites du LEP. Le champ est de plus synchronisé avec le passage des particules.

Cette synchronisation peut poser des problèmes de compréhension car le public du niveau vert pense que l'énergie des particules augmente seulement avec leur "vitesse". Il ne fait pas

³Cela est vrai aussi pour les autres accélérateurs comme le SPS.

un calcul relativiste et ne réalise donc pas que les particules ont une vitesse pratiquement constante dans le LEP. Lorsque l'on parle d'une fréquence constante du champ accélérateur le public se demande comment la synchronisation reste effective.

5.2.5 Comparaison de deux accélérateurs

Références: [5]

Résumé explicatif

La masse des particules accélérées intervient pour beaucoup dans la quantité d'énergie perdue par rayonnement synchrotronique. Cette perte est d'autant plus grande que la masse des particules accélérées est plus petite. Ainsi pour des électrons et des protons relativistes ayant la même impulsion, la perte d'énergie par rayonnement synchrotronique est 10^{13} fois plus petite pour le proton car elle est dans le rapport:

$$\text{Perte par rayonnement synchrotronique} \propto \left(\frac{m_{e^-}}{M_p}\right)^4$$

m_{e^-} = masse de l'électron

M_p = masse du proton (= 2000 fois celle de l'électron)

Les électrons et les positons du LEP ont une petite masse, ils devront donc constamment être réaccélérés pour compenser la "grande" quantité d'énergie perdue. L'appareillage le plus important pour le LEP est donc son système d'accélération. Au contraire la forte masse des protons utilisés dans le futur accélérateur LHC fait que la perte d'énergie par rayonnement synchrotronique sera très faible. Le système accélérateur du LHC n'est donc pas le système le plus important de cette machine.

Pour le LHC ce sont les aimants de courbure qui sont l'appareillage le plus important. Cela vient de la grande masse des protons (pour les électrons-positons du LEP cet élément a donc beaucoup moins d'importance) et de l'énergie que l'on veut leur faire atteindre avec cet accélérateur. Ces deux valeurs impliquent la nécessité d'employer des aimants de courbure supraconducteurs pour pouvoir créer une force très intense.

Si un aimant avait une déficience même minime, le faisceau de protons pourrait être perdu. Il traverserait l'aimant et simultanément y déposerait une quantité d'énergie formidable qui élèverait énormément la température de l'aimant. Or celui-ci doit justement rester à une température extrêmement basse (quelques Kelvins) pour être supraconducteur et générer une grande force. Un tel aimant doit donc être d'une très grande qualité pour qu'un accident semblable ne puisse se produire. Un tel accident s'appelle un "quench". Ce terme signifie que le matériau supraconducteur perd ces propriétés supraconductrices par dépassement de sa température critique, c'est-à-dire la température en dessous de laquelle il doit se trouver pour être supraconducteur.

Les points importants à expliquer

- l'élément technologique principal du LEP est son système d'accélération
- l'élément technologique principal du LHC est son système d'aimants supraconducteurs de courbure

Le LEP et le futur LHC sont d'excellents exemples pour une comparaison sur la technologie des accélérateurs. Cette explication permet de montrer qu'un accélérateur est tributaire de la particule qui y circule.

En donnant cette explication, on découvre que l'emploi d'un aimant supraconducteur pour générer un très haut champ magnétique est facilement accepté. Le public a beaucoup entendu parler de la supraconductivité en 1988 et 1989. Par contre l'explication sur le "quench" doit être plus développée car ce phénomène ne lui est pas familier.

5.2.6 La dynamique des faisceaux

Résumé explicatif

Les faisceaux de particules circulant dans un accélérateur ont une dynamique complexe. Les particules n'y suivent pas une trajectoire circulaire mais plutôt sinusoïdale afin de n'avoir des collisions entre faisceaux qu'aux endroits voulus. Tout un ensemble de corrections est donc à effectuer sur les trajectoires à l'aide d'appareils comme les aimants sextupolaires ou les détecteurs de position à quatre électrodes. Pour agir efficacement sur le faisceau de particules, il faut l'observer, le mesurer. Le profil longitudinal des faisceaux, par exemple, peut être déterminé en enregistrant la lumière synchrotronique émise.

Les faisceaux ont aussi une intensité maximale liée à la charge électrique totale qu'ils transportent et au champ électrique engendré. Lorsque le nombre de particules est très grand ce champ peut perturber suffisamment le champ électrique au point que l'on ne sache plus exactement comment corriger cette perturbation. Le faisceau peut alors être perdu.

Les points importants à expliquer

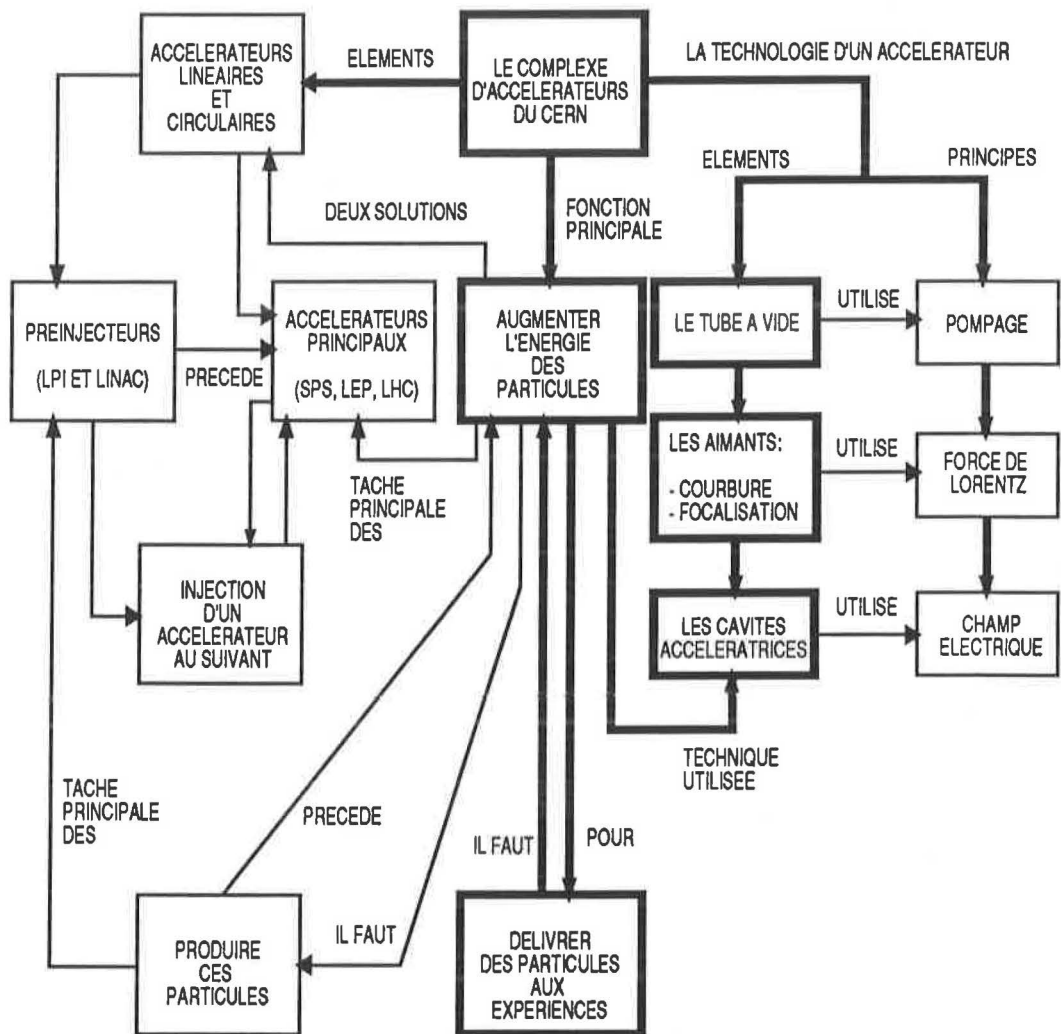
- les paquets de particules ont une trajectoire sinusoïdale
- il existe une intensité maximale des faisceaux de particules

Cette explication sur la dynamique des faisceaux dépasse très certainement le niveau vert du public. Elle n'est donc pas un point primordial à donner dans l'explication. Cependant elle a été relevée car elle apporte un complément intéressant à l'explication générale. Par exemple, l'intensité maximale des faisceaux est liée avec la densité des paquets de particules.

5.3 Résumé de l'explication à donner sur les accélérateurs

Le schéma ci-dessous montre comment les notions principales de l'explication sur les accélérateurs sont reliées entre elles. Les notions et les liaisons primordiales apparaissent en plus gras sur le schéma.

L'EXPLICATION SUR LES ACCELERATEURS



Chapitre 6

EXPLIQUER LES EXPERIENCES DU CERN

6.1 Le choix des expériences

Références: [6], [7]

Il faut couvrir un spectre assez large des expériences du CERN pour montrer l'ensemble des activités de recherche qui y sont menées. Le choix peut être effectué selon les deux critères suivants:

- couvrir des aspects importants du travail mené au CERN
- donner la possibilité d'aller partout sur le site du CERN, c'est-à-dire suivre les particules le long de la chaîne des accélérateurs vers tous les lieux où elles sont utilisées

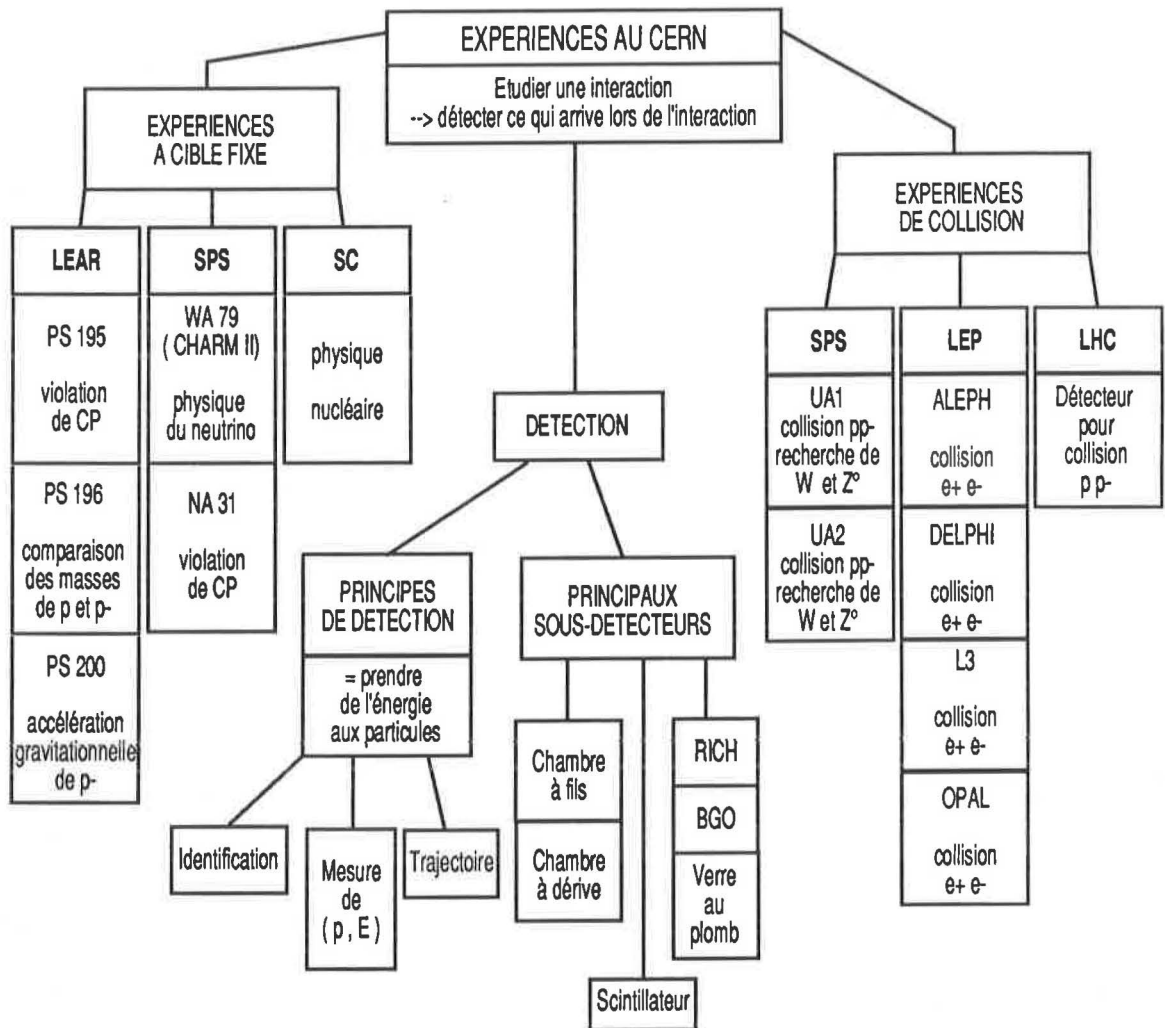
6.1.1 La liste des expériences

- les expériences à cible fixe:
 - PS 195 (violation de CP)
 - NA 31 (violation de CP)
 - PS 196 (comparaison des masses du proton et de l'antiproton)
 - PS 200 (accélération gravitationnelle de l'antiproton)
 - WA 79 (physique du neutrino - mesure de l'angle de Weinberg)
- les expériences de collisionneur:
 - UA1 et UA2 (preuve expérimentale de l'existence des bosons intermédiaires)
 - ALEPH (physique du Z^0)
 - DELPHI (physique du Z^0)

- L3 (physique du Z^0)
- OPAL (physique du Z^0)
- Expériences du LHC (recherche du boson de Higgs?)

6.1.2 Le schéma des expériences

SCHEMA DES EXPERIENCES



6.1.3 PS 195 et NA 31

Références: [8], [9], [10]

Résumé explicatif

La plupart des lois de la physique ne permettent pas de distinguer la droite et la gauche, c'est-à-dire qu'elles restent les mêmes selon ce changement (associé à la symétrie P). Autrement dit, l'image de la physique dans un miroir est encore de la physique. Il en est de même pour la matière et l'antimatière (changement associé à la symétrie C).

Par contre l'interaction faible a des lois qui ne restent pas les mêmes (on dit qu'il y a violation, non invariance ou brisure de P ou de C) si l'on effectue l'un ou l'autre de ces deux changements. Et si on les effectue simultanément (symétrie CP), alors ces lois restent presque les mêmes (CP est un peu violée). La question est dans le presque. Est-il une propriété de l'interaction faible, ou est-il le résultat d'un mécanisme nouveau de physique? Les expériences récentes semblent indiquer que c'est la première solution qui marche. Mais il faut continuer à chercher. C'est ce que font les expériences comme PS 195 et NA 31.

La violation de CP est aussi rattachée au fait qu'il y a plus de matière que d'antimatière dans l'univers. Peu après le "Big Bang", il y a eu couplage des particules de matière et d'antimatière et transformation de ces couples en énergie pure. Mais certaines particules de matière n'ont pas pu "s'accoupler" ainsi puisqu'il y avait plus de matière que d'antimatière. C'est cette matière restante qui constitue tout notre univers. Il ne résulte donc que d'un résidu (1 particule restant pour environ 2×10^9 particules et antiparticules initiales) de toutes les particules et antiparticules nées il y a environ 15 milliards d'années lors du Big Bang.

Les points importants à expliquer

- les lois physiques ne distinguent pas la droite et la gauche (symétrie P conservée)
les lois physiques ne distinguent pas la matière et l'antimatière (symétrie C conservée)
- pourquoi la symétrie CP est-elle faiblement violée?
pourquoi y a-t-il plus de matière que d'antimatière dans l'univers?

Ces deux expériences mènent donc à des thèmes cruciaux de la physique des particules et de notre connaissance du monde: la notion de symétrie, sa conservation ou sa non conservation. Ces points sont très abstraits et ne correspondent pas au niveau du public vert. Une explication sur la violation de la symétrie CP peut être basée sur le fait qu'il y a plus de matière que d'antimatière dans l'univers et sur la conséquence que cela a par rapport à l'histoire de l'univers. Cela est relié aux explications données sur la matière et l'antimatière dans la partie sur la théorie.

6.1.4 PS 196

Résumé explicatif

L'expérience PS 196 compare les masses du proton et de l'antiproton. On pense que ces masses sont égales. Cela est lié à la conservation de la symétrie appelée CPT. Mais il faut vérifier que cela est vrai: il faut vérifier avec une grande précision si CPT est invariant ou non.

Les points importants à expliquer

- la masse d'une particule de matière est-elle la même que celle de la particule correspondante d'antimatière?

L'intérêt de donner une explication sur cette expérience provient de la comparaison des masses d'une particule et de son antiparticule. La technique utilisée par PS 196 est aussi assez formidable: piéger de l'antimatière! Voilà de quoi intéresser le public. Cette expérience permet aussi de donner un aperçu du gros travail à faire sur l'étude de l'antimatière.

6.1.5 PS 200

Références: [11]

Résumé explicatif

Avec PS 200, on aborde les problèmes liés à la gravité (ou à des modèles théoriques sur la supergravité), domaine dont l'étude est loin d'être achevée. Cette expérience veut mesurer comment un antiproton subit la force de gravité. Une mesure de la gravité sur des particules individuelles d'antimatière n'a pas encore été faite et PS 200 se lance dans cette recherche. Cette expérience devrait aussi permettre de tester l'égalité des masses gravitationnelles du proton et de l'antiproton.

Les points importants à expliquer

- la force de gravité est loin d'être connue complètement

Avec PS 200, et aussi presque toutes les autres expériences de LEAR, on peut aussi montrer qu'il existe encore aujourd'hui des collaborations de taille humaine en physique des particules. L'énorme taille des expériences du LEP, par exemple, fascine le public mais le dérange aussi parfois en lui donnant le sentiment qu'il ne peut les appréhender dans leur globalité.

6.1.6 WA 79

Résumé explicatif

L'expérience WA 79 (encore appelée CHARM 2) a pour but de mesurer très précisément l'angle de Weinberg, un paramètre important de l'interaction électrofaible. Le processus physique utilisé pour cette mesure est très bien connu physiquement. Cette mesure est donc uniquement un problème expérimental.

WA 79 utilise un faisceau des neutrinos et c'est l'analyse des interactions de ces neutrinos avec les couches du détecteur qui doit permettre de déterminer l'angle de Weinberg. Le problème expérimental vient des propriétés du neutrino, comme celle de pouvoir traverser une planète entière (ou les multiples plaques de marbre du détecteur CHARM 2) sans même ressentir un léger "chatouillement" (ou en interagissant très rarement). Les neutrinos sont des particules très difficiles à détecter car ils ont une probabilité d'interaction très faible.

Les points importants à expliquer

- la difficulté des expériences liée au phénomène étudié
- les propriétés du neutrino (sa probabilité d'interaction est très faible)

On peut profiter ici des propriétés du neutrino pour surprendre le public du niveau vert. Cette particule peut traverser des quantités phénoménales de matière sans interagir avec elle. Cela peut faire comprendre l'intensité de la force faible que subissent les neutrinos.

6.1.7 UA1 et UA2

Références: [12]

Résumé explicatif

C'est au cours des années 1960 et 1970 que le modèle théorique standard de la physique des particules a été élaboré. Il contient en particulier la théorie de Glashow, Salam et Weinberg qui unifie les deux interactions électromagnétique et faible dans ce que l'on appelle maintenant l'interaction électrofaible. Un test crucial de l'ensemble du modèle standard résidait dans la mise en évidence des particules messagères de l'interaction faible: les bosons intermédiaires W^+ , W^- et Z^0 .

Les expériences UA1 et UA2 ont fait cette vérification expérimentale de l'existence des bosons intermédiaires W et Z en 1983 (UA1 y est arrivé en premier). UA1 en particulier a donc engendré des retombées très importantes sur le CERN en marquant une des étapes fondamentales de son histoire.

Cette première mesure des bosons intermédiaires a fait connaître assez précisément leur masse pour permettre une étude détaillée de ces bosons avec la machine LEP. UA1 est en quelque sorte la clé qui a permis cette étude détaillée puisqu'elle a rendu possible la production de ces bosons (le Z^0 pour l'instant) en très grandes quantités.

Les points importants à expliquer

- UA1 et UA2 ont vérifié expérimentalement l'existence des bosons intermédiaires W^+ , W^- et Z^0
- UA1 et UA2 ont trouvé expérimentalement la masse de ces bosons et ont ainsi rendu possible leur étude détaillée avec la machine LEP
- UA1 est une expérience marquante dans l'histoire du CERN

Il ne faut pas se lancer pas dans une description des deux détecteurs et de leurs possibilités techniques. C'est certainement l'aspect historique marquant pour le CERN sur lequel il faut insister avec ces deux expériences, et en particulier avec UA1. Cela permet aussi de montrer une continuité dans le travail de recherche poursuivi en physique des hautes énergies. Au contraire le public aurait tendance à penser qu'une telle continuité n'existe pas.

Pour vraiment faire comprendre l'enchaînement logique, la continuité existant dans la recherche en physique des particules, avec l'exemple de UA1, UA2 et du LEP, il faut insister sur le fait que la masse du Z^0 doit être connue précisément pour adapter l'énergie des faisceaux du LEP à la création d'un grand nombre de Z^0 .

6.1.8 Les expériences du LEP

Références: [13], [14], [15]

Résumé explicatif

Le long de l'accélérateur LEP quatre expériences sont implantées: ALEPH, DELPHI, L3 et OPAL. Le but de ces quatre expériences est globalement le même, c'est l'étude détaillée de la physique du Z^0 . La machine LEP permet en effet cette étude poussée en produisant environ 10,000 de ces particules (les physiciens utilisent le terme de résonance pour cette sorte de particule) par jour. Ce grand nombre a déjà permis d'accéder à une foule de résultats importants: la connaissance très précise de la masse moyenne du Z^0 , la largeur

de cette résonance dont on a déduit le nombre exact de famille de particules (il y en a 3), repousser les limites de notre connaissance sur le quark top (dont on n'a pas encore confirmé expérimentalement l'existence) ou sur le boson de Higgs, par exemple.

Il ne s'agit cependant pas de faire quatre fois la même chose. Chacun des quatre détecteurs a une spécificité qui permet une mesure très précise plus particulière sur les particules produites par les collisions d'électrons et de positons du LEP. Cela permet aussi d'améliorer une technique de mesure ou de détection. Le détecteur d'ALEPH identifie et localise très précisément les électrons, photons et muons grâce à sa chambre à vertex. Celui de DELPHI utilise à grande échelle la technique de l'effet Cerenkov pour mesurer la masse des particules chargées. Les cristaux de BGO¹ du calorimètre électromagnétique de L3 donnent une mesure extrêmement précise de l'énergie des électrons, photons et muons. OPAL a un détecteur plus conventionnel qui donne une mesure très précise de la trajectoire des particules chargées.

Les points importants à expliquer

- il y a quatre expériences connectées à l'accélérateur LEP (ALEPH, DELPHI, L3 et OPAL)
- ces expériences ont déjà donné des résultats importants:
 - détermination précise de la masse du Z^0
 - détermination précise du nombre de familles de particules
- elles repoussent les limites de notre connaissance:
 - pour le quark top
 - pour le boson de Higgs
- les quatre expériences ne font pas le même travail:
 - les détecteurs sont différents, ils n'utilisent pas les mêmes techniques
 - les mesures effectuées ne sont pas les mêmes
 - les précisions obtenues ne sont pas les mêmes

Avec les quatre expériences du LEP on peut très bien montrer le travail complémentaire de différentes expériences faisant une recherche sur un même sujet. La structure en couches très visible de ces détecteurs peut aussi permettre de faire comprendre qu'il faut beaucoup d'informations différentes pour connaître exactement les particules issues d'une collision (voir paragraphe *La détection des particules*).

¹BGO = Bismuth Germanate Oxyde; c'est un matériau spécial.

6.1.9 Les expériences du LHC

Références: [5], [16], [17]

Résumé explicatif

Le modèle standard rend compte de nombreux phénomènes mais on pense qu'il est incomplet: le boson de Higgs a justement été conçu pour combler cette lacune. Quand on suppose qu'il existe, le modèle théorique devient mathématiquement cohérent et s'applique à des niveaux d'énergie extrêmement élevés. De plus on pense que le boson de Higgs est à l'origine de la masse de toutes les particules élémentaires qui l'engloutiraient pour acquérir une masse. La masse des particules proviendrait de leur couplage, et dépendrait de l'intensité de ce couplage, avec le champ de Higgs transporté par le boson de Higgs.

Aujourd'hui l'existence de ce boson de Higgs (et du champ qu'il transporte), n'a pas encore été prouvée expérimentalement car on n'a pas encore pu atteindre les niveaux d'énergie extrêmement élevés auxquels il s'applique. Avec le nouvel accélérateur LHC, qui devrait être installé dans le tunnel du LEP, cette limite devrait être franchie. Le boson de Higgs pourrait alors être créé et on pourrait étudier la façon dont il intervient dans la création de la masse des particules.

Les points importants à expliquer

- la notion de masse n'est pas complètement expliquée
- le boson de Higgs existe-t-il? Comment agit-il?
- le LHC devrait permettre de mieux comprendre pourquoi les particules ont une masse et comment elles l'acquièrent

En ce qui concerne les expériences "attachées" au LHC, il faut sans doute attendre encore un peu avant de pouvoir dire précisément quel point en serait retenu pour être présenté au public. Néanmoins la recherche du boson de Higgs et sa liaison avec la notion de masse est certainement un candidat pour cette partie explicative.

Cette explication montrerait aussi au public que la physique des particules permet de mieux connaître l'histoire de l'univers puisque l'on pense que l'énergie nécessaire à l'application du champ de Higgs correspond à 10^{-12} seconde après le "Big Bang".

6.2 Généralités sur les expériences

6.2.1 Le principe de fonctionnement d'une expérience

Résumé explicatif

Précisons d'abord les termes employés car il ne faut pas confondre expérience et détecteur. Une expérience a pour but d'augmenter nos connaissances du monde microscopique. Elle comprend donc aussi bien l'accélérateur amenant les particules nécessaires à l'énergie voulue que le détecteur servant à l'enregistrement des événements de physique produits.

Ces événements peuvent être créés de deux façons (voir le paragraphe suivant *Expériences à cible fixe et "à collisionneur"*). Mais ils se concrétisent très souvent, pas toujours², par la création de particules que l'on enregistre et mesure avec un détecteur. Celui-ci permet justement de reconstruire les événements, c'est-à-dire de visualiser ce qui s'est passé, puis de les analyser. De cette analyse ressortent des connaissances nouvelles, qu'il faut alors insérer dans la théorie, ou des confirmations des prédictions de la théorie (elles peuvent aussi être infirmées). Les travaux expérimentaux et théoriques sont donc toujours très complémentaires.

Si le but d'une expérience nécessite la création de matière, le rôle de l'accélérateur dans l'expérience est de créer les conditions nécessaires à cette création de matière. Il doit donc augmenter l'énergie des particules, qui vont être impliquées dans ce processus, afin que de l'énergie soit à disposition en quantité suffisante pour se transformer en masse, c'est-à-dire en matière. Il faut donc au moins autant d'énergie disponible que la masse que l'on veut créer. C'est le principe d'équivalence entre masse et énergie qui intervient ici:

$$E_0 = m \times c^2,$$

E = Energie

m = masse

c = vitesse de la lumière

Admettons que l'on veuille créer une particule particulière, le Z^0 par exemple. Si l'on dépasse la valeur d'énergie correspondant à sa masse, on le créera encore. Cependant dans ce cas, le Z^0 , sera très difficile à reconnaître car il sera noyé parmi beaucoup d'autres particules différentes. Le Z^0 est ce que l'on appelle une résonance. Il faut se placer à la résonance, c'est-à-dire à sa masse exacte, pour ne créer que lui.

²Il n'y a par exemple pas de création de matière dans des expériences de diffusion élastique où une particule interagit avec une autre dans une cible, et est seulement déviée de sa trajectoire initiale. Cependant les particules envoyées dans la cible sont bien souvent issues d'un processus de création de matière (diffusion inélastique d'un proton).

Les points importants à expliquer

- une expérience peut engendrer de nouvelles connaissances, confirmer ou infirmer une prédiction théorique
- une expérience utilise conjointement:
 - un accélérateur pour créer de la matière
 - un détecteur pour enregistrer la matière créée
- une expérience a souvent pour but:
 - de créer les conditions nécessaires à la création de particules
 - d'analyser les processus intervenant dans cette création de matière
 - d'analyser la matière créée dans le détail

Pour résumer les problèmes de compréhension que posent les explications sur les expériences, on peut dire qu'ils proviennent du fait que le public y est plongé très profondément et très rapidement dans les méandres de la mécanique quantique, de la relativité, des interactions entre matière et rayonnement. Tous ces sujets et les termes techniques qui s'y rattachent s'interpénètrent et le public s'y perd.

Pour la notion de résonance, par exemple, le public du niveau vert comprend qu'il faut atteindre une certaine valeur d'énergie pour créer une particule de même masse. Mais il ne saisit pas le problème qui se pose lorsque l'on dépasse cette valeur.

Il ne saisit donc pas forcément la finalité d'une expérience de physique des particules. Que mesure-t-on? Pourquoi étudier une particule plutôt qu'une autre? Allez vous découvrir une nouvelle particule? Voilà le type des questions qui reviennent constamment.

6.2.2 Expériences à cible fixe et "à collisionneur"

Références: [3]

Résumé explicatif

Il faut distinguer les expériences à cible fixe et celles rattachées à un collisionneur. Cette distinction repose sur les deux formules donnant l'énergie disponible pour la physique dans ces deux types d'expérience:

$$\text{cible fixe: } E_{\text{disponible}} \propto (E_{\text{faisceau}})^{\frac{1}{2}}$$

$$\text{collisionneur: } E_{\text{disponible}} = 2 \times (E_{\text{faisceau}})$$

E = énergie

On voit ainsi qu'un accélérateur peut délivrer des particules de plusieurs manières à une expérience et que la façon d'utiliser un accélérateur est aussi importante que son énergie nominale. Pour une même valeur de celle-ci, l'énergie disponible dans une expérience à cible fixe est bien moins importante que celle disponible dans une expérience "à collisionneur". On découvre donc tout l'intérêt de ce deuxième type d'expérience lorsque l'énergie disponible pour la physique doit être la plus élevée possible.

Les points importants à expliquer

- il y a deux types principaux d'expériences:
 - les expériences à cible fixe
 - les expériences "à collisionneur"
- la principale différence entre ces deux types d'expérience est que l'énergie disponible pour la physique n'est pas du tout la même

La raison principale de cette distinction, la grande différence en énergie disponible pour la physique, doit absolument être mentionnée si l'on veut établir une explication concernant ces deux types d'expérience. Dans le cas contraire, ce n'est pas la peine de le faire.

6.3 La détection des particules

Références: [18]

6.3.1 Le principe de détection

Résumé explicatif

Un détecteur est constitué d'un ou de plusieurs matériaux. En traversant le détecteur, une particule lui donne un peu de son énergie en interagissant avec les composants du matériau. Cette fraction d'énergie représente de l'information acquise sur la particule et est convertie en un signal électrique afin de pouvoir diriger cette information vers un ordinateur ayant pour tâche de la gérer rapidement et de centraliser toutes les informations recueillies. C'est le principe de la détection: faire traverser un matériau à une particule pour qu'elle y interagisse, donc y perde de l'énergie que l'on peut recueillir.

La détection est d'une grande difficulté. Enlever cette fraction d'énergie à la particule est évidemment nécessaire. Si on ne lui en enlève pas, on ne la détecte pas. Mais, en même temps cette action perturbe la particule, la fait changer. Autrement dit la difficulté réside dans le fait qu'il faut enlever assez d'énergie à la particule mais pas trop.

Cela est d'autant plus important qu'il n'existe pas de détecteur universel permettant de tout savoir de la particule en une seule mesure. Il faut donc effectuer plusieurs mesures successives en utilisant plusieurs détecteurs différents qui vont chacun enlever une fraction d'énergie à la particule. Il ne faut donc pas enlever trop d'énergie à chaque fois. En enlever trop veut dire perturber ou empêcher la mesure suivante et donc ne pas arriver à tout savoir de la particule!

Les points importants à expliquer

- une particule interagit avec les particules constituant un matériau en le traversant. Cette interaction lui fait perdre de l'énergie qui donne donc un renseignement sur la particule
- la détection est perturbative puisqu'elle est basée sur le principe d'enlever quelque chose, de l'énergie, à l'objet observé
- l'énergie perdue par la particule dans le matériau est convertie en un signal électrique envoyé à un ordinateur qui centralise toutes les informations issues du détecteur

Les points à expliquer sur la détection des particules et sur les principaux sous-détecteurs sont très importants. Cependant cette explication n'est pas facile à établir pour le public du niveau vert car elle fait intervenir la notion d'interaction qui, on l'a vu, ne fait pas du tout partie des conceptions du public de ce niveau.

6.3.2 La tâche du détecteur

Résumé explicatif

La tâche d'un détecteur est d'arriver à tout savoir des particules étudiées dans une expérience. Pour qu'une particule soit entièrement identifiée par le détecteur, celui-ci doit pouvoir donner les informations suivantes:

- la trajectoire de la particule
- l'instant de son passage
- son énergie
- sa masse
- sa charge électrique

Mais il n'y a pas de détecteur universel car deux particules différentes n'interagissent pas de la même manière dans un même matériau et deux matériaux différents ne "répondent" pas de la même façon au passage de la même particule. Un détecteur est donc constitué de différents sous-détecteurs, généralement répartis en couches, qui vont chacun enregistrer une information différente (ou permettre de la retrouver facilement). Chacun a donc une tâche spécifique suivant ses propriétés (précision de la réponse, rapidité de la réponse, etc...) et c'est en recombinaison toutes les informations ainsi recueillies que l'on arrive à tout savoir des particules.

Les points importants à expliquer

- le détecteur doit collecter une foule d'informations différentes sur les particules qui le traversent pour arriver à tout en connaître
- il n'y a pas de détecteur universel, c'est-à-dire capable de donner toutes les informations utiles en une seule fois
- un détecteur est constitué de plusieurs sous-détecteurs spécialisés dans la collection d'une information particulière
- c'est en mettant ensemble toutes les informations recueillies que l'on connaît tout des particules

Il ne faut pas essayer, dans une explication simple, de relier la tâche de chacun des sous-détecteurs avec le type de matériau qui le constitue. Il ne faut pas non plus mentionner la propriété de la particule qui intervient dans sa détection. Cela demande en effet de s'adresser à un public beaucoup plus averti qui connaît déjà bien les différents types d'interaction et les propriétés des particules.

6.3.3 Corrélation des informations du détecteur

Résumé explicatif

C'est la structure en couches des détecteurs qui permet de corréler les différents renseignements des différentes couches. Ainsi l'obtention d'un signal dans l'un des canaux du calorimètre électromagnétique permet une mesure d'énergie mais elle renseigne aussi sur le type de la particule suivant qu'un signal est obtenu ou non dans le canal correspondant du sous-détecteur suivant. Cette structure permet ainsi de distinguer des événements comme:

$$\begin{aligned}e^+e^- &\rightarrow e^+e^- \\e^+e^- &\rightarrow e^+e^-\gamma \\e^+e^- &\rightarrow \mu^+\mu^-\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}e^- &= \text{électron} \\e^+ &= \text{positon} \\\gamma &= \text{photon} \\\mu^- &= \text{muon négatif} \\\mu^+ &= \text{muon positif}\end{aligned}$$

De même l'obtention, au même instant, de deux signaux dans deux canaux symétriques des chambres à fils centrales puis dans le calorimètre électromagnétique permet de vérifier la conservation de l'impulsion lors d'un événement comme

$$e^+e^- \rightarrow e^+e^-$$

alors qu'une réponse décalée dans le temps permet d'identifier, par exemple, un rayon cosmique traversant de part en part le détecteur sans émaner de son centre.

Les points importants à expliquer

- la corrélation des différentes informations du détecteur permet de:
 - reconstruire complètement chaque événement
 - distinguer les différents types d'événements
 - distinguer les événements parasites des événements que l'on veut étudier

Pour une explication sur les détecteurs, le plus difficile est de donner cette idée de la façon dont sont utilisées les informations recueillies. Cependant les images de reconstruction d'événements en trois dimensions ont un grand impact auprès du public. On peut alors s'en servir pour montrer le rôle des différentes couches d'un détecteur. L'exemple du rayon cosmique qui n'émane pas du centre du détecteur fonctionne bien pour cela.

6.3.4 Le tri sur les événements

Résumé explicatif

Les événements, issus de collisions successives du même type, ne se ressemblent pas et peuvent, en fait, faire intervenir des processus complètement différents. Ainsi deux collisions successives e^+e^- au LEP ne créent pas toujours un Z^0 . Il y a présence d'un bruit de fond électromagnétique avec création d'un photon virtuel.

Il faut donc trier les événements avant de se lancer dans une analyse qui doit déboucher sur des résultats expérimentaux concernant un type d'événements bien précis. Cela est fait en partie automatiquement lors de l'acquisition des événements grâce aux méthodes de trigger qui disent si un événement correspond à ce que l'on veut étudier ou non, et donc s'il faut l'enregistrer définitivement ou pas. C'est ce que l'on appelle l'analyse ON LINE, c'est-à-dire en direct. Elle est suivie de l'analyse OFF LINE qui débute lorsqu'un grand nombre d'événements a été enregistré. Toutes les phases de tri permettent donc de sélectionner des événements paraissant semblables et pourtant différents. Ainsi quelqu'un qui veut analyser des événements $e^+e^- \rightarrow e^+e^-$, ne voudra pas analyser en même temps des événements du type de ceux ci-dessous où les leptons τ se désintègrent en e^+ et e^- .

$$e^+e^- \rightarrow \tau^+\tau^-$$

τ^- = particule tau négative

τ^+ = particule tau positive

Les points importants à expliquer

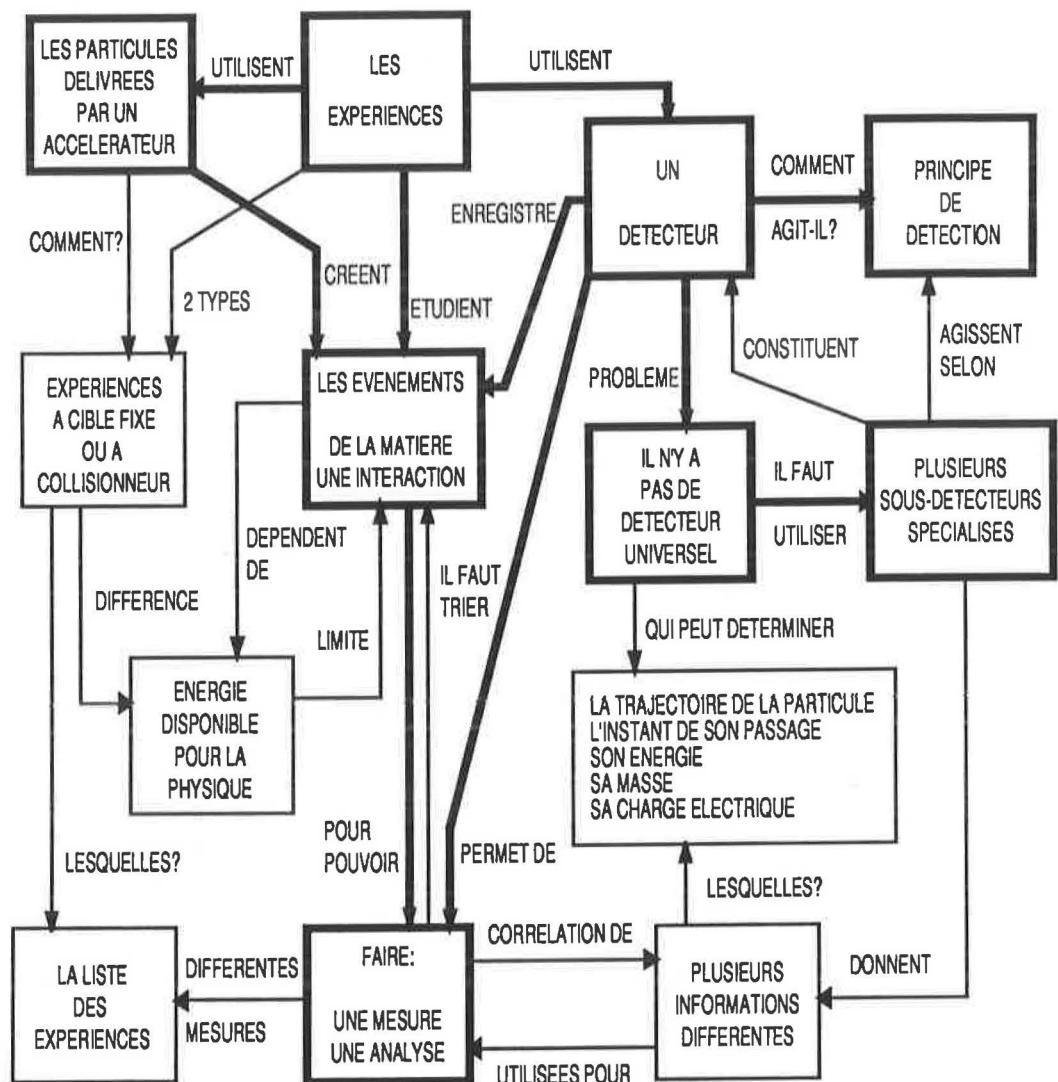
- les événements successifs, créés de la même façon, ne sont pas tous les mêmes
- l'étude menée doit être faite sur des événements similaires
- il faut faire un tri des événements que le détecteur enregistre car ils ne correspondent pas tous à l'étude menée

Le tri opéré sur les événements apparaît souvent au public comme une tricherie. Au pire il croit que ce tri permet de jeter les événements qui ne vérifient pas ce à quoi on s'attend. Cette réaction s'explique par le fait que le public n'a pas de notion, par exemple, des différentes voies possibles de désintégration d'une particule. Pour lui ce tri ne se justifie donc pas puisqu'il n'a pas de raison d'être. Tous les événements créés de la même façon doivent être exactement identiques. De plus cette réaction est aussi très naturelle si l'on vient d'expliquer en long, en large et en travers que le LEP a été spécialement construit pour arriver à l'énergie nécessaire pour créer ce Z^0 et que tout à coup on laisse entendre que parfois autre chose se produit!

6.4 Résumé de l'explication à donner sur les expériences

Le schéma ci-dessous montre comment les notions principales de l'explication sur les expériences sont reliées entre elles. Les notions et les liaisons primordiales apparaissent en plus gras sur le schéma.

L'EXPLICATION SUR LES EXPERIENCES



Chapitre 7

EXPLIQUER LA THEORIE DE LA PHYSIQUE DES PARTICULES

7.1 L'explication en général

7.1.1 Les deux parties principales

L'explication sur la théorie¹ se décompose en deux parties principales:

- la théorie de la physique des particules repose sur le modèle standard qui décrit aussi bien les particules élémentaires que les forces fondamentales agissant entre ces particules
- des connaissances théoriques extérieures à ce modèle standard sont nécessaires au spécialiste de la physique des particules:
 - la relativité
 - la mécanique quantique

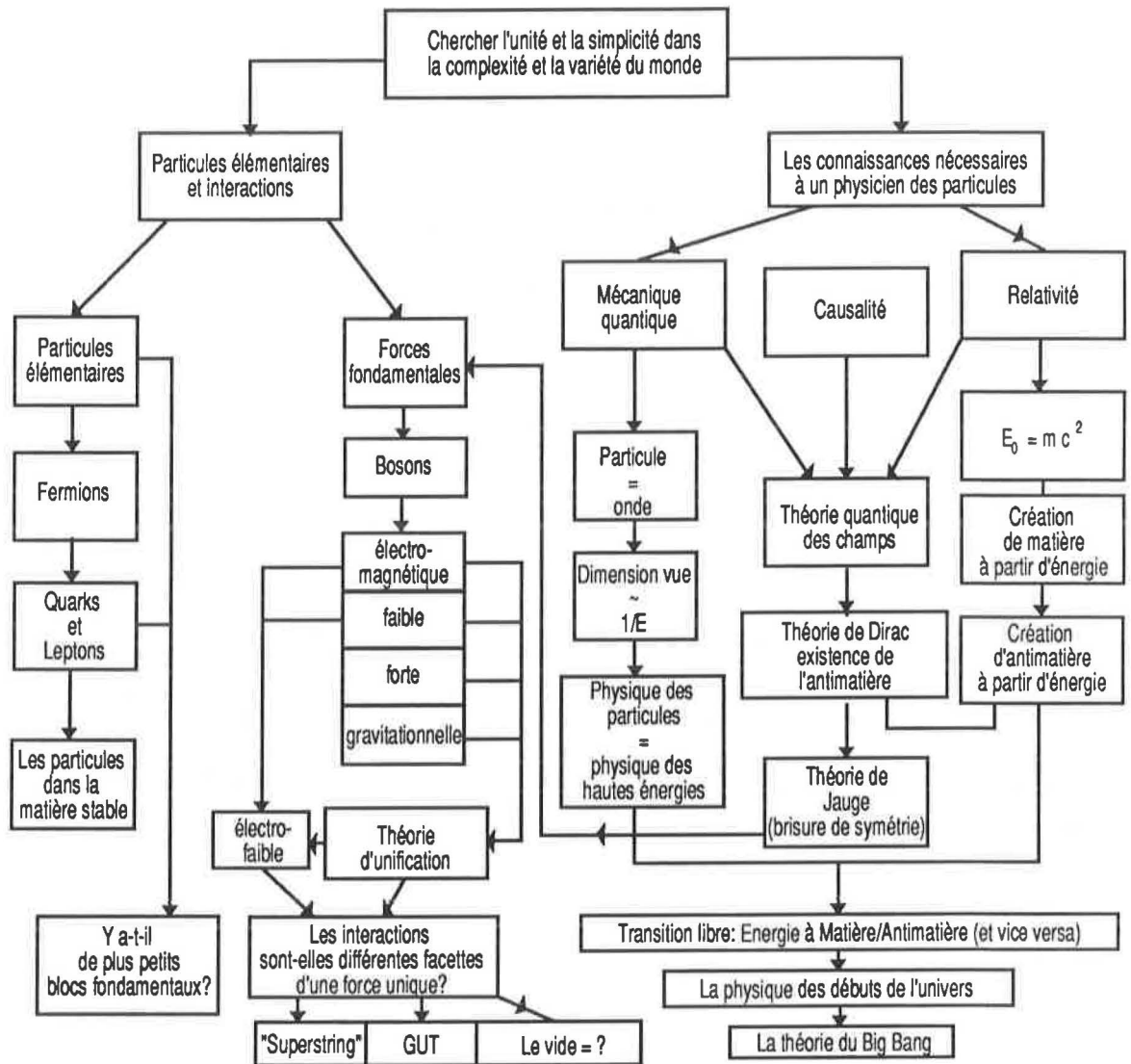
Certains concepts théoriques sont effectivement nécessaires pour pouvoir comprendre la physique de "l'infiniment petit" et le modèle standard qui la décrit. Ces concepts doivent être inclus dans l'explication.

Les explications à apporter sur la phénoménologie de la physique des particules demandent un soin particulier pour être établies clairement car c'est à leur sujet que le public a le moins de points de repère. Un premier schéma, donné ci-dessous, décrit de façon assez complète l'ensemble des notions relatives à la théorie. Un autre schéma, donné en fin de chapitre, décrit les notions principales organisées autour de l'idée de création de matière. C'est sur ce deuxième schéma que repose une explication plus abordable pour un public non spécialiste.

¹Le terme *théorie* est toujours employé ici, pour simplifier, à la place de l'expression *Phénoménologie de la physique des particules*.

7.1.2 Le schéma de la théorie

SCHEMA DE LA THEORIE



7.1.3 La création de matière

Références: [19], [20], [21], [22], [23], [24]

Résumé explicatif

Le but des centres de recherche comme le CERN est l'étude des constituants fondamentaux de la matière et de leurs interactions. Mais ces constituants ne sont pas accessibles directement à une mesure expérimentale car ils n'existent que sous des conditions particulières, en particulier à de hautes énergies². Ainsi la matière usuelle, celle qui nous environne, n'est constituée que de quarks u, de quarks d et d'électrons. Pourtant ces différentes particules élémentaires ne représentent pas toutes celles qui existent; il y a par exemple six quarks au total. Il faut donc véritablement créer les conditions particulières à la "révélation" des autres particules pour pouvoir les étudier. Autrement dit l'étude de la physique des particules nécessite la création de matière.

Il en est de même pour l'étude d'une interaction. Elle ne pourra être faite précisément que si un certain type de particules est créé au préalable. Ainsi les Z^0 créés avec l'accélérateur LEP permettent en particulier une étude précise de l'interaction électrofaible. L'étude des interactions entre les constituants de la matière passe donc aussi par la création de matière.

Mais d'où viennent ces nouvelles particules, comment fonctionne ce processus de création de matière? Pour accéder aux conditions particulières nécessaires à cette création de matière, il faut arriver à une haute énergie. Dans le cas des expériences "à collisionneur", une particule et sa particule d'antimatière associée sont projetées l'une contre l'autre. Dans l'accélérateur LEP, par exemple, un électron et un positon entrent en collision lorsque leur énergie a été fortement augmentée. Lors de la collision, la particule et l'antiparticule s'annihilent, elles se transforment en énergie pure qui se transforme alors elle-même de nouveau en matière. En "appliquant" ainsi deux fois de suite le principe d'équivalence entre matière et énergie ($E_0 = mc^2$), on obtient donc des nouvelles particules et antiparticules, souvent différentes de celles utilisées dans la collision.

On peut aussi faire intervenir la notion de vide dans le processus de création de matière. En physique le terme vide ne sous-entend pas quelque chose où il n'y a rien. Il représente la matière à son niveau d'énergie le plus bas, c'est-à-dire un grand nombre de couples de particules et d'antiparticules qui seraient présents tout autour de nous mais "invisibles" car n'intervenant pas. La présence d'une forte quantité d'énergie, obtenue par exemple lors de l'annihilation d'un électron et d'un positon, perturbe le vide qui se comporte alors comme une source de nouvelles particules et antiparticules. Tout se passe comme si le monde était plongé dans un océan de fruits, cachés par les feuilles d'un arbre que l'on ne voit pas. En secouant l'arbre, les fruits apparaîtraient en tombant.

² On peut faire ici la même remarque qu'au chapitre 5. La recherche d'une énergie toujours plus grande n'est pas forcément nécessaire. Ainsi les expériences de LEAR utilisent des faisceaux de particules de basse ou moyenne énergie.

Les points importants à expliquer

- pour faire une expérience de physique des particules, il faut d'abord créer de la matière avant de pouvoir:
 - étudier cette matière
 - étudier les interactions de cette matière
- pour créer de la matière, il faut accéder à de hautes valeurs d'énergie
- la création de matière repose sur:
 - le principe d'équivalence entre matière et énergie
 - la notion du vide qui agit comme une source de particules

Il semble que ce processus de création de matière peut servir de point central dans une explication sur les idées théoriques de la physique des hautes énergies³. C'est là qu'est toute la magie de la physique des particules: dans la transformation d'énergie en matière et de matière en énergie. C'est aussi le véritable point clé pour une explication sur les activités du CERN. Tout est effectivement fait pour que, en certains points du site du CERN, des collisions se produisent et créent de la matière qui peut alors être étudiée. Ce processus permet donc aussi une jonction entre les chapitres concernant la théorie et les accélérateurs.

Il faut par contre faire très attention au vocabulaire employé dans cette explication. Les termes de vocabulaire employés communément par les physiciens pour ce processus sont trompeurs pour le public. Il y a d'abord celui d'antimatière qui bloque le public. Vient ensuite celui d'annihilation qui ne fait que rendre les choses encore plus incompréhensibles. Pour les littéraires, ou plus généralement pour ceux qui connaissent l'étymologie de ce terme, il y a une contradiction entre le fait que deux particules s'annihilent et que cela permette finalement la création de matière.

Cela se complique encore lorsqu'il apparaît au public que cette matière est "extraite" du vide. La compréhension usuelle du vide est effectivement l'absence de quoi que ce soit. Aussi le fait que des particules et des antiparticules puissent en émerger semble abracadabrants. L'image de l'arbre et des fruits cachés, puis révélés, semble fonctionner sur ce point.

Un déclic s'opère souvent chez le public lorsqu'il s'aperçoit que le moyen d'action mis en oeuvre dans des centres de recherche comme le CERN est justement la création des conditions particulières à la "révélation" des autres particules que celles existant dans la matière de notre univers actuel. La création de matière doit être montrée comme un mini "Big Bang" qui permet de se replonger en des temps assez proches des premiers instants de l'univers et donc de mieux comprendre ce qui s'y est passé. Un deuxième déclic se produit si le public réalise le fait que l'étude de la physique de "l'infiniment petit" favorise la compréhension de "l'infiniment grand".

³Il est d'ailleurs curieux de constater que le détail de ce processus est toujours absent des films de CSP sur la physique des particules.

7.1.4 Découvrir la simplicité du monde microscopique

Résumé explicatif

Le monde macroscopique est complexe par sa grande diversité. Il a de nombreux "constituants" très différents qui interagissent de façons très différentes. La grande variété des "constituants" se retrouve dans leur classification en nombreuses catégories, classes, espèces comme les végétaux, les animaux, les liquides, les métaux, etc... La grande diversité d'interactions possibles entre ces "constituants" se retrouve dans la mise en jeu de processus qui ne semblent pas pouvoir être rapprochés par la façon dont ils agissent. Ainsi l'espèce humaine, par exemple, a cinq sens pour appréhender le monde qui l'environne et ces cinq sens sont très peu semblables.

Au contraire le monde microscopique est simple dans la mesure où il n'y a que quelques particules élémentaires à partir desquelles on peut reconstituer tout ce qui nous entoure⁴ à quelque niveau d'énergie que ce soit.

Le monde microscopique est simple aussi parce que les différentes interactions fondamentales possibles entre les constituants élémentaires se passent selon le même principe: la force est transmise par l'échange d'une particule messagère⁵. De plus l'idée d'unification des forces va aussi dans le sens d'une description encore plus simple du monde microscopique (voir paragraphe *Le modèle standard*).

Les points importants à expliquer

- le monde macroscopique est complexe car:
 - il a un grand nombre de "constituants" différents
 - ces "constituants" interagissent de façons très différentes
- le monde microscopique est simple car:
 - il n'y que très peu de constituants élémentaires
 - les forces agissant entre ces constituants sont transmises par une particule messagère

Cette idée de simplicité est liée au but de la recherche en physique des particules: expliquer la façon dont la matière est constituée avec le moins d'éléments fondamentaux possibles. Par contre la découverte de cette simplicité passe par une écriture mathématique complexe, par l'emploi de concepts très abstraits, par l'utilisation de machines gigantesques. Dans une explication, il faut donc être très clair sur ce que l'on entend par simplicité.

Globalement le message à faire passer est que la recherche en physique des particules a pour but de trouver les éléments fondamentaux de la matière et de comprendre la façon dont ils interagissent. Cette recherche met en évidence la simplicité et l'unité du monde microscopique.

⁴En fait toutes ces particules élémentaires n'interviennent pas dans cette construction. Seuls les quarks u et d et les électrons sont présents dans la matière sous les conditions "habituelles" d'énergie. Des neutrinos sont aussi présents mais ils n'interviennent pas de la même façon dans la matière.

⁵Cela reste à prouver pour l'interaction gravitationnelle.

7.2 Des notions théoriques nécessaires

Il faut être très drastique pour l'explication à apporter à un public non averti sur les notions théoriques nécessaires à la physique des particules. Cette sélection élimine complètement la colonne du milieu du schéma de la théorie donné plus haut (colonne entre mécanique quantique et relativité). En effet la théorie quantique des champs, reposant sur le principe de causalité allié à la mécanique quantique et à la relativité, se place au niveau noir, comme la théorie de jauge. De plus pour la mécanique quantique et la relativité les points à expliquer ont été sélectionnés pour être connectés directement au message principal.

7.2.1 La mécanique quantique

Références: [25], [26], [27], [28], [29]

Résumé explicatif

L'expression "physique des hautes énergies" demande une explication. En effet pourquoi la physique des particules est-elle souvent dénommée ainsi? Autrement dit, pourquoi faut-il accéder à un domaine d'énergie très élevée pour étudier le monde à une échelle très petite? Pourquoi faut-il se servir de si énormes accélérateurs pour étudier de si petites particules? La réponse à ces questions vient de l'un des aspects fondamentaux de la mécanique quantique: la dualité onde-corpuscule.

Une particule n'est ni une onde ni une corpuscule⁶. Elle est les deux à la fois. Parfois elle montre son aspect corpusculaire et parfois son aspect ondulatoire. Le premier est celui directement issu de notre expérience du monde macroscopique. Le second a été révélé dans des expériences historiques, celle de Davisson et Germer (diffraction d'électrons) et celle des fentes d'Young. Dans cette dernière, on envoyait des électrons sur un mur percé de deux trous et on regardait ce que cela produisait sur un écran placé derrière le mur. On découvrait alors une figure d'interférence typique d'un phénomène ondulatoire. Il était donc provoqué par une onde, l'électron. La particule pouvait donc être décrite comme une onde ce qui permet de lier son énergie à sa longueur d'onde:

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

E = énergie

h = constante de Planck (constante fondamentale du monde microscopique)

c = vitesse de la lumière

λ = longueur d'onde de la particule

Cette équation établit une correspondance entre la longueur d'onde⁷ de la particule et son

⁶Le terme *corpuscule* est employé dans le sens d'un grain dense de matière.

⁷La longueur d'onde est une distance.

énergie. En particulier plus l'énergie de la particule est grande, plus sa longueur d'onde est petite. Voyons ce qui en résulte pour une particule qui interagit avec les constituants d'un morceau de matière en le traversant.

Représentons le constituant du morceau de matière par un objet de taille fixée, une sphère par exemple. Imaginons une onde, une particule, passant à proximité de cette sphère. Si sa longueur d'onde est grande, l'onde ne "voit" pas l'objet, elle n'interagit pas avec lui car elle ne le traverse pas. Par contre si la longueur d'onde est petite, l'onde, interagit avec cet objet. Elle le voit et le met en évidence. Ce deuxième cas correspond au cas où l'énergie de la particule est grande.

Par extension, plus l'objet avec lequel on veut interagir est petit, plus la longueur d'onde de la particule utilisée pour interagir avec lui doit être petite. Autrement dit plus on veut sonder profondément la matière, plus la sonde utilisée, une particule, doit avoir une grande énergie. C'est ce qui explique que la physique des particules est souvent appelée "physique des hautes énergies".

Bien d'autres aspects de la mécanique quantique seraient également fort utiles pour expliquer plus avant la physique des particules et en particulier le comportement des particules:

- l'aspect statistique (indéterministe) qui expliciterait l'imprévisibilité du résultat d'une collision et l'énorme nombre de collisions que l'on doit produire pour étudier un phénomène
- la discontinuité des états possibles d'une particule
- l'influence de la mesure sur le résultat avec la réduction du paquet d'onde
- le principe d'incertitude de Heisenberg
- le principe d'exclusion de Pauli

Les points importants à expliquer

- une particule est en même temps une corpuscule et une onde
- le fait qu'une particule soit une onde implique que l'énergie de la particule doit être grande pour qu'elle voit, pour qu'elle révèle un petit objet
- la relation entre la longueur d'onde et l'énergie d'une particule explique que la physique des particules soit appelée physique des hautes énergies

L'explication sur l'expression "physique des hautes énergies" révèle la nécessité des accélérateurs dans la recherche en physique des particules. Cette explication relie donc le chapitre théorie avec celui sur les accélérateurs.

Décrire une particule de matière comme une corpuscule est logique pour le public. C'est sa compréhension commune de la matière, à quelque échelle qu'il la décrive. Qu'une particule de matière puisse par contre être décrite comme une onde n'est pas trivial. Une onde est

plutôt comprise communément comme quelque chose d'immatériel. Le public n'associe donc pas facilement une onde à une particule car cela choque sa conception, solidement ancrée, de la matière. L'expérience des fentes d'Young peut aider l'explication car la notion d'interférence est connue pour le public de niveau vert.

La complexité formelle et conceptuelle des points de mécanique quantique ci-dessus, mentionnés mais non expliqués, fait qu'ils ne sont pas adaptés au niveau vert du public. De nombreux problèmes d'abstraction se poseraient au cours d'une explication assez complète sur le comportement des particules.

7.2.2 La relativité

Références: [30], [31]

Résumé explicatif

Le point principal sur la relativité concerne l'équivalence entre masse et énergie. La masse des particules peut être convertie en énergie et de l'énergie peut être convertie en masse. C'est la fameuse loi d'Einstein:

$$E_0 = mc^2$$

E = énergie

m = masse

c = vitesse de la lumière

Elle est d'une grande importance car l'égalité qui apparaît dans cette formule traduit aussi bien l'équivalence entre énergie et masse, c'est-à-dire une idée qualitative, que l'égalité numérique, quantitative. En effet plus on veut obtenir de masse, des particules très lourdes par exemple, et plus il faut d'énergie.

Un autre point très important de la relativité est celui qui montre le comportement relativiste d'une particule. Au début de l'accélération d'une particule, sa vitesse est faible et elle augmente en même temps que la particule acquiert de l'énergie. Le calcul de la vitesse et de l'énergie de la particule peuvent se faire selon la formule de mécanique classique pour l'énergie cinétique:

$$E = \frac{1}{2}mv^2$$

E = énergie de la particule

m = masse de la particule

v = vitesse de la particule

Mais à partir du moment où sa vitesse devient grande, c'est-à-dire non négligeable par rapport à celle de la lumière, la particule a un comportement relativiste, puis ultrarelativiste lorsque sa vitesse devient très proche de celle de la lumière. Il faut alors faire un calcul relativiste pour relier la vitesse de la particule à son énergie.

La grande différence avec le calcul classique est l'existence d'une vitesse limite, celle de la lumière⁸. L'énergie d'une particule classique ne continue à augmenter que si sa vitesse augmente aussi. Au contraire l'existence de cette limite en vitesse a pour conséquence que l'énergie de la particule relativiste va continuer à augmenter énormément alors que sa vitesse va rester sensiblement constante. C'est le cas des électrons injectés dans le LEP. Cela se retrouve dans le facteur γ des formules relativistes:

$$E = m\gamma$$

$$\gamma = \text{coefficient relativiste} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Les points importants à expliquer

- il y a équivalence entre la masse et l'énergie
- il faut d'autant plus d'énergie pour créer une particule que sa masse est grande
- la relativité dit que la vitesse de la lumière est une vitesse limite
- une particule ayant une vitesse très proche de celle de la lumière est dite ultrarelativiste
- lorsqu'une particule est ultrarelativiste, son énergie augmente énormément alors que sa vitesse reste sensiblement constante

L'équivalence entre matière et énergie est d'une très grande importance dans la globalité de l'explication sur la physique des particules. De plus l'utilisation directe de la fameuse formule d'Einstein dans l'explication ne pose pas de problème de compréhension grâce à son omniprésence auprès du public. Au contraire il retrouve ainsi une formule qu'il connaît. Cela favorise son intérêt pour une explication qui lui apporte aussi la signification de cette formule, chose qu'il ne connaît pas forcément.

Le but de l'explication sur la liaison entre l'énergie et la vitesse est de faire comprendre que l'accélération n'est pas qu'une augmentation de vitesse entraînant une augmentation d'énergie. Il s'agit de faire passer de l'idée classique à l'idée relativiste pour la liaison entre énergie et vitesse. En effet, bien que les étudiants voient les formules du calcul relativiste au lycée, ils raisonnent toujours intuitivement avec celle du calcul classique. Cela vient du grand rattachement de la notion classique avec le monde macroscopique et du fait que l'explication relativiste n'est pas si simple. Cette explication vise donc une augmentation de connaissance.

⁸L'énergie devient théoriquement infinie lorsqu'une particule de masse non nulle atteint la vitesse de la lumière alors que classiquement il faut que la vitesse soit infinie pour que l'énergie cinétique soit infinie. En fait il n'est pas possible d'avoir une énergie infinie et seules les particules de masse nulle se déplacent à la vitesse de la lumière.

Toutefois, dans une explication sur la fonction d'un accélérateur, le but principal est d'arriver à faire comprendre que cette machine augmente l'énergie des particules. Même si les étudiants pensent qu'il y a augmentation continue de la vitesse des particules, on peut les faire arriver à l'idée d'augmentation d'énergie avec la formule classique d'énergie cinétique. Par contre la complexité de l'explication relativiste peut les perdre au point qu'ils pourraient ne plus arriver à l'idée d'augmentation d'énergie. Il faut donc faire très attention en introduisant l'explication relativiste.

De même on ne peut lier simplement l'idée relativiste d'une vitesse limite au principe de causalité ou parler d'invariant relativiste car cela dépasse de loin la compréhension du public du niveau vert.

7.3 Le modèle standard

Références: [32], [33]

La physique des particules repose actuellement sur un modèle théorique qui n'explique pas tout. Il est d'ailleurs dit standard car il correspond à l'avis de la majorité des physiciens mais pas de tous. Des questions restent sans réponse. Ainsi une preuve expérimentale de l'existence du quark top est toujours attendue. En même temps, la validité de ce modèle pourrait fort bien être remise en question. La théorie prévoit la valeur de certains paramètres; elle pourrait être contredite par les résultats de nouvelles expériences très précises. On voit là la formidable complémentarité entre les travaux théoriques et les travaux expérimentaux menés en physique des particules.

7.3.1 Les particules élémentaires

Références: [34], [35], [36], [37]

Résumé explicatif

Lorsque l'on parcourt l'échelle des dimensions des structures de la matière en allant vers le monde microscopique, on trouve successivement⁹ la cellule, la molécule, l'atome (taille = 10^{-10} m), le noyau de l'atome (taille = 10^{-14} m), les protons et les neutrons (taille = 10^{-15} m), les quarks et les électrons (taille $< 10^{-18}$ m). On va ainsi du monde macroscopique aux particules élémentaires de la matière. Ce sont des fermions car ils ont un spin $1/2$. Cela a des conséquences importantes sur leur comportement car ils obéissent à la statistique de Fermi-Dirac et au principe d'exclusion de Pauli (voir paragraphe *La mécanique quantique*).

⁹Cette liste n'est pas exhaustive.

Une particule élémentaire est l'un des constituants fondamentaux de la matière. C'est une particule qui n'est pas constituée par un ou plusieurs éléments plus petits car elle est elle-même l'un des constituants de base: elle est indivisible. C'est la différence entre le terme particule et l'expression particule élémentaire. Ainsi le proton est une particule constituée de trois quarks et ceux-ci sont des particules élémentaires.

LES PARTICULES ELEMENTAIRES						
	les leptons			les quarks		
	famille 1	famille 2	famille 3	famille 1	famille 2	famille 3
nom	électron	muon	tau	up	charm	beauty
symbole	e^-	μ^-	τ^-	u	c	b
masse (GeV/c ²)	5.1×10^{-4}	0.106	1.784	4×10^{-3}	1.5	4.7
charge	-1	-1	-1	2/3	2/3	-1/3
nom	neutrino électron	neutrino muon	neutrino tau	down	strange	top
symbole	ν_e	ν_μ	ν_τ	d	s	t
masse (GeV/c ²)	$< 2 \times 10^{-8}$	$< 3 \times 10^{-4}$	$< 4 \times 10^{-2}$	$< 7 \times 10^{-3}$	0.15	> 89
charge	0	0	0	-1/3	-1/3	2/3

Le modèle standard classe ces particules en deux types principaux: les leptons et les quarks. Leur différence vient des forces fondamentales qu'elles subissent ou ne subissent pas. Il y a 6 particules élémentaires dans chacun de ces deux types et on dit que chacune de ces 6 particules a une "saveur". Ces 6 particules sont groupées par 2, en 3 familles qui correspondent à une différence significative pour la masse de ces particules¹⁰. Seules certaines des particules élémentaires (les quarks u et d et l'électron) constituent la matière qui nous environne. Les autres particules élémentaires sont mises en évidence en accédant à des niveaux supérieurs d'énergie. Toutes l'ont été sauf le quark top dont l'existence n'a pas encore été prouvée expérimentalement.

Pour chaque particule il y a une particule d'antimatière correspondante. Particules et antiparticules ont la même masse et le même spin mais des charges électriques opposées.

Notre connaissance des structures infimes de la matière est liée à l'énergie à laquelle on peut parvenir (voir paragraphe "*La mécanique quantique*"). Aussi, à la question: "Existe-t-il des particules plus petites que les quarks et les électrons?", on ne peut que répondre: "Pour le moment ce sont les plus petites que l'on connaisse, elles sont donc dites élémentaires. Mais il se peut, qu'en parvenant à une énergie plus grande (laquelle? on ne sait pas), on découvre qu'elles sont elles-mêmes constituées de particules encore plus élémentaires."

Le nombre de particules élémentaires n'est pas non plus expliqué par la théorie. Pourquoi y a-t-il six quarks et six leptons, et pas plus, ou moins? Aujourd'hui il n'y a pas de réponse à cette question. La précision des résultats de la machine LEP sur la largeur du Z^0 montre que ces nombres sont justes mais elle ne dit pas pourquoi ils le sont.

¹⁰Le modèle standard n'explique pas cette différence de masse vu que le processus donnant de la masse aux particules n'est pas encore complètement connu (voir paragraphe "*Les expériences du LHC*" dans le chapitre 6).

Les points importants à expliquer

- les particules élémentaires sont les constituants de base de la matière; ce sont donc des particules particulières
- il y a 12 particules élémentaires séparées en 2 types (6 leptons et 6 quarks) qui correspondent aux forces fondamentales que ces particules ressentent ou pas
- chaque particule de matière a une particule d'antimatière correspondante
- des questions restent sans réponse:
 - y a-t-il des constituants encore plus élémentaires?
 - le quark top existe-t-il? quelle est sa masse?
 - pourquoi y a-t-il 12 particules élémentaires et pas plus ou moins?

Le faible nombre de particules élémentaires permet de montrer la simplicité¹¹ du monde microscopique. Lorsque l'on explique que seuls les quarks u et d ainsi que l'électron sont présents dans ce qui existe autour de nous, le public entrevoit bien cette simplicité. Par contre il se demande où se trouvent les autres particules élémentaires, comme les quarks s, c, b et t, qu'il peut avoir vues dans des tableaux récapitulatifs.

L'explication sur les constituants fondamentaux de la matière devrait commencer par la donnée d'une échelle montrant les différents niveaux de structure. Cela permet de montrer l'emboîtement des différents niveaux de structures, et donc de savoir où l'on se place avec la physique des particules. Cette échelle donne aussi une idée des dimensions respectives de ces différentes structures.

Le vocabulaire doit être employé précisément. Les physiciens ne font pas toujours attention, en parlant, à distinguer particule et particule élémentaire. Cette distinction doit être faite explicitement pour le public. De même la notion d'antimatière pose un grand problème de compréhension ou crée même un blocage au cours d'une explication. Il faut faire très attention et n'introduire ce terme que si l'on en a réellement besoin dans l'explication.

¹¹On voit au cours de ces pages que cette simplicité se cache bien.

7.3.2 Les interactions fondamentales

Références: [38], [39], [40], [41], [42], [43], [44], [45], [46]

Résumé explicatif

La matière est organisée en structures constituées, à la base, de particules élémentaires. Mais comment se fait-il que ces structures restent stables? Pourquoi les particules ne s'échappent-elles pas de ces structures pour en reformer d'autres, ou ne pas en reformer du tout? En fait pourquoi ces structures existent-elles? Cette stabilité provient des interactions se produisant constamment entre les particules. Ainsi 3 quarks se "soudent" ensemble par l'interaction forte pour constituer des protons ou des neutrons. Cette même interaction (sous une forme légèrement différente appelée interaction forte résiduelle) lie ensemble protons et neutrons pour former les noyaux des atomes. Des électrons s'y "attachent" grâce à l'interaction électromagnétique et forment ainsi les atomes qui se regroupent en molécules par l'intermédiaire de la même interaction.

Il y a quatre interactions fondamentales agissant ainsi entre les particules. On parle aussi de force par habitude mais le terme interaction est plus juste. En effet il y a vraiment une action qui se passe entre deux particules. Cette action se traduit par l'échange d'une particule messagère appelée boson. Celui-ci n'est donc pas une particule de matière mais une particule liant la matière. Pour simplifier, on peut dire qu'il y a donc d'un côté les particules de matière, appelées les fermions, et d'un autre côté les particules appelées les bosons qui transportent les interactions qui se produisent entre les fermions. Les bosons n'obéissent d'ailleurs pas aux mêmes lois physiques que les fermions. Leur comportement est différent, et lié à leur spin entier, car ils suivent la statistique de Bose-Einstein et n'obéissent pas au principe d'exclusion de Pauli.

LES INTERACTIONS FONDAMENTALES				
propriétés	gravitation	faible (électrofaible)	électromagnétique	forte
agit sur:	masse énergie	savoir	charge électrique	charge de couleur
particules subissant la force:	toutes	quarks leptons	particules chargées électriquement	quarks gluons
particules messagères:	graviton (pas observé)	bosons intermédiaires $W^+ W^- Z^0$	photon	gluon
portée (en mètre):	infinie	10^{-17}	infinie	10^{-15}
intensité relative:	10^{-40}	10^{-5}	10^{-2}	1

Les quatre interactions fondamentales sont bien distinctes les unes des autres. Elles ont des propriétés caractéristiques très différentes. Les distances sur lesquelles elles agissent, on appelle cette distance la portée de l'interaction, sont très différentes. Elles agissent aussi avec des intensités très différentes. On voit dans le tableau ci-dessus à quel point ces deux caractéristiques sont différentes d'une interaction à l'autre. Il y a 40 ordres de grandeur entre les intensités des interactions forte et gravitationnelle! Le boson échangé est donc typique de l'interaction qui se produit.

De plus l'interaction dépend aussi des propriétés des deux particules entre lesquelles elle agit: de leur masse, de leur charge électrique, du fait qu'ils contiennent des quarks ou pas, etc... Toutes les particules n'interagissent donc pas de la même manière avec les autres car elles ne subissent pas toutes les mêmes interactions. L'exemple du neutrino est particulièrement frappant. Il ne ressent que l'interaction faible qui a une intensité très faible (d'où son nom). Cela montre pourquoi il n'est pas attaché à une structure particulière de la matière.

La simplicité du monde microscopique se retrouve encore au niveau de la notion d'interaction. En effet, malgré leurs grandes différences, toutes les interactions se produisent en fait de la même façon: deux particules interagissent en échangeant une particule. Peut-être cette simplicité deviendra-t-elle encore plus apparente dans le futur si l'idée d'unification de ces interactions se vérifie. Des modèles théoriques comme la théorie de grande unification vont en effet vers l'idée d'une force unique à la base de toutes les autres. Déjà les deux interactions faible et électromagnétique ont été unifiées. Il a été prouvé qu'elles ne sont que des facettes différentes d'une interaction plus fondamentale appelée électrofaible.

Les points importants à expliquer

- la matière est organisée en structures stables car des interactions ont lieu entre les particules à la base de ces structures
- la notion d'interaction repose sur le fait que deux particules de matière interagissent en échangeant une troisième particule d'un type tout à fait différent
- les interactions fondamentales sont au nombre de quatre
- chacune des interactions fondamentales a des propriétés très différentes et agit sur des particules différentes
- on cherche à unifier les interactions, c'est-à-dire à voir s'il n'existe pas une interaction de base dont on pourrait déduire toutes les autres

La notion d'interaction est complexe à appréhender car elle est reliée à l'abstraction mathématique. Pourtant on interagit constamment à distance en échangeant quelque chose. La parole est certainement un excellent exemple à utiliser dans une explication visant le public vert. Il faut aussi bien mettre en évidence que ces interactions sont cruciales puisque ce sont elles qui rendent un morceau de matière "stable".

La notion de spin liée à la mécanique quantique (statistique de Bose-Einstein et principe d'exclusion de Pauli) est par contre à éliminer pour atteindre le même public. Elle n'est accessible qu'aux niveaux rouge et noir. Toutefois il faut en contre partie insister sur le fait qu'il y a d'un côté des particules de matière et de l'autre des particules portant des messages entre celles de matière. Si l'on veut introduire les termes boson et fermion, on peut les justifier en disant qu'ils proviennent des noms de deux physiciens: Bose et Fermi. Dans une présentation audiovisuelle cela pourra être illustré avec les portraits de ces deux scientifiques.

Expliquer les quatre interactions fondamentales ne pose pas de problème majeur. L'utilisation d'un dessin analogue à celui donné dans le schéma explicatif ci-dessous fonctionne bien. Le boson intervenant dans l'interaction entre deux particules est facilement identifiable et le processus bien compris. Deux particules se rapprochent jusqu'à ce que la distance soit suffisamment petite pour qu'elles interagissent.

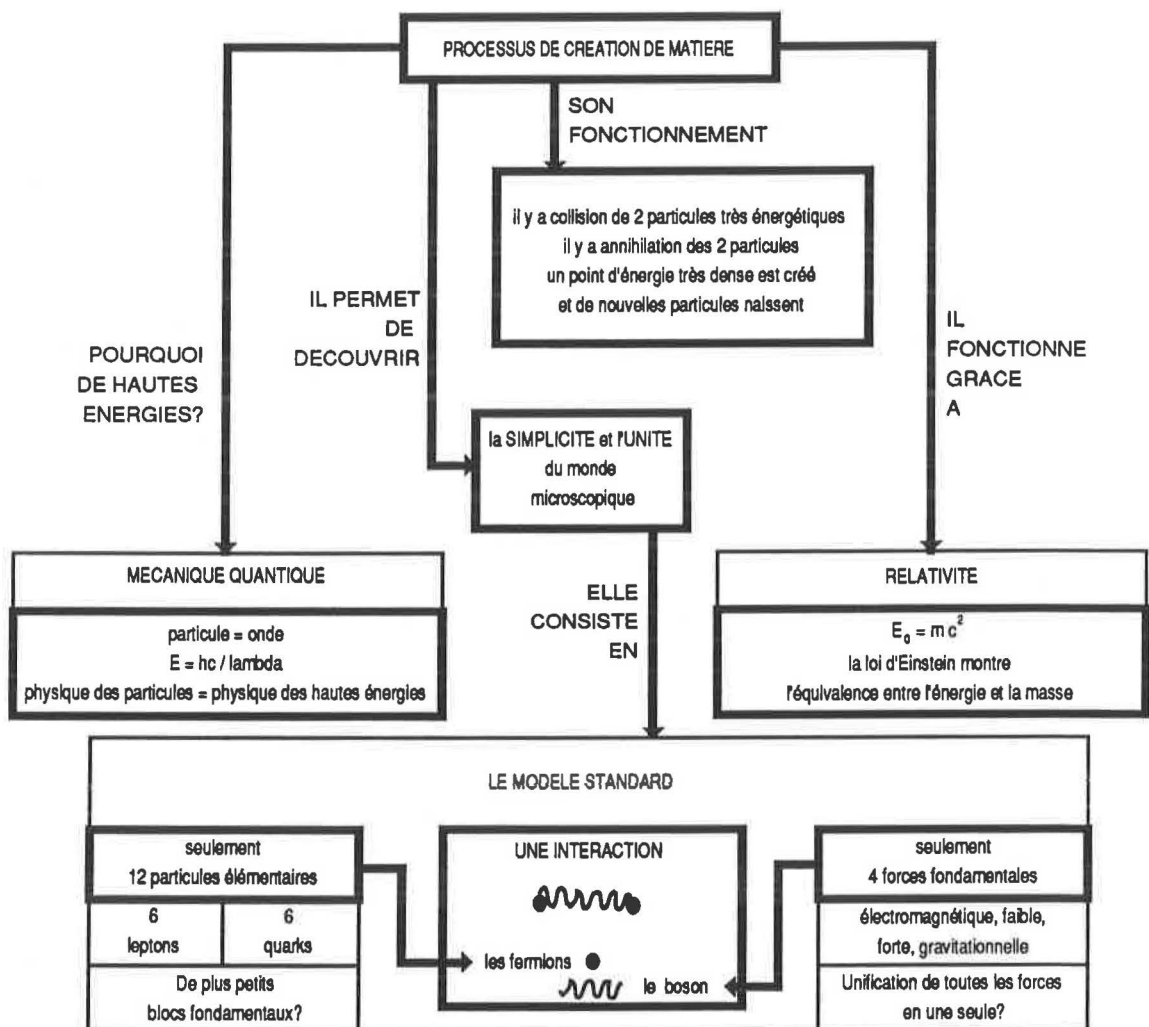
Il faut aussi essayer de faire comprendre quelle particule subit quelle force. Au niveau vert, il est connu que l'interaction électromagnétique agit sur une particule ayant une charge électrique. Il l'est aussi que toute masse subit la gravité. Le public accepte aussi que l'interaction forte agisse sur les quarks et que les leptons ressentent la force faible. Par contre les intensités relatives des forces sont très difficiles à faire saisir. De toutes façons cette explication suffit. En effet le but de l'explication faite pour le public du niveau vert n'est pas qu'il puisse dire, simplement à l'énoncé du nom d'une particule, si elle a une charge électrique ou si elle se classe parmi les hadrons ou les leptons.

Expliquer l'unification des forces demande également une démarche prudente. Il convient de dire que cette recherche d'une force unique traduit la volonté d'obtenir une description simple de l'interaction entre les particules et aussi de mieux comprendre ce qui s'est passé au tout début de l'univers. Mais le problème des échelles de grandeur intervient à nouveau, ici dans le cas de l'énergie, et engendre des confusions.

7.4 Résumé de l'explication à donner sur la théorie

Le schéma ci-dessous montre comment les notions principales de l'explication sur la théorie sont reliées entre elles. Les notions et les liaisons primordiales apparaissent en plus gras sur le schéma.

L'EXPLICATION SUR LA THEORIE



Part III

**LE PROTOTYPE DU DIORAMA:
CONCEPTION ET REALISATION**

Chapitre 8

QU'EST CE QUE LE DIORAMA?

8.1 Le Diorama en deux mots

Microcosm est l'exposition permanente du CERN où le grand public peut venir découvrir les activités de cet organisme, c'est-à-dire la recherche en physique des particules. Il peut également venir y voir les expositions itinérantes d'autres centres de recherche, comme ESO¹, DESY² ou ESA³, que le CERN accueille dans Microcosm.

Le projet Diorama s'inscrit dans ce cadre. C'est une présentation interactive multimédia de CSP sur le CERN et ses activités. C'est une station de travail Digital qui, via l'interface MUSE développée au MIT, dirige l'apparition de une ou plusieurs images à la fois et sa synchronisation avec le commentaire. Une banque de données images (séquences vidéo, diapositives) est stockée, avec des commentaires, sur un vidéodisque⁴ d'une durée de 30 minutes.

Le visiteur puise dans cette banque d'images structurée de façon à ce qu'il puisse "se rendre", à volonté, partout sur le site du CERN. Il peut aussi bien aller sur un site d'expérience que le long de la chaîne des accélérateurs. A chaque fois, les différents types d'images et le commentaire, écrit ou oral, se complètent pour permettre une bonne compréhension de ce qui se passe à l'endroit choisi. L'utilisateur peut également trouver des explications sur la théorie relative à la physique des hautes énergies.

¹European Southern Observatory

²Deutsches Elektron SYNchrotron

³European Space Agency

⁴Cette banque d'images stockée sur le vidéodisque est complétée par des animations informatiques produites avec MUSE et par des textes écrits aussi avec MUSE.

8.2 Les premiers pas du Diorama

Pour illustrer les différentes possibilités du système MUSE avant de démarrer le projet, une démonstration avait été faite en novembre 1989 dans Microcosm. Elle montrait initialement une vue aérienne du CERN, avec le tracé du LEP, sur laquelle il était possible de choisir une des quatre expériences LEP en venant placer la souris du terminal sur la zone voulue. Une courte séquence vidéo amenait alors le visiteur en hélicoptère sur le site.

Après quoi une explication plus détaillée était donnée sur le détecteur, en l'occurrence celui d'OPAL pour la démonstration, et ses couches concentriques: six différentes images de la machine composaient un menu à gauche de l'écran. Amener la souris sur l'une d'elle déclenchait l'ouverture, à droite de l'écran, d'une autre fenêtre où une séquence vidéo se déroulait alors en apportant l'explication choisie.

8.3 Les particularités du Diorama

Les particularités du Diorama viennent des trois termes qui définissent cette présentation sur le CERN:

- interactivité
- multimédia
- CSP

8.3.1 C'est une présentation interactive

La particularité essentielle d'une présentation comme le Diorama est d'être interactive. Un tel logiciel interactif est très différent d'un film. Un film est une suite d'informations présentées linéairement avec un début et une fin. Au contraire, un logiciel interactif n'a ni début ni fin: il est non linéaire. Chaque personne qui l'utilise peut être intéressée de commencer à un endroit précis qui va être tout à fait différent de celui choisi par une autre personne. De plus, d'un même point d'entrée, un visiteur ou son suivant peuvent suivre des chemins complètement différents.

Evidemment on peut réduire à la fois le nombre des points d'entrée et celui des différents chemins possibles. Mais cela irait à l'encontre du but d'une telle présentation interactive. Son intérêt, son attrait et sa particularité viennent justement des possibilités de choix que doivent avoir ses utilisateurs. C'est d'ailleurs ainsi que l'on peut définir l'interactivité d'une telle présentation. Elle donne la liberté du choix du point d'entrée et du sens du chemin suivi dans l'ensemble de l'explication donnée.

On commence à trouver aujourd'hui des présentations interactives sur des sujets très différents. Cependant, souvent, elles ne sont interactives que dans la mesure où le vidéodis-

que et sa lecture laser permettent d'aller chercher très rapidement une partie des informations en un endroit quelconque du vidéodisque. C'est une possibilité issue de la lecture laser. Il est vrai que l'interactivité résulte de cette possibilité technique mais aussi, et surtout, de la façon dont sont structurées les informations placées sur le vidéodisque. Il ne faut pas se contenter d'y mettre bout à bout beaucoup de séquences vidéo et d'images fixes pour obtenir une présentation interactive. Il est aussi nécessaire de relier ces différents documents, au niveau de l'explication qu'ils donnent, pour créer une vraie structure avec laquelle l'utilisateur découvre les connections existant entre toutes les informations présentées.

8.3.2 C'est une présentation multimédia

Aujourd'hui dans la littérature spécialisée concernant la communication, on retrouve souvent côte à côte les termes multimédia et hypermédia. Le Diorama est lié à ce vocabulaire. Il faut donc le définir⁵ [47, page 58]:

- multimédia:
présentation sur ordinateur combinant au moins deux médias, comme du texte, des graphiques, de la vidéo ou du son.
- hypermédia:
média dont les séquences sont présentées de façon non linéaire ou stratifiées pour représenter différents niveaux de détails.

Le terme multimédia est donc attaché aux médias employés et en particulier à l'ordinateur tandis que celui d'hypermédia est attaché à une organisation spéciale des informations présentées. Le Diorama est donc une présentation multimédia hypermédia.

Remarquons une ambiguïté sur le terme média. Il est employé aussi bien pour désigner un moyen d'expression comme le son, l'image ou l'écrit, que pour parler d'un moyen de diffusion comme la radio, la télévision ou la presse. Il me semble qu'il est plus juste de parler de ces derniers comme de mass médias et d'employer le terme média pour le son, l'image et l'écrit. C'est cette convention qui est adoptée dans la suite de ce mémoire.

8.3.3 C'est une présentation de CSP

Le Diorama est aussi une présentation de CSP. La nécessité de cette activité et certains de ses moyens d'action ont été discutés de façon générale dans la partie 1 de ce mémoire, partie à laquelle on se reportera si l'on veut en savoir plus à ce sujet.

⁵Les définitions de ces termes changent encore actuellement.

8.4 Quel système pour le Diorama?

Une présentation audiovisuelle comme le Diorama, basée sur l'emploi interactif de plusieurs médias nécessite l'emploi d'un système informatique qui sache gérer et créer les différentes sources d'informations que l'on veut pouvoir utiliser. Nous voulions que la vidéo soit le média principal dans le Diorama. Cela a deux conséquences. L'élément périphérique essentiel au Diorama devait être un vidéodisque qui rend l'interactivité et l'utilisation de la vidéo techniquement possibles. De plus la banque d'images placée sur le vidéodisque, et composée de photos et de vidéos, contiendrait la majorité des informations apportées à l'écran. Mais il fallait aussi tenir compte du fait que des textes et des animations informatiques seraient nécessaires pour compléter les informations venant du vidéodisque.

La technologie nécessaire à une présentation interactive doit surtout permettre un accès très rapide aux différentes sources d'informations. Le vidéodisque n'est donc pas le seul moyen pour constituer une banque de données images. Celle-ci peut être placée directement dans la mémoire d'un système informatique. On enlève ainsi le besoin du périphérique qu'est le vidéodisque. Cependant les seules images "réelles" que l'on peut employer ainsi avec les systèmes informatiques actuels sont des images fixes, et pas de la vidéo. Le vidéodisque est donc encore nécessaire lorsque l'on veut utiliser ce média dans une présentation interactive. Il fallait donc au Diorama un système informatique donnant accès à ce périphérique.

Le système MUSE a été développé dans le cadre du projet ATHENA⁶. C'est un système multimédia dédié plus particulièrement à l'éducation. L'un de ses buts est de permettre la création de présentations interactives audiovisuelles utilisant des séquences animées, comme de la vidéo et des animations, complétées par un ensemble d'images fixes. Il répond donc parfaitement aux exigences fixées pour le Diorama et pour sa présentation au public dans Microcosm.

8.5 Comment fonctionne le système MUSE?

Je n'ai pas eu à m'occuper des questions "hardware" et "software" du système MUSE. Cependant, en tant que co-concepteur du Diorama, il me fallait connaître suffisamment ce système, sur lequel le Diorama est présenté, pour en comprendre les possibilités. Travailler avec l'un des créateurs de MUSE, Matt Hodges, également concepteur du Diorama fut bien sûr très bénéfique pour cela.

⁶On peut trouver un résumé des activités de ce projet dans un article récent de la revue COMPUTER [48].

Les éléments du système global peuvent se classer en trois parties:

- les sources d'images et de son
 - un lecteur de vidéodisques (image/son)
 - une caméra⁷ (image ou image/son)
 - un lecteur de disques compacts ou de cassettes (son)
- la partie centrale du système
 - un ordinateur MicroVAX
 - un "Parallax Board" inséré dans la MicroVAX
 - une console de contrôle
 - un commutateur (il limite le nombre des sources à 4)
- les récepteurs d'image ou de son
 - un moniteur haute définition 1280×1024 (image)
 - un amplificateur audio et deux enceintes acoustiques (son)

8.5.1 Le "hardware" de MUSE

Au niveau "hardware", l'élément principal du système MUSE est le "Parallax Board". Il est inséré dans la MicroVAX qui est l'ordinateur rattaché au système. Le "Parallax Board" est un contrôleur graphique qui remplace celui de la station MicroVAX. C'est l'interface entre les sources image/son et leurs récepteurs.

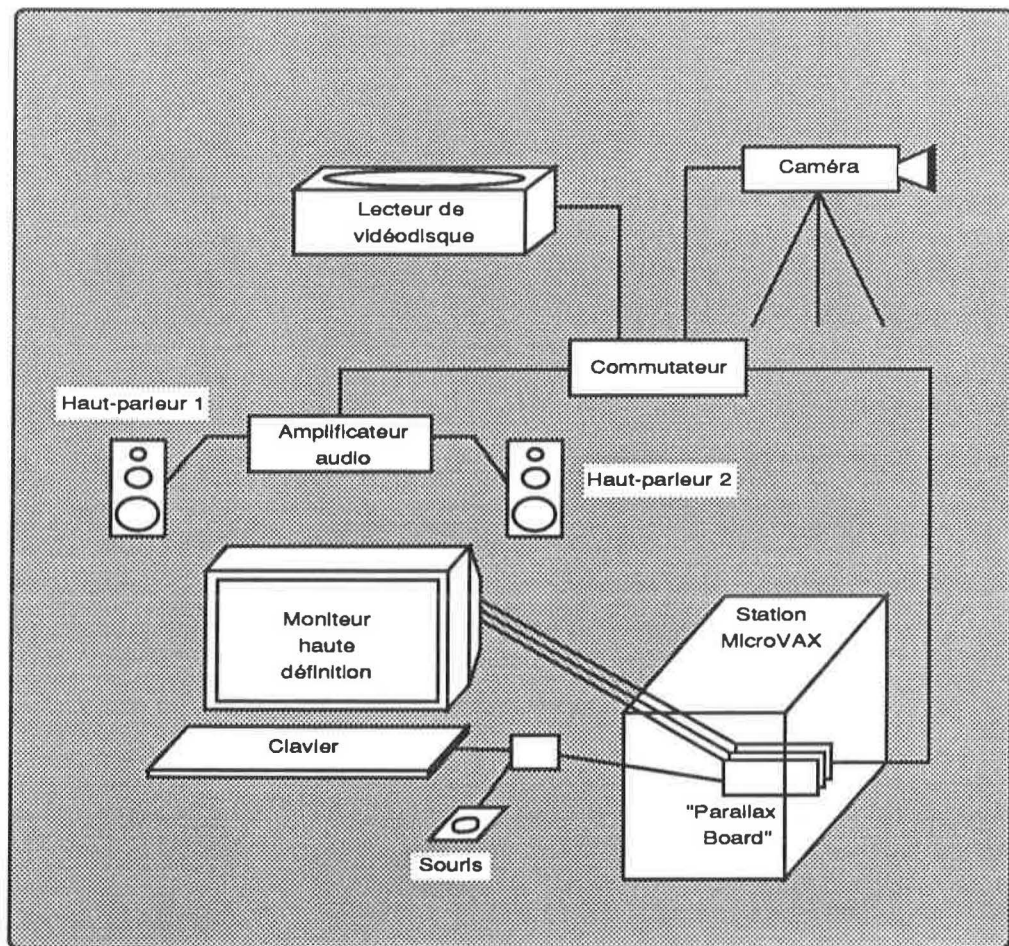
Le "Parallax Board" effectue différentes tâches:

- le contrôle du commutateur pour établir la liaison avec la source image/son voulue
- la gestion du vidéodisque (déplacement sur le disque, localisation des adresses, lecture)
- la transformation des signaux analogiques du vidéodisque en signaux digitaux
- la mise en forme des signaux digitaux en signaux RGB (pour les envoyer sur le moniteur)
- la gestion de l'écran (taille, place, couleur, activité et "timing" des différentes fenêtres où apparaissent les textes et les images)
- la reconnaissance des actions de l'utilisateur (sur des boutons ayant une fonction permettant d'évoluer dans les séquences présentées) et l'envoi d'ordres en conséquence

Lorsque l'utilisateur clique sur l'un des boutons d'action, il agit sur le "software" de MUSE. Le CPU de la MicroVAX, qui gère toutes les entrées-sorties du système, réagit en envoyant un ordre au "Parallax Board", par exemple aller chercher sur le vidéodisque les images entre les adresses 15000 et 15600 et les placer dans la fenêtre liée au bouton d'action utilisé.

⁷Pour le Diorama, le système ne comprend pas cette source.

LES ELEMENTS DU SYSTEME MUSE



Le "Parallax Board" envoie un ordre au commutateur qui sélectionne la source d'images, ici le vidéodisque. Celui-ci est placé en lecture à partir de l'adresse 15000 par le "Parallax Board" qui reçoit les images successives, les digitalise ON LINE et les envoie sur l'écran du moniteur à l'endroit voulu.

Le moniteur et son clavier servent de console principale au système (connexion directe au CPU de la MicroVAX). Ils sont aussi utilisés par ceux qui réalisent la présentation. Le clavier ne sera par contre pas accessible aux gens du public utilisant le Diorama. C'est avec une souris qu'ils agiront sur le déroulement de la présentation.

8.5.2 Le "software" de MUSE

Au niveau "software", le langage de programmation de MUSE est un langage élaboré, basé sur l'utilisation d'un ensemble de macroinstructions prédéfinies. Elles sont écrites en langage C. Ecrire un programme avec ce langage consiste donc à générer une liste de macroinstructions décrivant:

- ce qui est présenté à l'écran (images, textes et boutons d'action)
- leur instant d'apparition à l'écran et la durée de cette apparition
- la fonction reliée à chaque bouton d'action
- les relations existant entre les éléments présentés à l'écran (images, textes et boutons d'action)

Lorsqu'un programme est écrit avec le langage de MUSE, il est stocké sur le disque de la MicroVAX. Le disque de la MicroVAX contient donc l'ensemble des macroinstructions et les programmes écrits avec le langage de MUSE.

Chapitre 9

LA CONCEPTION DU DIORAMA

9.1 Les buts de la conception

On a vu dans le chapitre précédent, au paragraphe *Les particularités du Diorama*, ce que veut dire une présentation interactive. L'interactivité est un moyen de laisser une grande liberté de choix à l'utilisateur d'une telle présentation. Il peut commencer avec ce qu'il désire et continuer à parcourir les explications, toujours selon son propre choix. Cette non-linéarité d'une présentation interactive doit attirer un éventuel utilisateur et être d'un emploi simple. Il faut que l'apparition des explications soit organisée pour que l'utilisateur puisse en profiter au maximum et aussi de façon que les différents chemins possibles soient facilement accessibles. La non-linéarité nécessite aussi de trouver l'organisation interactive des explications apportées dans la présentation. Ce sont les deux buts de la conception du Diorama:

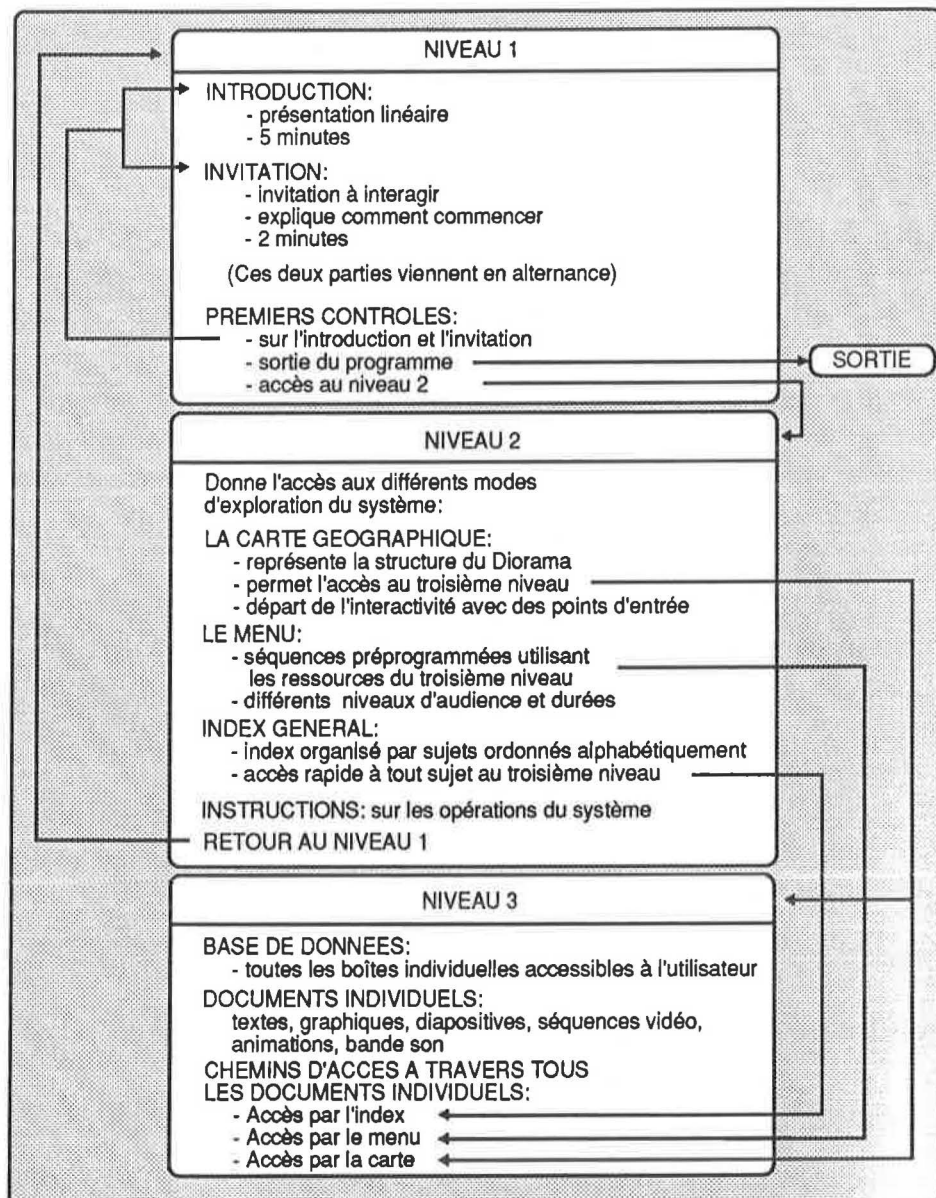
- rendre facile et attractif l'emploi de la présentation interactive
- permettre la réalisation d'une explication, sur les activités du CERN, présentée de façon interactive

9.2 L'interactivité de la présentation

Il faut encore tenir compte de la façon dont le public va réagir face au terminal utilisé pour le Diorama. Il peut hésiter à se servir directement des possibilités interactives de cette présentation. Il faut donc attirer le public vers le Diorama puis lui montrer que son utilisation est simple. Cela nous a menés à établir aussi une première structure, celle des niveaux d'interactivité du Diorama.

Il est structuré en trois niveaux qui semblent répondre aux différentes attentes ou réactions prévisibles du public, relatives à la façon de se servir d'une présentation interactive. Ces trois niveaux définissent les différentes possibilités données aux utilisateurs du Diorama.

LES NIVEAUX D'INTERACTIVITE



9.2.1 Le niveau 1 d'interactivité

Un utilisateur arrivant devant le terminal servant au Diorama peut avoir plusieurs réactions spécifiques:

- Il peut avoir une certaine réticence à se servir d'un terminal.
- Il peut avoir une certaine réticence à rentrer dans les "méandres" des séquences interactives.
- Il peut être complètement enthousiaste pour ce genre de présentation ou y être déjà habitué et il ira directement au niveau 2.

Une introduction linéaire filmée a donc été prévue pour vaincre les réticences et attirer le public vers cet outil mis à sa disposition. Elle est courte, environ 5 minutes, et attractive par son mode de présentation qui utilise la peinture impressionniste pour introduire les activités du CERN. Elle a aussi pour but d'éviter que l'écran ne reste vide, mort, ce qui augmente généralement encore plus les appréhensions.

Elle sert en fait d'introduction au Diorama en étant basée sur les deux points prédéfinis du message principal. Quoique courte et non-interactive, elle a donc aussi pour but de renseigner le public sur le sujet du Diorama. Le découpage de son scénario est donné à l'Annexe E.

Après avoir franchi le premier pas, l'utilisateur peut encore hésiter à plonger dans les menus interactifs. Il faut donc l'inviter à interagir avec le système en le guidant, en une ou deux minutes, à travers les premiers choix du programme interactif. On insistera ici surtout sur les façons dont l'utilisateur doit agir pour passer d'une séquence à la suivante, pour revenir en arrière, pour arrêter ou lancer une séquence.

Ces deux parties viennent en alternance au début de la présentation et constituent le niveau 1 d'interactivité du système. En fait c'est un niveau de "pré-interactivité" pendant lequel on cherche à faire intervenir l'utilisateur éventuel et à le faire passer au niveau 2.

Les deux séquences du niveau 1 sont répétées automatiquement jusqu'à ce que l'utilisateur intervienne. Elles reviennent aussi automatiquement lorsque le Diorama n'est plus utilisé. Le mode automatique permet aussi une utilisation plus large du système.

9.2.2 Le niveau 2 d'interactivité

Un spectateur ayant passé le cap de l'introduction et désirant devenir un utilisateur doit disposer de plusieurs possibilités d'interaction:

- Il peut vouloir visionner quelques chemins interactifs existants afin d'avoir une idée plus nette du contenu du Diorama et par là même faire un choix sur la ou les explications qui l'intéressent le plus.
- Il peut avoir une question précise sur les activités du CERN et voudra avoir directement une réponse.
- Il peut vouloir découvrir les activités du CERN sans avoir de souhait préalable. Il ira alors directement au niveau 3.

Le premier cas nécessite une phase intermédiaire qui montre plusieurs chemins interactifs possibles dans le Diorama. Cette phase est constituée de plusieurs séquences mises bout à bout par programme et donne ainsi un aperçu de l'ensemble des explications accessibles. L'utilisateur se familiarise donc avec la structure des explications, c'est-à-dire avec les différents chapitres du Diorama: les accélérateurs, les expériences et la théorie. Ces chemins préprogrammés peuvent aussi être adaptés au niveau de l'utilisateur. On les rend accessibles au niveau 2 par un menu qui les rassemble.

L'utilisateur qui, lui, a une question précise doit être emmené à l'endroit du Diorama abordant cette question. Au niveau 2, l'accès à un index général organisé alphabétiquement par sujets, rend possible un choix qui, une fois fait, permet d'accéder au niveau 3 à l'endroit voulu. L'utilisateur peut alors compléter la réponse en se promenant dans les séquences voisines, ou passer à un autre sujet en restant au niveau 3. Il peut également revenir au niveau 2.

Le niveau 2 offre donc différentes possibilités d'interaction avec le système. C'est un passage permettant d'accéder au niveau 3 d'interactivité et de pouvoir s'en servir suivant ses désirs. Au cas où l'utilisateur abandonne le Diorama à ce niveau, le système revient automatiquement au niveau 1.

9.2.3 Le niveau 3 d'interactivité

Ce dernier niveau est celui auquel arrive tout utilisateur du Diorama lorsqu'il a choisi un type d'interactivité au niveau 2. C'est le niveau qui contient toutes les séquences indépendantes du Diorama, créées avec des animations informatiques, des séquences vidéo, des diapositives et des textes.

Il contient également les différentes "portes" permettant de passer d'une explication générale à une explication plus détaillée sur un sujet particulier, ou d'un sujet à un autre. C'est ici que se situe l'explication interactive.

9.3 L'interactivité de l'explication

9.3.1 Bâtir un discours interactif

Celui qui bâtit un discours linéaire sélectionne et donc impose les points importants sur lesquels il veut insister. Il définit également l'ordre de succession des notions qu'il présente en imposant la première, puis la liaison logique qui va l'amener à la seconde et ainsi de suite jusqu'à la dernière notion.

Celui qui conçoit un discours interactif impose aussi les points importants qu'il a sélectionnés. Par contre il définit plusieurs chemins possibles entre ces différentes notions. Il perd volontairement le contrôle total sur l'enchaînement de ces notions en offrant plusieurs liaisons possibles, et donc aussi plusieurs chemins à partir d'une seule notion.

Il doit donc en plus individualiser ces notions pour qu'elles soient toutes accessibles comme début d'un chemin particulier, celui que l'utilisateur aura choisi. Cette individualisation n'existe pas concrètement dans un discours linéaire puisque les notions et les liaisons y forment un même bloc: le discours lui-même. Au contraire les liaisons et les notions ne se fondent pas dans un même bloc pour une présentation interactive: il y a plusieurs discours linéaires possibles.

Pour bâtir une explication présentée interactivement, il faut donc individualiser les parties principales de l'explication, puis les notions principales rattachées à chaque partie. En même temps, il faut trouver les liaisons entre les parties principales et entre les notions principales. On a alors constitué la structure interactive de l'explication en passant par les différentes étapes de la conception d'une présentation interactive. Ce sont ces étapes qui vont être détaillées maintenant.

9.3.2 Connaître le public du Diorama

Il est primordial de savoir à quel public s'adresse une présentation de CSP pour pouvoir étudier ce public, c'est-à-dire trouver les points qui lui sont connus ou inconnus et ceux qu'il considère comme faciles ou difficiles. Cette connaissance du public permet d'adapter à son niveau les explications qui sont développées. Evidemment on peut dépasser ce niveau lors d'une explication particulière, mais l'ensemble de l'explication doit lui correspondre.

De même, il est très important de trouver les idées ou les phénomènes qui suscitent la curiosité et les interrogations du public. Ces points doivent servir de base à l'explication donnée car ils sont les questions que le public se pose et pour lesquelles il attend une explication.

La première tâche effectuée pour la présentation Diorama fut donc de définir le public qu'elle devait viser et de voir ses connaissances en physique des particules. Ceci fut fait au moyen d'un questionnaire. Il est donné au chapitre 3 dans lequel on analyse les résultats de ce questionnaire. Globalement il est ressorti de cette enquête que le public du Diorama est

celui des étudiants compris entre la fin d'un lycée scientifique et la fin d'un premier cycle universitaire scientifique. La caractéristique essentielle de ce public est d'avoir une connaissance classique de l'atome, de ne pas avoir de connaissance sur la matière subatomique ni de connaissance opérationnelle sur la mécanique quantique.

L'explication en fonction du niveau de public

Pour le niveau vert du public, les explications doivent être pensées avec une attention constante tant en ce qui concerne le vocabulaire employé qu'en ce qui concerne les informations qu'elles donnent. Nous sommes restés le plus possible en relation avec les visiteurs de MICROCOSM afin de vérifier en permanence la bonne compréhension de l'explication que nous établissions. Les termes utilisés doivent correspondre à un vocabulaire usuel tout en n'induisant pas d'idées fausses. L'introduction de toute nouvelle expression, spécifique à la physique des particules, doit s'accompagner immédiatement de sa définition abordable et claire. Les informations données ne doivent pas être techniques mais générales. En particulier, il faut veiller spécialement à ce que les liens entre ces informations apparaissent car le public n'a pas, à ce niveau, une vue d'ensemble suffisante pour les faire lui-même correctement.

Pour les deux autres niveaux plus élevés de public, le rouge et le noir (voir chapitre 3), l'écriture n'est pas aussi stricte. Au niveau rouge le vocabulaire utilisé peut déjà être plus étendu, mais doit toujours être vérifié avec le public. Tout en restant assez générales, les explications données peuvent aussi être un peu plus techniques. Par contre, à ce niveau, les liens entre les différentes informations doivent encore être écrits explicitement car ce public n'a pas non plus une vision d'ensemble suffisante et claire.

Le niveau noir est une catégorie déjà très autonome. Les explications données peuvent être du niveau des articles scientifiques paraissant dans des revues comme *La Recherche*, *Scientific American* ou *Physics Today*. Le vocabulaire employé peut être celui des physiciens mais demande cependant des éclaircissements car ce public peut appartenir à une autre branche scientifique que la physique. Les détails techniques sont assimilés bien plus facilement par ce public qui retire aussi beaucoup plus directement une vision d'ensemble correcte des différentes explications.

9.3.3 Le canevas général de l'explication

A partir de la documentation trouvée et des discussions que nous avons eues avec des physiciens du CERN, des schémas synthétiques, au nombre de quatre, ont été produits pour résumer les activités du CERN. Le premier, sur le LEP, est donné au chapitre 4 et les trois autres, plus détaillés sur une seule partie de l'explication, figurent dans les chapitres 5, 6 et 7. Ce sont les premiers schémas qui apparaissent dans chacun de ces chapitres.

Ces schémas ne peuvent pas servir comme base d'une structure interactive d'explication. Ils représentent une étape intermédiaire à partir de laquelle nous avons pu établir le canevas interactif général de l'explication. Celui-ci est donné et explicité dans le chapitre 4. Il

définit les trois parties principales de l'explication (accélérateurs, expériences, théorie), les principales notions incluses dans ces trois parties et les principales liaisons entre ces notions.

A ce stade de la conception de l'explication, les informations à donner sur les activités du CERN commencent à s'organiser interactivement. Il y a de plus un tri qui s'effectue entre les informations à insérer dans l'explication et celles à rejeter. Ce tri est fait en fonction des connaissances du public, de l'importance de ces informations et de leur rattachement au message principal du Diorama (voir paragraphe suivant).

Pour compléter cette phase de définition de la présentation Diorama, nous avons demandé à une centaine de physiciens du CERN, et aussi de l'extérieur, de nous transmettre les analogies explicatives dont eux-mêmes font usage lorsqu'ils reçoivent des visiteurs ou lorsqu'ils expliquent de la physique à leur entourage (voir Annexe F).

9.3.4 Trouver le message principal du Diorama

L'existence d'un fil conducteur explicatif est prépondérante dans une présentation interactive que le public peut parcourir en allant "dans tous les sens". Elle assure une homogénéité et un suivi plus facile de la présentation interactive.

Ce message principal du Diorama a été établi en même temps que le canevas interactif de l'explication prenait corps. Il repose sur une idée centrale et sur deux autres qui lui sont rattachées (voir à la fin du chapitre 4 pour plus de détails):

- l'idée centrale:
 - créer de la matière permet de découvrir la simplicité du monde microscopique
- les deux autres idées:
 - la matière est produite grâce à des accélérateurs
 - la matière produite est étudiée grâce à un détecteur

Les trois parties du canevas explicatif se retrouvent, imbriqués dans ce message. Il convient donc fort bien comme message principal. De plus ces trois idées suscitent la curiosité et les interrogations du public qui trouve là une motivation pour aller plus profondément dans l'explication. Ce message constitue donc vraiment un fil conducteur valable d'une explication générale sur les activités du CERN et sur la physique des particules.

Nous avons également demandé à des physiciens de nous fournir l'explication qu'ils pensent être la meilleure pour chacun des points du message principal (voir Annexe G). Nous avons pu en retirer plusieurs explications très différentes que nous avons ajoutées à celles que nous avons trouvées nous-mêmes. Cela permet d'insérer la même idée plusieurs fois en des endroits différents sans pour cela être répétitif. Le fil conducteur de l'ensemble du Diorama apparaît ainsi de façon plus riche.

9.3.5 La structure interactive de l'explication

On a alors pu établir la véritable structure interactive d'explication. Cette structure "définitive" étend l'organisation générale donnée au paragraphe précédent en détaillant chacune des trois parties principales. Les chapitres 5, 6 et 7 constituent une base de données explicatives pour les accélérateurs, les expériences et la théorie. Chaque notion importante, relative à ces trois parties, est individualisée dans des schémas synthétiques où les liaisons entre ces notions sont également indiquées. Une explication écrite complète les schémas pour chaque notion individuelle.

Le but de la conception est donc atteint, avec cette structure, car elle individualise correctement les notions et les liaisons à expliquer et on peut donc passer à la réalisation du Diorama. Les trois chapitres 5, 6 et 7, auxquels je renvoie ci-dessus, sont définis comme une base de données explicatives et pas comme donnant l'explication qui figure aujourd'hui dans le Diorama. Pourquoi?

En premier lieu, il fallait connaître l'ensemble de la structure explicative du Diorama avant de pouvoir se lancer dans sa réalisation qui nous a permis d'obtenir aujourd'hui un prototype du Diorama. L'explication que donne celui-ci aujourd'hui est donc parcellaire alors que la structure interactive d'explication, donnée dans ces trois chapitres, donne l'ensemble de l'explication. Ces trois chapitres constituent donc bien une base de données où l'on peut venir puiser pour compléter le prototype du Diorama.

En second lieu, il est apparu qu'un changement de la façon de réaliser l'audiovisuel correspondant à une ou plusieurs notions pouvait changer énormément la façon d'expliquer cette ou ces notions (voir le paragraphe *La réalisation et la structure interactive d'explication* dans le chapitre suivant). Faire un tel changement implique que l'on ne peut plus utiliser exactement l'explication, écrite pendant la conception, sur cette ou ces notions. Cette explication n'est alors pas vraiment perdue mais doit être réécrite. Il valait donc mieux constituer une base de données explicatives, plus souple d'emploi car s'adaptant plus facilement aux contraintes de la réalisation. On trouve donc pour chaque notion inscrite dans cette base de données:

- une explication écrite pour servir de base à une explication adaptée à la réalisation choisie
- une mise en évidence des points les plus importants
- des remarques sur la façon décrire l'explication pour favoriser la compréhension du public du niveau vert (vocabulaire à employer, points complémentaires à éviter, façon d'introduire ou d'axer une explication)

9.3.6 Concevoir une présentation avec MUSE

La phase de conception d'une présentation comme le Diorama est longue. Elle pourrait sûrement être raccourcie en utilisant le système MUSE dès que l'on dispose d'un scénario, analogue à celui du chapitre 4, décrivant approximativement l'ensemble de la présentation.

Un vidéodisque rempli de photos du CERN pourrait être employé dès ce moment¹. On peut mettre 54 000 photos sur un vidéodisque. Il serait donc assez polyvalent pour être utilisé lors de la conception d'une présentation interactive sur le CERN ou pour celle d'un film linéaire.

Un projet audiovisuel pourrait ainsi évoluer visuellement pendant sa conception. Cela diminuerait certainement le grand clivage qui existe entre la phase préalable de conception, utilisant surtout l'écriture, et la phase de traduction de ces écrits en image.

Ce clivage est particulièrement important dans la conception-réalisation d'une présentation multimédia à cause de toutes les images différentes qui peuvent apparaître en même temps et qui peuvent avoir une action les unes sur les autres.

¹Pour le projet Diorama cela n'a pas été possible aussi tôt car nous ne disposions pas d'un vidéodisque contenant assez d'images du CERN.

Chapitre 10

REALISER LE PROTOTYPE DU DIORAMA

10.1 Quelle partie explicative réaliser pour le prototype?

Il n'est pas possible de se lancer immédiatement dans la réalisation de l'ensemble de l'explication sur les activités du CERN. Cela représente une quantité de travail trop importante par rapport au temps fixé pour l'obtention du prototype. De plus il faut voir avec le public si la structure interactive d'explication conçue fonctionne et il vaut mieux tester cela sur une partie de l'explication que sur son ensemble.

Il faut donc trouver la partie adéquate à réaliser pour le prototype. Notre choix est la partie qui concerne l'accélérateur LEP et les quatre expériences qui s'y rattachent. Ce choix a plusieurs avantages. Il permet d'abord d'étudier comment se concrétisent les liaisons entre les parties principales de l'explication (accélérateur, expérience, théorie) et comment insérer le message principal du Diorama à la jonction de ces trois parties. Il permet aussi de présenter, avec le prototype, la recherche menée actuellement au CERN et dans le monde, la physique du Z^0 , c'est-à-dire l'actualité de la physique des particules à laquelle participe largement le LEP. Ce choix correspond aussi à l'attente des visiteurs qui ont récemment entendu parler du LEP et de ses résultats. Ils viennent donc à MICROCOSM pour voir quelque chose au sujet du LEP.

10.2 Les deux étapes de la réalisation

Le but principal de la réalisation du prototype du Diorama est d'arriver à présenter, sur l'écran du terminal informatique utilisé, l'explication sur le LEP, établie lors de la conception. La réalisation correspond à la mise en oeuvre des médias utilisables par le système MUSE:

- images animées:
 - vidéos
 - animations informatiques
- images fixes:
 - photos
- sons:
 - commentaires en voix off¹
 - commentaires des interviews
 - musique
- textes écrits sur l'écran du terminal:
 - sous-titres
 - explications complémentaires
 - noms des boutons d'action

Pour arriver à ce but, il faut procéder en deux étapes. La première est la constitution du vidéodisque, c'est-à-dire la collection des photos, le tournage et montage des séquences vidéo et enfin l'impression du vidéodisque. La seconde est la programmation de l'apparition des informations sur l'écran du Diorama, c'est-à-dire la création des textes, des animations nécessaires, des actions interactives et le placement à l'écran de toutes ces informations y compris des images venant du vidéodisque.

10.3 Réaliser les séquences vidéo

10.3.1 Les moyens vidéos utilisés

Ce sont les moyens vidéos du CERN qui ont été utilisés pour la réalisation des séquences vidéo du prototype. Ils conviennent tout à fait pour ce type de travail bien que le studio de montage soit limité (montage en cut² uniquement).

Le terme de génération est employé en vidéo pour désigner le nombre d'opérations effectuées pour obtenir une bande. La bande de tournage est de génération 1 et une bande

¹ Cette expression désigne un commentaire enregistré et synchronisé avec l'image au cours du montage et pas au cours du tournage.

² Ce terme du jargon technique vidéo signifie placer deux images successivement l'une derrière l'autre sans aucun effet. C'est la base du montage vidéo mais ne disposer que de cette possibilité est extrêmement limitatif.

de montage est de génération 2 puisque c'est une copie de bandes de tournage. A chaque nouvelle génération on perd de la qualité. Avec les matériels dits "high band", on ne perd plus une génération complète lors d'une copie ou d'un montage. Il faut néanmoins minimiser le nombre de générations pour optimiser la qualité de la bande finale. Celle-ci devrait toujours être de génération 2.

Pour le prototype du Diorama, cela n'a pas été possible car le "hardware" du système MUSE à notre disposition fonctionne avec le standard NTSC (américain)³. La bande PAL de deuxième génération obtenue après montage a dû être transcodée en NTSC. Une perte de qualité notable est consécutive à cette opération de transcodage. Cette baisse de qualité est d'autant plus sensible que les caractéristiques vidéo du standard NTSC sont moins bonnes que celles du PAL.

Ces problèmes de générations et d'incompatibilité entre les standards⁴ sont inhérents à la post-production vidéo et à l'utilisation de matériels d'origines différentes. Mais il y a également des problèmes liés à la production, c'est-à-dire aux tournages. Pour le travail que nous avons à faire pour le Diorama, ils étaient essentiellement au nombre de quatre:

- le cadrage
- l'éclairage
- le son
- les interviews

Les vues que l'on peut obtenir au CERN sont souvent très impressionnantes car les machines de la physique des particules sont très imposantes par leurs dimensions. Regarder le détecteur de L3 depuis sa base est un très bon exemple. Malheureusement on ne dispose pas de beaucoup de recul, dans les cavernes d'expérience, pour faire les prises de vue. Le cadrage paraît donc souvent étriqué car il ne montre pas l'ensemble. Pour compenser ce manque de recul, il faudrait un objectif grand angulaire correspondant à une focale de 24 mm en format photographique 24x36 mm, c'est-à-dire à un angle de prise de vue de 90 degrés environ. On se heurte alors souvent à des problèmes de distorsion géométrique des lignes droites qui peuvent gêner l'esthétique.

La lumière est aussi un grand problème car beaucoup des lieux de tournage sont extrêmement sombres. Il faut donc installer des éclairages pour pouvoir filmer par exemple la personne à interviewer sur un site. Ces éclairages, que l'on installe pour les besoins d'un tournage, ne peuvent être que très localisés (à moins de disposer des personnes nécessaires et de beaucoup de temps). On ne peut alors prendre aucune vue d'ensemble car le contraste⁵ des images résultantes serait alors trop fort.

Dans les cavernes d'expériences, il faudrait disposer d'un éclairage puissant (environ 50 kW pour des vues d'ensemble). Cela demanderait une longue préparation sauf si elles étaient équipées en permanence de projecteurs fixes (Des lampes sont déjà installées au

³Ce "hardware" est déjà disponible dans une version PAL. Nous n'avons malheureusement pas pu en disposer.

⁴A quand une uniformisation de ces standards?!

⁵Le contraste est la différence, sur l'ensemble de l'image, entre la luminosité la plus forte et la plus faible.

plafond mais elles ne sont pas en assez grand nombre). Il n'y aurait alors que des éclairages d'appoint à installer et à régler.

L'enregistrement du son a aussi été un grand problème. L'aération nécessaire des cavernes d'expérience crée un bruit de fond très important. Avoir un bruit d'ambiance pendant une interview filmée est très agréable si on peut le contrôler. Cela se fait normalement en utilisant deux microphones: un couvrant un angle très large pour le bruit d'ambiance et un second très directif pour la voix de la personne interviewée. On peut alors remixer en studio ces deux enregistrements audio afin de leur donner le rapport d'intensité sonore qui convient. Pour nos tournages nous ne disposons que d'un microphone et donc pas de ce contrôle. De plus ce bruit de soufflerie couvre un spectre sonore très large. Cela ne permet pas, en studio et avec un bon égaliseur, de le séparer facilement de la voix de la personne interviewée. Doubler le son en studio est donc la seule possibilité pour avoir ce contrôle. Mais il est alors extrêmement difficile de synchroniser le son et l'image.

10.3.2 Les deux types de séquences vidéo

La présentation Diorama contient deux types de séquences vidéo. Il y a les séquences en voix off et les interviews. Pour les réaliser, deux étapes sont nécessaires. Il faut préparer le script de la séquence et son tournage, puis effectuer le tournage lui-même. Pour les deux types de séquences qu'utilise le Diorama, l'écriture des scripts est très différente.

L'écriture des scripts

Dans le jargon cinéma ou vidéo, le terme script désigne l'explication, le commentaire synchronisé avec une séquence d'images. L'écriture des scripts du Diorama a nécessité plusieurs étapes successives:

- Première écriture:
c'est celle que l'on trouve pour chaque notion dans la base de données explicatives
- Deuxième écriture:
elle focalise l'explication de la base de données lorsque l'on a déterminé le ou les points dont on veut vraiment parler dans la séquence réalisée
- Troisième écriture:
adaptation de l'écriture précédente aux impératifs de la réalisation

Dans le cas d'une séquence en voix off, le script doit être très précis car il doit correspondre à la durée exacte de cette séquence d'images et compléter l'information que les images de cette séquence contiennent déjà. La précision du script dépend aussi de la personne qui doit le dire. Parler clairement et distinctement dans un temps donné et court, tout en le faisant naturellement, est une chose très difficile. On peut dire que, sauf exception, seul un acteur professionnel en a le savoir faire. Par contre, un acteur ne comprend pas un texte scientifique dans son détail, même s'il est de CSP. Aussi pour les séquences en voix

off, il faut écrire un script à la virgule près et l'acteur n'a alors qu'à le lire tout en étant enregistré.

Remarquons que ce mode d'écriture est très contraignant mais permet par contre un contrôle total sur le contenu et la durée. Ces deux facteurs représentent un avantage considérable au niveau d'une explication.

UN SCRIPT EN VOIX OFF

LES PARTICULES DANS LE TUBE A VIDE DU LEP

Suivons un paquet d'électrons dans le tube à vide de l'accélérateur LEP. Bien que non visible ici, un paquet de positons circule dans le sens opposé.

Les aimants bleus forcent les particules à former un paquet dense. D'autres aimants courbent la trajectoire du faisceau pour qu'il reste dans le tube à vide du LEP.

Les cavités sphériques localisées en deux points du LEP accélèrent les particules.

Voici le détecteur.

Cette fois, pas de collision.

A nouveau accélération, focalisation et courbure. Le paquet d'électrons approche du détecteur. Cette fois une collision a lieu avec le paquet de positons, produisant une particule Z^0 .

Les interviews réalisées pour le Diorama mettent en scène des physiciens placés en différents lieux des cavernes d'expérience et de l'accélérateur du LEP. Avec eux, il faut procéder autrement pour l'enregistrement d'un commentaire. Préparer un script exact n'est pas utile. En effet, ils n'ont pas, pour la plupart d'entre eux, la pratique de cet exercice. De plus chacun a ses habitudes de langage et le fait que de nombreuses nationalités soient représentées au CERN ne fait que renforcer l'importance de ce paramètre. Leur imposer un script précis donne une apparence non naturelle à l'interview, ce qui est bien sûr à éviter.

Il faut plutôt rechercher seulement l'idée principale, le fil conducteur de l'interview. Il faut en parler avec la personne à enregistrer afin qu'elle comprenne dans quel ensemble va être incluse cette interview. Elle peut alors préparer elle-même le texte définitif qu'elle adaptera à sa façon de dire les choses. Il faut toutefois veiller à ce que son script mette

toujours en évidence l'idée principale voulue et que le vocabulaire employé corresponde au niveau du public.

UN SCRIPT INTERVIEW

INTRODUCTION A LA VISITE D'ALEPH (INTERVIEW DE J. LEFRANCOIS)

A la surface, devant l'ascenseur

Bonjour! Je m'appelle Jacques Lefrançois. Je suis le porte-parole de l'expérience ALEPH.

Je vais vous montrer le détecteur d'ALEPH. Il se trouve à 150 mètres sous nos pieds, au niveau du LEP. Il nous faut donc prendre l'ascenseur.

Maintenant dans l'ascenseur

Nous étudions ce qui se passe lors de la création de matière et nous utilisons l'accélérateur LEP pour produire des collisions de particules.

ALEPH est l'un des quatre points, le long du LEP, où ces collisions se produisent. Elles ont lieu au milieu du détecteur qui est un grand cylindre (*le montrer sur une figure*).

Lorsque deux particules entrent en collision, une gerbe de nouvelles particules est créée. Les nouvelles particules sont enregistrées lorsqu'elles traversent les différentes couches du détecteur.

Maintenant dans la caverne

Nous voici dans la caverne d'expérience. Le détecteur se trouve juste derrière les salles de contrôle que vous voyez devant vous.

Le tournage des séquences

Pour le tournage de ces deux types de séquences, on se retrouve souvent confronté aux mêmes problèmes pour l'image (cadrage, éclairage, mouvement de caméra, etc...). La "seule" différence, avec une interview, est l'intervention de la personne interviewée. Il faut, en premier lieu, essayer de la mettre à l'aise devant la caméra. Tous les moyens sont bons: l'humour, lui expliquer les différentes choses qui vont se passer durant le tournage (mouvement des personnes à côté la caméra) et dont elle doit faire abstraction, bien lui

montrer qu'un arrêt ou une hésitation ne sont pas graves puisque l'on peut recommencer.

Il faut aussi lui donner des petits trucs très importants comme l'endroit où elle doit porter son regard. Il ne faut pas hésiter à tourner plusieurs fois la même interview car il y a toujours une prise qui est meilleure qu'une autre. Il ne faut pas non plus abuser de cette recette car la personne interviewée est souvent stressée et vite fatiguée de rester concentrée sur ce qu'elle doit dire dans un temps limité avec une grosse lampe dans les yeux. Si l'on n'a pas obtenu ce que l'on veut après deux ou trois prises, il vaut mieux faire une pause.

10.4 Programmer la présentation avec MUSE

10.4.1 Organiser les images présentées

Le système MUSE n'était pas encore installé au moment de cette étape. Mais nous connaissons suffisamment ses possibilités pour ne pas changer l'esprit du Diorama en travaillant avec d'autres moyens informatiques. Ceux-ci se sont avérés très pratiques pour découvrir comment structurer l'apparition des images et des boutons d'action.

Définissons les termes employés au cours de cette étape.

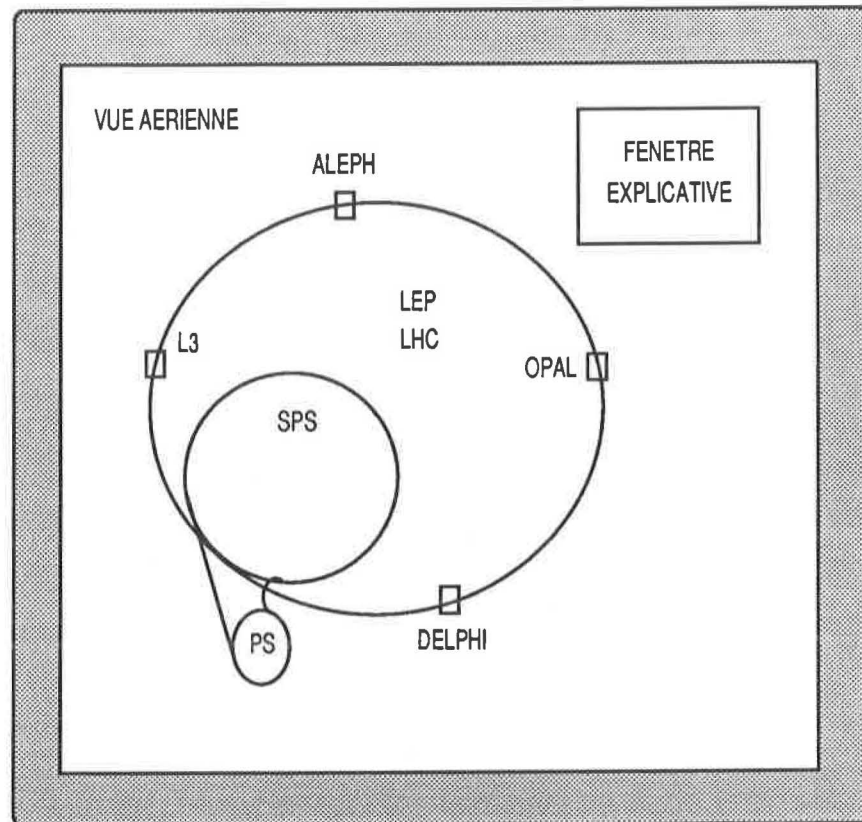
- l'écran:
Il contient les fenêtres et les objets
- la fenêtre:
Elle est incluse à un écran et contient des objets
- l'objet:
Il est inclus à une fenêtre particulière. Ce peut être une image fixe ou animée (photographie, graphique, animation ou séquence vidéo), un texte (commentaire ou indication) ou un bouton d'action

L'écran pouvant servir de point central au Diorama contient une fenêtre principale où une image montre une vue aérienne des environs du CERN avec le tracé des accélérateurs et la localisation des différentes expériences pour lesquelles une explication est apportée (c'est-à-dire celles du LEP pour le prototype). Il est donné dans le graphique noté G1.

Une animation se déroule sur la vue aérienne. Un point symbolisant un paquet d'électrons tourne dans le LEP. Un deuxième point, pour le paquet de positons, y tourne dans l'autre sens. De temps en temps, ils entrent en collision à l'endroit d'une des expériences, créant une gerbe de nouvelles particules.

Cette animation permet de ne pas avoir un écran mort tout en montrant déjà la fonction de la machine LEP. La gerbe de particules devrait aussi susciter l'envie d'amener la souris aux quatre endroits où elle apparaît.

G1: ECRAN CENTRAL DU DIORAMA



Avec ce graphique il est apparu que l'animation serait illisible si l'on y faisait figurer tous les paquets de particules présents dans le LEP (quatre paquets d'électrons et quatre paquets de positons). Pour rester claire et compréhensible l'animation ne montre qu'un paquet tournant dans chaque sens.

Il est apparu aussi qu'il vaut mieux montrer une photographie aérienne du CERN où le PS est au premier plan. L'explication sur la production des particules (voir ci-après) s'inscrit beaucoup mieux à une image aérienne prise sous cet angle. Sous les autres angles, le PS, comprimé par l'effet de la perspective, est trop petit.

On a aussi réservé une partie de l'écran à une autre fenêtre où un texte décrit succinctement ce qui est présenté ainsi que les actions possibles de l'utilisateur pour continuer:

- cliquer avec la souris sur une des expériences
- cliquer sur l'un des autres mots inscrits à l'écran (LEP, LHC, SPS et PS) qui concernent le chapitre accélérateur

Supposons qu'il ait cliqué sur l'inscription PS. Le deuxième écran obtenu alors est structuré autour d'une fenêtre contenant un schéma où est représenté l'injecteur LPI raccordé au PS. On se trouve donc au début de la chaîne des accélérateurs et l'explication principale à donner est la production des particules qui pourra être suivie de celle sur les accélérateurs eux-mêmes, c'est-à-dire sur leur fonctionnement.

Il y a donc deux boutons d'action pour déclencher chacune de ces deux explications. Supposons que l'utilisateur ait choisi celle sur la production des particules⁶. Il peut choisir la particule qu'il veut produire: électron ou positon. Il obtient son choix en cliquant sur le bouton d'action lui correspondant. Une animation commentée vient alors sur le premier schéma, celui des installations liées au PS. Elle décrit toutes les phases de la production.

Une deuxième fenêtre apparaît. On peut y insérer une photographie illustrant la partie de la machine servant à chaque nouvelle phase de la production. Elle peut également contenir un deuxième schéma plus détaillé de cette partie de la machine (la zone du LPI). L'animation peut alors se dérouler sur ce dernier schéma plus grand et donc plus clair.

On peut aussi se servir d'un autre objet pour y insérer un commentaire écrit synchronisé avec la bande son. Ce sous-titrage peut être pratique pour les mal-entendants et pour avoir une traduction de la bande son dans différentes langues.

Avec ce deuxième écran possible on découvre que les documents placés dans les différentes fenêtres se complètent. Pouvoir disposer de plusieurs fenêtres en même temps est donc un grand avantage. On voit aussi d'autres impératifs à suivre pour obtenir une présentation claire et facile à utiliser.

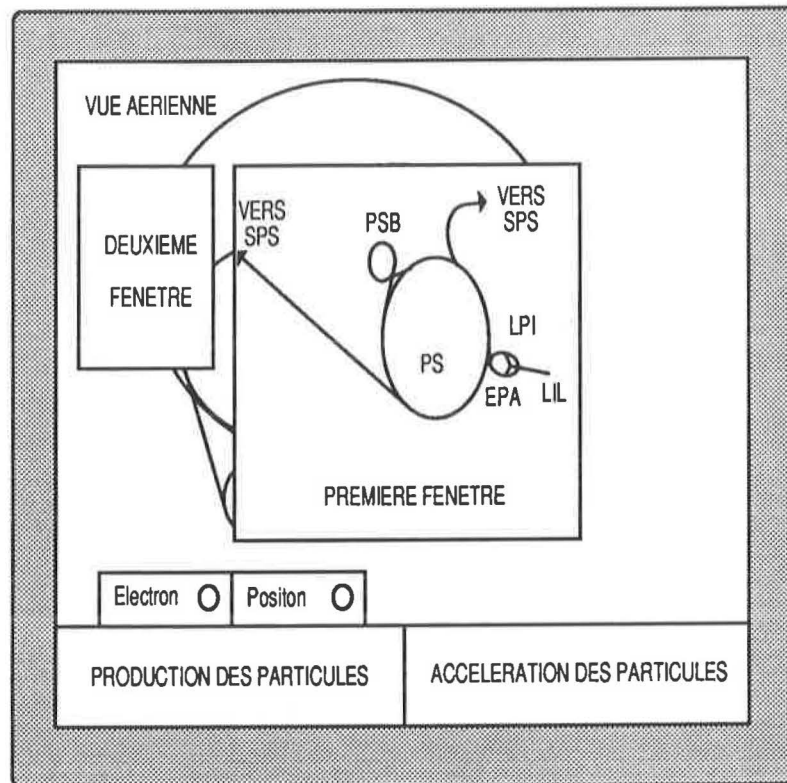
Il faut tout d'abord veiller à ce qu'un nouvel écran ne recouvre pas complètement le précédent. Ainsi on voit sur le deuxième graphique que tous les éléments du deuxième écran (les deux fenêtres et les boutons d'action) ne cachent pas totalement le premier écran.

Le fond du nouvel écran (le deuxième dans notre exemple) est alors l'écran précédent (le premier dans notre exemple). Il est ainsi plus facile de revenir à l'écran précédent en cliquant sur le fond du nouvel écran. De plus si deux écrans successifs ont un recouvrement total, l'utilisateur peut avoir l'impression qu'il va se perdre dans l'ensemble de la présentation puisque son choix précédent disparaît.

Une autre contrainte intervient lors de l'utilisation des différentes fenêtres employées dans un même écran. Cela se voit très bien dans l'exemple du deuxième graphique.

⁶L'écran est alors structuré de façon analogue au second graphique noté G2.

G2: PRODUCTION DES PARTICULES



Le schéma général venant dans la première fenêtre met un certain temps à apparaître. Cela ne pose ici aucun problème car on est alors en plein changement d'écran. Un problème existe par contre lorsque l'on veut placer une photographie dans la deuxième fenêtre en synchronisant son apparition avec l'explication donnée. Le "Parallax Board" doit aller chercher l'image nécessaire sur le vidéodisque puis la digitaliser. Il y a donc un certain temps de latence avant l'apparition de ce nouveau document. Pour le minimiser il faut que les différents documents soient placés sur le vidéodisque en fonction de leur utilisation à venir.

Soulignons aussi qu'il n'est pas possible de faire apparaître à l'écran deux séquences animées simultanément. On ne peut en effet pas lire le vidéodisque en deux endroits différents en même temps.

10.4.2 Le travail mené actuellement avec MUSE

MUSE est un système prototypique. Son langage est donc encore limité par le nombre et la fonction des macroinstructions prédéfinies. Ainsi le langage de MUSE ne permet pas encore de faire des animations très élaborées⁷ car les macroinstructions nécessaires pour cela ne sont pas encore écrites. Or pour la CSP des animations sont très utiles. Elles sont particulièrement primordiales pour le Diorama dans les chapitres sur les accélérateurs et dans celui sur la théorie.

On voit dans cette situation que le système MUSE a été conçu comme un outil réellement utilisable pendant la réalisation de présentations audiovisuelles. En effet de nouvelles applications peuvent devenir nécessaires en cours de réalisation. Pour que la présentation puisse alors progresser, il faut que ces applications soient utilisables aussi rapidement que possible sans avoir à attendre une nouvelle version complète du système.

Ses concepteurs n'ont pas oublié ce point. Ainsi un programme écrit avec les macroinstructions déjà définies dans une version peut faire appel directement à des programmes écrits en langage C. Ceux-ci préfigurent une nouvelle version complète du système mais ils sont déjà utilisables pour faire avancer la présentation en cours de réalisation.

Le vidéodisque contenant les images du Diorama est maintenant pressé. La programmation de la présentation a donc commencé. Les écrans successifs s'organisent avec leurs fenêtres. Un type de fenêtre revient souvent: la fenêtre vidéo. Elle rend facile l'interactivité que nous recherchons en contenant trois objets principaux:

- une image faisant partie d'une séquence vidéo
- un commentaire écrit
- une série de boutons d'action

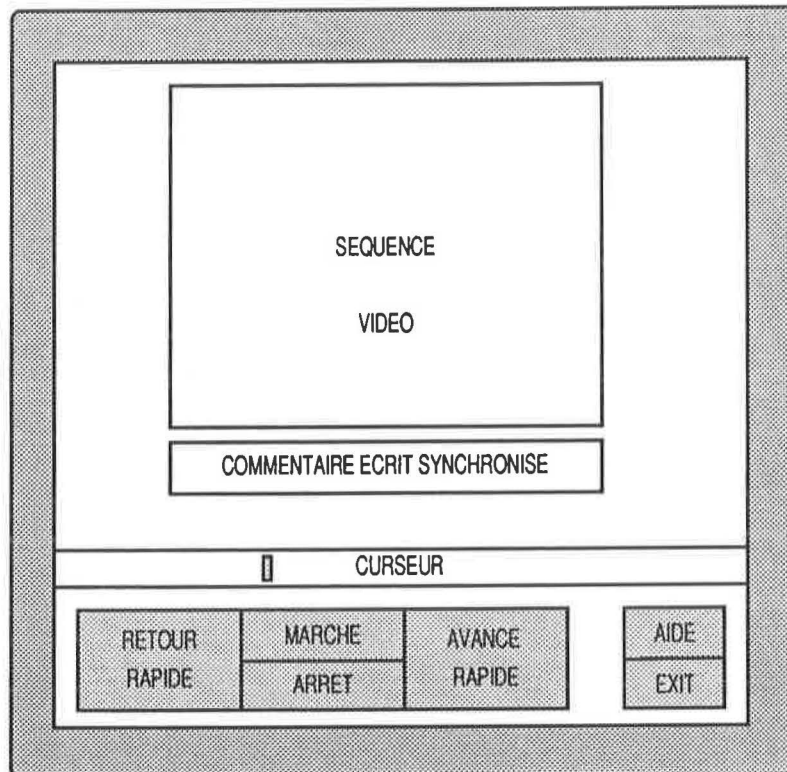
C'est la série des boutons d'action qui rend la séquence vidéo très interactive. On dispose des fonctions usuelles existant sur un lecteur de disque compact: lecture en avant et en arrière, arrêt, avance et retour rapide.

La longueur de la séquence est de plus représentée par une ligne sur laquelle on peut déplacer un curseur. Il permet d'aller très rapidement à n'importe quel endroit de la séquence en faisant un saut vers l'avant ou vers l'arrière dans l'image et le sous-titrage. La synchronisation entre ces deux objets reste toujours correcte parce qu'ils sont "attachés" à la même fenêtre.

Toutes ces fonctions permettent une utilisation très souple de la séquence vidéo. On peut arrêter son déroulement pour regarder en détail une image particulière ou pour jouir de son esthétique. On peut aussi revenir autant de fois que l'on veut sur une partie de la séquence afin de mieux profiter de l'explication.

⁷Une nouvelle version de MUSE avec des possibilités plus grandes d'animation est actuellement en préparation.

LA FENETRE VIDEO



10.5 Les difficultés de la réalisation

10.5.1 La mise en image des explications

Pour illustrer les explications sur les particules et leurs interactions, il y a besoin de créer des images, surtout des animations. La représentation que l'on donne ainsi du

monde microscopique peut engendrer des problèmes sur la compréhension du public pour l'explication ainsi donnée. Ces problèmes de représentation sont de deux types:

- le public prend la représentation donnée pour la réalité
- les tailles relatives des différents objets insérés dans l'image créée ne peuvent être respectées

Le public associe la représentation donnée avec la véritable apparence des particules. Il considère que c'est l'image de la réalité comme si une animation, entièrement créée, était une véritable photographie des particules. Il n'imagine pas qu'il est fort possible que l'on ne verra jamais vraiment une particule et qu'une représentation joue plutôt un rôle au niveau du formalisme mathématique de la physique des particules.

Ainsi dire qu'une particule est ponctuelle ou la présenter comme telle est relié à une notion algébrique. Les particules considérées comme élémentaires le sont car on ne leur a pas découvert de structure interne. Elles correspondent donc au plus petit élément d'un ensemble algébrique, le point qui est aussi indivisible. Représenter une telle particule élémentaire comme un point est donc justifié.

La majeure partie du public peut trouver cela étrange. Elle considère que cette particule doit avoir une extension spatiale puisqu'elle a une masse. Il y a assimilation entre l'espace mathématique et l'espace réel. Si l'on fait mention d'une autre représentation possible, le problème se complique encore. Ainsi la théorie des cordes montre une évolution possible de la physique des particules en représentant les particules avec des cordelettes. Comment faire comprendre qu'une nouvelle représentation peut amener de nouveaux résultats? Comment faire comprendre aussi que travailler avec différentes représentations ne change en aucun cas la véritable apparence des particules (si elles en ont une bien définie)?

Ces difficultés de représentation se retrouvent dans les tailles relatives que l'on donne aux différents objets d'un schéma explicatif. Des images assez classiques sont utilisées comme celle du noyau d'un atome ayant la taille d'une orange placée au milieu d'un terrain de football. Les électrons de cet atome sont alors à la périphérie du terrain. On donne ainsi une idée de la distance entre le noyau et les électrons.

Cependant on ne pourrait pas montrer la taille que devraient avoir les électrons, comparativement à celle de l'orange, avec cette seule image. A la même échelle on ne verrait pas l'électron. Si l'on change d'échelle pour l'apercevoir on perd alors la possibilité de voir tous les éléments de cette image et ce serait encore raté. Ainsi on ne peut de toutes façons pas donner une image "réelle" des choses sans risquer des incompréhensions dues aux multiples changements d'échelle nécessaires.

Cela est d'autant plus critique que ces échelles couvrent un très grand nombre d'ordres de grandeur. Habituellement le public raisonne jusqu'à l'ordre de grandeur du milliard. Des nombres beaucoup plus grands ou plus petits ne veulent ensuite plus rien dire, surtout s'il faut les comparer. La portée des quatre forces fondamentales, par exemple, varie entre l'infini et 10^{-16} cm! Même si l'on approxime la portée de la force de gravité à la distance entre la terre et le soleil, cela fait encore environ 29 ordres de grandeur!

10.5.2 La réalisation et la structure interactive d'explication

La difficulté essentielle en cours de réalisation est de ne pas casser la structure interactive d'explication établie lors de la conception. Il semble que les contraintes de réalisation aient une plus grande incidence sur la conception d'une présentation interactive que sur celle d'un film linéaire. Dans quelle mesure la réalisation peut-elle casser cette structure. L'exemple des interviews vidéo que nous avons réalisées montre très bien ce phénomène.

Impact de l'insertion des interviews

La structure interactive d'explication a individualisé un nombre assez important de notions et, au départ, nous ne pensions utiliser que des séquences vidéo en voix off pour les illustrer. Mais cela aurait certainement rendu la présentation peu attractive dans son ensemble. On retrouve le problème évoqué dans le texte sur la CSP: l'absence de l'homme à côté de la machine peut rendre une présentation de CSP très rébarbative (voir Annexe A). Pour rendre le Diorama plus vivant et pour lui donner une dimension plus humaine, l'idée est venue de réaliser des interviews. Des physiciens ont été contactés pour parler de leur travail et interviewés sur le lieu correspondant à l'explication apportée.

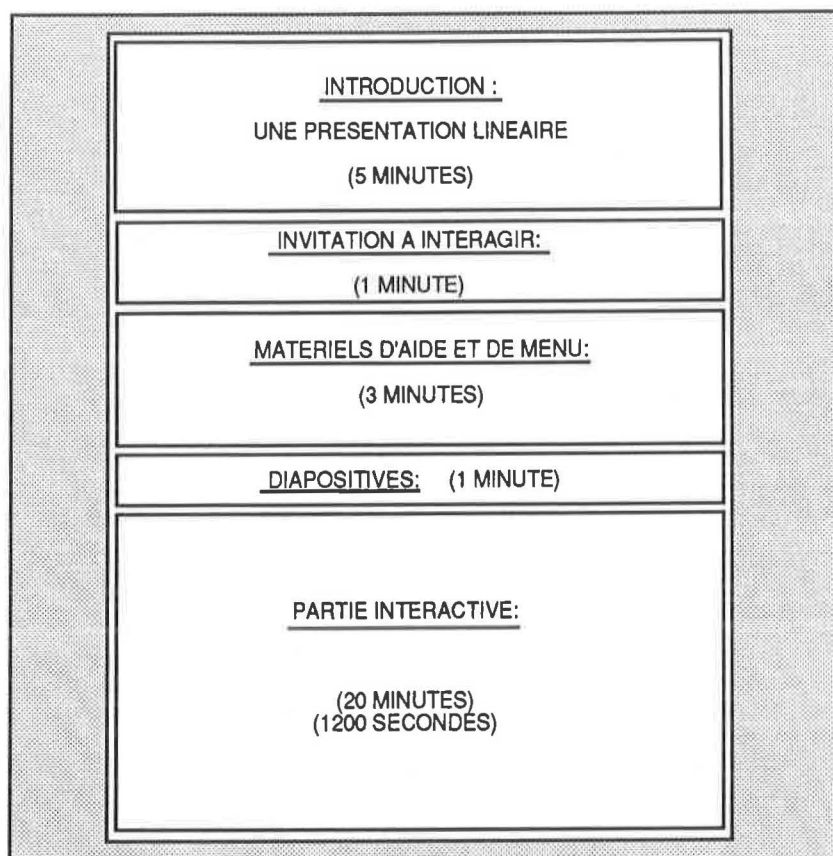
Cette insertion d'interviews a marqué une réelle évolution dans la réalisation. Elles rétablissent la présence d'un discours linéaire dans le Diorama car elles peuvent recouvrir plusieurs des notions "individualisées" dans la base de données explicatives et c'est la personne interviewée qui effectue les liaisons entre ces notions. Au premier abord, il peut sembler que la structure interactive est "cassée" par l'implantation d'interviews.

En fait la logique de la structure de l'explication n'a pas complètement changé à cause des interviews. Lors de l'écriture de leur script on avait spécialement veillé à ce que les liaisons entre les notions qu'elles rassemblent correspondent toujours à la base de données explicatives. Par contre les interviews ont changé la façon dont la structure interactive apparaît au public puisque certaines des notions ne sont plus individualisées mais rassemblées dans des interviews. Celles-ci rendent donc la structure interactive d'explication moins transparente dans la présentation que voit le public. Avec une séquence vidéo par notion, la structure interactive serait, au contraire, quasiment lisible sur l'écran du Diorama.

La durée d'une présentation multimédia interactive

Lorsque le canevas général de l'explication a été trouvé et lorsque nous avons pensé à bâtir les trois niveaux d'interactivité du Diorama, nous avons établi le contenu du vidéodisque à réaliser selon le schéma ci-dessous.

CONTENU DU VIDEODISQUE



Les différentes séquences vidéo devaient donc avoir une durée totale de 20 minutes au maximum. Mais la réalisation des interviews nous a fait perdre le contrôle de la durée exacte des séquences vidéo à placer sur le vidéodisque qui contient aujourd'hui environ 25 minutes d'interviews et 5 minutes de diapositives. On voit déjà que certains éléments prévus ont disparu: la partie introductrice linéaire, l'invitation à interagir, les aides et le menu. En plus, les 25 minutes de vidéo disponibles ne recouvrent pas l'ensemble des notions à traiter pour arriver au but du prototype: expliquer l'accélérateur et les expériences du LEP.

Le vidéodisque actuel correspond en fait à la liste ci-dessous:

- sur la partie accélérateur:
 - on a deux séquences différentes sur la technologie du LEP
 - on n'a pas le complexe des accélérateurs servant pour le LEP
- sur la partie expériences:
 - on a différentes interviews sur chaque expérience
 - on n'a pas de séquence illustrant le principe de détection
- sur la partie théorique:
 - on n'a aucune séquence
- sur le message principal:
 - on n'a aucune séquence

On pourrait donc penser que la situation est dramatique! En fait penser cela signifie oublier complètement les spécificités du Diorama et du système MUSE utilisé. Le Diorama est une présentation multimédia interactive et le système MUSE est capable de générer des textes et des animations.

Multimédia veut dire que toutes les informations ne doivent pas être présentées avec le même média. Le vidéodisque, qui a une longueur bien limitée, ne doit donc pas contenir tous les documents nécessaires au Diorama. De plus le système MUSE nous donne cette possibilité puisqu'il est capable de produire d'autres médias. Interactive veut dire que l'on peut rajouter dans la présentation un document à l'endroit et au moment voulus (sur un système informatique comme MUSE en tout cas).

C'est la magie de ce genre de présentation: on peut compléter la présentation obtenue par l'insertion d'autres documents. Remarquons que la durée d'une telle présentation est donc assez élastique. Remarquons aussi que cette souplesse de réalisation vient en partie de la quantité de diapositives disponibles sur le vidéodisque. A ce niveau, nous avons bien fait attention de rassembler un ensemble de diapositives pouvant aussi bien illustrer les notions, pour lesquelles nous avons des séquences vidéo, que les autres notions. C'est pour cela que les diapositives représentent environ 5 minutes du vidéodisque, soit environ 2000 images fixes, au lieu de la minute prévue initialement.

Le travail qui nous reste à faire pour finaliser le prototype est donc de profiter au mieux des documents placés sur le vidéodisque (séquences vidéo et diapositives) et de profiter des possibilités du système MUSE pour créer les documents qui manquent. On pourra ainsi réintégrer le message principal du Diorama absent pour le moment. On pourra aussi développer la présentation pour entrer plus dans le détail des explications. La base de données explicatives trouve ici son plein emploi.

Chapitre 11

CONCLUSION

11.1 Le prototype du Diorama, développements futurs

On a vu au cours du chapitre 10 que le prototype du Diorama n'est pas terminé. Des parties explicatives importantes sont absentes. Ainsi le message principal qui doit lier les explications entre elles et permettre de voir le but de la recherche en physique des particules en le reliant aux énormes machines qu'elle doit utiliser pour y parvenir. Pour l'instant le Diorama apparaît peut-être plus comme une juxtaposition de différentes explications dont on ne perçoit pas vraiment le lien. Il faut de plus concrétiser les trois niveaux interactifs et intégrer une introduction au Diorama pour que quelqu'un qui ne connaisse même pas l'existence du CERN sache de quoi parle le Diorama. Il y a là un gros travail à fournir en utilisant notre imagination, la base de données explicatives et les possibilités multiples du système MUSE.

En fait la balle est maintenant, ou presque, dans le camp du public. L'étape qui s'annonce véritablement, et à laquelle il faut donner la priorité après la finalisation du prototype du Diorama, est en effet de redonner la parole aux étudiants. Il faut qu'ils utilisent le Diorama et nous apprennent si son prototype présente des explications qu'ils comprennent, si il fait évoluer leurs conceptions préalables et si il est simple à utiliser. L'amélioration du prototype du Diorama et le développement d'une explication plus complète sur chaque notion présentée viendra certainement, mais dans une phase ultérieure. Il dépendra en grande partie des réflexions que le prototype du Diorama peut déjà susciter chez le public. Toute l'équipe du Diorama en apprendra beaucoup avec les étudiants, aussi bien sur l'explication de la physique des particules que sur la structure de l'interactivité.

11.2 L'interactivité, pour ou contre?

Un aspect captivant de ce travail de Diplôme a été de pouvoir travailler à l'élaboration d'un système interactif. Il reste encore beaucoup plus de questions sur l'interactivité et sur ses possibilités didactiques que de réponses. C'est l'une des directions de la suite du travail à effectuer avec le Diorama: améliorer notre connaissance sur cette façon d'organiser et de présenter une explication. Voici quelques pistes...

11.2.1 L'interactivité et la conception-réalisation

On ne peut concevoir une présentation interactive, donc non-linéaire, sans comparer sa conception avec celle d'un film linéaire. Une présentation non-linéaire nécessite la constitution d'une structure interactive qui est longue à établir. C'est donc un désavantage par rapport à la conception d'une présentation linéaire qui n'a pas besoin d'une telle structure. Par contre, la base de données explicatives d'une présentation interactive permet d'établir ensuite un nombre considérable d'explications. En effet une telle base de données permet de connaître toutes les notions individuelles et toutes les liaisons qui les rattachent.

De même la réalisation d'une présentation non-linéaire est plus difficile au premier abord. On retrouve dans un film un enchaînement linéaire des idées exprimées, on retrouve le type de discours auquel on est habitué. Lorsque le fil conducteur d'un film est trouvé, "il n'y a plus qu'à" aller de A à Z. Pour une présentation interactive, tout semble différent. Au début, on ne sait pas par où commencer ni où aller. Mais ensuite on s'aperçoit de la grande souplesse de conception-réalisation que l'on a. Une fois la structure d'explication trouvée, on voit que l'on peut compléter sa réalisation petit à petit, en rajoutant une explication à un endroit précis. On ne retrouve pas cette possibilité pour un film. On n'y retrouve pas non plus l'élasticité de durée qui existe dans une présentation non-linéaire.

11.2.2 L'interactivité et la compréhension du public

Une présentation interactive permet à son utilisateur d'être actif en faisant un choix entre différents chemins possibles. Cette liberté favorise son implication dans les informations auxquelles il accède. Elle favorise donc aussi une démarche d'apprentissage. Il y a aussi un côté ludique, qui ne se retrouve pas en regardant un film, dû aux actions à effectuer pour passer d'une notion à une autre. Il peut engendrer un plaisir d'apprendre. Il se peut aussi que cet aspect ludique ait un fort impact sur l'utilisateur d'une présentation interactive, au détriment de l'attention qu'il portera sur l'explication à laquelle il accède.

Pour qu'une présentation interactive puisse servir à un apprentissage, il faut structurer l'interactivité, c'est-à-dire organiser les informations présentées, c'est-à-dire individualiser les notions relatives à un sujet et montrer leurs liaisons. Un problème de l'interactivité réside dans la façon dont l'utilisateur voit les liaisons. Elles peuvent paraître de façon abstraite au public. En effet, elles se concrétisent, la plupart du temps, par le fait "d'appuyer"

avec la souris sur un endroit de l'écran ce qui permet de passer d'une explication à une autre.

Cette façon de "suivre" une explication n'est pas habituelle et cela peut certainement gêner le public dans sa compréhension. Il est possible que ce côté abstrait des liaisons augmente la dépendance de la compréhension de l'explication globale en fonction du niveau des connaissances préalables du public. C'est un point à tester avec les étudiants. L'utilisation d'interviews est ici un avantage. En effet la personne interviewée lie elle-même les notions dont elle parle en rétablissant le discours linéaire habituel. On peut donc envisager d'utiliser des interviews dans une présentation interactive pour que des liaisons particulièrement difficiles soient établies correctement.

11.3 Le dilemme d'une explication en physique des particules

Le Diorama doit montrer ce que recherchent les physiciens des hautes énergies. Les visiteurs de Microcosm demandent également à mieux apercevoir cette simplicité et cette unité du monde microscopique car ils distinguent bien là le but de cette recherche fondamentale. Le vulgarisateur peut donc privilégier cet aspect des choses. Mais il se heurte au fait que c'est là le domaine de l'abstraction mathématique. Il est aussi difficile de la transmettre que de l'appréhender.

Le vulgarisateur ne doit pas pour non plus négliger dans son explication l'aspect expérimental de la recherche en physique des particules. Sans les machines, sans les preuves expérimentales qu'elles amènent en posant des questions à la réalité du monde, la théorie ne serait qu'une sorte de rêve. Le public aussi demande à voir ces machines utilisées dans des lieux comme le CERN. Il comprend d'ailleurs assez bien les principes de fonctionnement des accélérateurs ou des détecteurs. Cependant ses questions entraînent l'explication vers la physique des phénomènes. *Pourquoi de si gigantesques machines pour de si petites particules? Pourquoi tant d'appareils si concrets pour découvrir des choses si abstraites?*

L'explication de la physique des particules est donc basée sur un dilemme. Ce qui passionne le plus le public, c'est la physique des phénomènes. Mais il s'y perd assez vite car elle demande beaucoup de connaissances préalables et il n'a généralement que des connaissances très parcellaires. Essayer de "coller ensemble ces morceaux" avec lui est vraiment passionnant.

Je rapprocherais le dilemme de cette explication d'une citation de Jean Perrin (référence: émission Dynamo / FR3 - La Sept / février 1991).

"La science remplace du visible compliqué par de l'invisible simple."

Chapitre 12

REMERCIEMENTS

La conception-réalisation d'une présentation comme le Diorama offre une grande diversité de choses à faire: comprendre soi-même plus de physique, réaliser et monter des séquences vidéo, collaborer avec des gens d'horizons différents, faire de la photographie, découvrir l'interactivité et certains aspects de cette "nouvelle" organisation de l'information, écrire des scripts, discuter avec des visiteurs de MICROCOSM et mieux appréhender leur compréhension de la physique, travailler au sein d'une organisation internationale, etc.. Participer à un tel projet et faire un travail de Diplôme dans ces conditions est donc une expérience très enrichissante. Je tiens donc à remercier toutes les personnes qui ont rendu ce travail possible.

Je tiens à remercier en premier lieu tous les membres du DPNC qui ont accueilli très favorablement l'idée d'un travail de Diplôme sur un sujet de vulgarisation scientifique. Je pense tout particulièrement aux Professeurs M. Bourquin, P. Extermann, R. Mermod et au Docteur M. Kienzle.

Celui-ci et le Professeur M. Bourquin doivent être doublement remerciés pour m'avoir d'abord laissé une grande indépendance puis pour m'avoir remis dans la bonne direction lorsque je m'en éloignais en écrivant ces pages. Merci aussi au Professeur A. Giordan pour ses conseils à ce niveau.

Le long travail de conception du Diorama n'aurait pu être mené sans le support du Docteur W. Kienzle, responsable du projet MICROCOSM. Je le remercie pour son aide et pour tout le temps qu'il m'a donné pour écrire ce mémoire. Merci au Professeur M. Jacob pour les éclaircissements qu'il a apportés sur les notions théoriques incluses au Diorama. Merci aussi à Monsieur G. Hentsch pour ses nombreux et fructueux conseils.

L'équipe du Joint Project de Digital Equipment, dirigée par Eric Gerelle, a apporté son support matériel et technique et s'est chargée du hardware qui est une part essentielle dans la présentation Diorama. Qu'elle en soit remerciée et tout particulièrement Greg Grajew à qui aucune difficulté technique ne résiste.

J'exprime ma sympathie à toutes les personnes impliquées dans la conception du Diorama: D. Bertola, L. Bettelli, J. Geer, M. Hodges et J. P. Vialle. La bonne humeur et le dynamisme règnent au sein de cette équipe avec laquelle c'est un plaisir de travailler.

Je remercie aussi chaleureusement tous ceux qui nous ont aidés de leurs avis, de leurs conseils, en répondant à nos questions ou en ayant accepté d'être interviewé.

Des spécialistes de la didactique et de la pédagogie n'ont pas non plus hésité à nous faire bénéficier de leurs compétences. Un grand merci au Professeur A. Giordan, aux Docteurs R. Carreras et J. Gréa.

La vidéo est essentielle dans un projet multimédia. Que toute l'équipe vidéo du CERN soit remerciée et en particulier Daniel Boileau et Patrick Gilbert de Vautibault pour leur grande disponibilité et leur extrême gentillesse.

Tout le groupe de Microcosm a aussi constamment contribué à l'avancement du projet: Claude Herman, Jean Collombet, Raymond Lewis et d'autres encore.

Merci à mes parents, merci à tous.

Bibliographie

- [1] *Large Electron-Positron Ring, Technical Notebook*
CERN Publications, novembre 1989
- [2] E. Wilson, *Accelerators for the 21th century, a review*
Yellow Report, CERN 90.05
- [3] P. Germain, *Introduction aux accélérateurs de particules*
Yellow Report, CERN 89.07
- [4] J. R. Rees, *The Stanford linear collider*
Scientific American, octobre 1989
- [5] *Large Hadron Collider*
CERN Publications, june 1990
- [6] *Experiments at CERN in 1989*
CERN Publications, novembre 1989
- [7] *Rapport annuel 1989 du CERN (volumes 1 et 2)*
CERN Publications, 1990
- [8] E. P. Wigner, *Symmetry and conservation laws*
Physics Today, march 1964
- [9] E. P. Wigner, *Violation of symmetry in physics*
Scientific American, december 1965
- [10] R. Adair, *Un défaut dans le miroir du monde*
Pour la Science, avril 1988
- [11] P. Tourrenc et P. Teyssandier, *La gravitation expérimentale*
La Recherche, février 1984
- [12] M. Banner, G. Cohen-Tannoudji et M. Spiro, *La découverte des bosons intermédiaires*
La Recherche, avril 1984
- [13] J.-J. Aubert et M. Baubillier, *Le LEP: une nouvelle étape de la physique corpusculaire*
La Recherche, novembre 1982
- [14] R. Turlay et D. Isabelle, *Les Z^0 du LEP*
La Recherche, avril 1990

- [15] D. J. Miller, *LEP's first year*
Nature, volume 349, n^o 6308, january 1991
- [16] G. Bonneaud et S. Wojcicki, *Les grands accélérateurs supraconducteurs*
La Recherche, septembre 1986
- [17] M. Veltman, *Le boson de Higgs*
Pour la Science, janvier 1987
- [18] G. Charpak, *La détection des particules*
La Recherche, décembre 1981
- [19] D. Polarski, *Les énigmes du vide*
La Recherche, mars 1990
- [20] J. Demoret et J. Vandermeulen, *Cosmologie et particules*
La Recherche, octobre 1982
- [21] T. Xuan Thuan, *La masse invisible de l'univers*
La Recherche, décembre 1982
- [22] T. Xuan Thuan, *Le Big Bang aujourd'hui*
La Recherche, janvier 1984
- [23] T. Xuan Thuan, *La formation de l'univers*
La Recherche, février 1984
- [24] N. Prantzos et M. Cassé, *L'avenir de l'univers*
La Recherche, juin 1984
- [25] C. Cohen-Tannoudji, B. Diu et F. Laloë, *Mécanique quantique 1*
Hermann, Paris, 1973
- [26] R. Feynman, *Le cours de physique de Feynman: Mécanique quantique*
InterEditions, Paris, 1979
- [27] R. Lestienne et M. Paty, *Il y a cinquante ans naissait la mécanique quantique*
La Recherche, juillet-août 1974
- [28] D. Tarnowski, *Onde, particule: le double jeu quantique*
La Recherche, juin 1986
- [29] F. Laloë, *Les surprenantes prédictions de la mécanique quantique*
La Recherche, novembre 1986
- [30] A. Einstein, *La relativité*
Petite Bibliothèque Payot, Paris, 1956
- [31] J. M. Lévy-Leblond, *La relativité aujourd'hui*
La Recherche, janvier 1979
- [32] F. Halzen et A. Martin, *Quarks and Leptons*
John Wiley and Sons, 1984

- [33] D. Perkins, *Introduction to High Energy Physics*
Addison-Wesley, 1987, troisième édition
- [34] *Les secrets de la matière*
Science et Avenir, Numéro spécial n° 62
- [35] F. Renard, *Plus élémentaires que les quarks?*
La Recherche, juillet-août 1984
- [36] F. Vannucci, *Les leptons*
La Recherche, octobre 1984
- [37] D. Cline, *Une quatrième famille de particules*
Pour la Science, octobre 1988
- [38] M. Jammer, *Le concept de force*
La Recherche, mars 1974
- [39] M. Veltman, *Les interactions faibles*
La Recherche, juillet-août 1976
- [40] G. 't Hooft, *Les théories de jauge et les particules élémentaires*
Pour la Science, août 1980
- [41] H. Georgi and S. Glashow, *Unified theory of elementary particle forces*
Physics Today, september 1980
- [42] F. Martin, *La chromodynamique quantique*
La Recherche, juin 1981
- [43] N. Cabibbo, *L'unification des forces fondamentales*
La Recherche, octobre 1983
- [44] A. Ashtekar, *La gravitation quantique*
La Recherche, novembre 1984
- [45] H. Haber et G. Kane, *La nature est-elle supersymétrique?*
Pour la Science, août 1986
- [46] P. Fayet, *La supersymétrie et l'unification des forces fondamentales*
La Recherche, mars 1988
- [47] K. Wright, *The road to the global village*
Scientific American, mars 1990
- [48] G. Champine, D. Geer, W. Ruh, *Project Athena as a distributed computer system*
Computer, septembre 1990
- [49] B. Jurdant, *La vulgarisation scientifique*
La Recherche, février 1975
- [50] R. Clarke, *Le point de vue d'un vulgarisateur*
La Recherche, février 1975

- [51] P. Fayard, *La communication scientifique publique, de la vulgarisation à la médiatisation*
Chronique sociale, Lyon, 1985
- [52] N. Strotzky, *Science et communication, l'homme multidimensionnel*
Belfont Sciences, Paris, 1989
- [53] R. Carreras, *Discussion privée*
8 février 1990
- [54] A. Toffler, *Le choc du futur*
Denoel, Paris, 1971
- [55] Citation du Prof. J. Monod
Colloque de Nice sur l'information scientifique, 4, 5 et 6 décembre 1969
- [56] *Science et audiovisuel*
Education et société, n° 5, décembre-janvier 84
- [57] E. Schatzman, *La science menacée*
Editions O. Jacob, Paris, 1989
- [58] P. Papon, *Le pouvoir et la science en France*
Le Centurion, Paris, 1978
- [59] SOFRES, *Les attitudes des français à l'égard de la science*
pour le Ministère de la Recherche et de la Technologie, 30 janvier au 10 février 1989
- [60] S. A. El Hadj et C. Belisle, *Vulgariser: un défi ou un mythe?*
Chronique Sociale, Lyon, 1985
- [61] C. Mundubeltz, *E = mc², ou la dissection d'un mythe*
GLACS, Le public, la science et les objets techniques
Colloque de Fontainebleau (31.05-1.06.1980), bulletin n° 13, Paris, novembre 1981
- [62] G. Jacquinet, *Des images et des sons pour faire savoir*
dans "Vulgariser la science, le procès de l'ignorance", D. Jacobi et B. Schiele
Editions Champ Vallon, Seyssel, 1988
- [63] C. Belisle, *Cinéma scientifique et médias interactifs*
dans "La science à l'écran", Cinémaction n° 38, Paris, CERF, 1986
- [64] M. Chapot, *Interview de J. de Rosnay*
Multi Médias Magazine, n° 50, novembre 1989
- [65] Les dossiers de l'audiovisuel, *Où va l'image?*
La documentation française, INA Publications, n° 26, juillet 1989
- [66] J. M. Arnold, *Le devoir de communication le plaisir de communiquer*
Multi Médias Magazine, n° 50, novembre 1989
- [67] R. Gardies, *L'enjeu-image*
dans Hors Cadre "L'école-Cinéma", n° 5, 1987

- [68] G. Gauthier, *L'image contre l'écrit?*
dans "La science à l'écran", Cinémaction n° 38, Paris, CERF, 1986
- [69] G. Jacquinet, *L'école au-delà des écrans*
dans Hors Cadre "L'école-Cinéma", n° 5, 1987
- [70] P. Chambat et Alain Ehrenberg, *De la télévision à la culture de l'écran*
Le Débat, n° 52, Paris, novembre-décembre 1988
- [71] O. Reppelin et A. Caillaud, *Les nouvelles voies du savoir*
Science et Avenir, Février 1989
- [72] N. Postman, *Se distraire à en mourir*
Flammarion, Paris, 1986
Titre original: *Amusing ourselves to death*, Viking Penguin Inc.
- [73] J. Ellul, *Le bluff technologique*
Hachette, Paris, 1988

Annexe A

DE LA VULGARISATION SCIENTIFIQUE A LA CSP

Le propos de ce texte est, dans un premier temps, de clarifier pourquoi on passe de la vulgarisation scientifique à la CSP, en donnant l'ébauche d'une définition de cette activité¹. On abordera alors l'importance de son rôle dans le monde d'aujourd'hui, en la reliant à ses implications sociologiques, en développant la question *Pourquoi vulgariser?*. La deuxième question *Comment vulgariser?* montrera son aspect multidimensionnel. Quelques points seront alors relevés sur le rôle prépondérant des médias dans la CSP.

A.1 Définition de la vulgarisation scientifique

Une première approche d'une définition de la vulgarisation scientifique² pourrait être:

« La vulgarisation correspond à une éducation scientifique universelle, diffusée surtout par les "mass média", n'ayant pas pour but de former des spécialistes mais plutôt d'assurer à la science une présence dans la culture générale des gens afin qu'ils puissent comprendre mieux leur environnement quotidien. »

[49, page 141]

Ainsi la vulgarisation scientifique est un problème général de communication et d'information à transmettre au public³. C'est montrer les événements de la science et de la technologie en marche. Un vulgarisateur essaie de rendre compréhensible ce que fait le "savant" [50, page 389].

Souvent le terme vulgarisation est entaché d'une connotation péjorative en étant assimilé à un autre terme: vulgaire. Cette simplification vient évidemment de la racine commune de ces deux termes, l'adjectif latin

¹L'abréviation CSP signifie Communication Scientifique Publique. La définition de cette activité explicitera cette expression.

²La vulgarisation scientifique n'est qu'une partie de la vulgarisation qui décrira aussi bien la politique, l'économie ou la science.

³Le terme *public* comprend toute personne qui n'est pas impliquée dans le monde scientifique.

vulgaris. Pourtant *vulgaris* est traduit par habituel, commun ou encore répandu ce qui n'est pas aussi négatif que vulgaire aujourd'hui.

Faire de la vulgarisation, c'est donc rendre commun les activités scientifiques. On peut approfondir la définition de la notion de vulgarisation, en introduisant ici celle de *communication scientifique publique* [51]. C'est sous cette appellation que l'on dénomme souvent, depuis quelques années la vulgarisation scientifique lorsque l'on veut être précis⁴.

Cette expression est plus juste car elle rattache cette activité à la communication scientifique. Celle-ci peut, en effet, être séparée en différents niveaux. Il y a d'abord la communication scientifique en tant que publication. Elle se situe au niveau des chercheurs d'une même spécialité. On pourrait d'ailleurs l'étendre à toute activité de communication, dans un but professionnel bien sûr, entre scientifiques⁵: discussions, réunions d'un groupe de recherche, séminaires, colloques, revues comme le *Courrier du CERN*, etc... Il y a ensuite la communication scientifique entre disciplines différentes. Des colloques sur des sujets généraux, comme l'environnement par exemple, regroupent souvent des scientifiques de divers horizons. Il y a enfin la CSP qui peut se situer d'ailleurs à plusieurs degrés suivant le public qu'elle veut atteindre.

L'activité principale à ces trois niveaux est une diffusion d'informations scientifiques. Le facteur essentiel qui change est le public auquel s'adresse cette communication. Le rattachement de la CSP à la communication scientifique est donc logique.

Ce rattachement ne s'est pas fait sans mal. Pendant longtemps, les vulgarisateurs ont dû travailler seuls, sans l'aide des scientifiques. Ceux-ci n'étaient pas forcément réticents mais il était d'usage que le savant travaillât loin des foules [52, page 68-69] pour ne pas paraître faire de la publicité à sa propre personne.

Aujourd'hui ce problème de scission semble s'être estompé. Les grands centres de recherche et les universités se sont équipés d'organes de presse efficaces. Les chercheurs très favorables à l'ouverture vers le public sont de plus en plus nombreux.

Parler de CSP montre aussi la finalité du travail lors de la communication d'informations scientifiques au public. Ce doit être une action de communication et pas seulement une simple information. Communiquer signifie mettre en commun, ce qui nécessite, pour le vulgarisateur, de chercher à savoir les intérêts de son public, de connaître les systèmes de références avec lesquels "l'homme de la rue" inclut toute nouvelle information à son acquis antérieur, à ses conceptions préalables. En un mot, communiquer signifie être proche du public, être public soi-même. Informer n'est que mettre au courant et n'oblige pas à se préoccuper du quotidien du public.

La définition que j'adopte pour le terme vulgarisation, et c'est la dernière fois que j'emploie ce terme dans ce texte, est donc:

Vulgariser c'est communiquer des informations scientifiques au public.

⁴ En conséquence on emploiera l'expression Communication Scientifique Publique dans la suite de ce texte. Elle apparaîtra sous la forme abrégative CSP à cause de sa longueur. Par contre le verbe vulgariser et le terme vulgarisateur seront toujours utilisés parce que je ne leur ai pas trouvé de remplaçants.

⁵ Aujourd'hui, l'expansion des communications entre scientifiques est nécessaire. L'extension rapide des réseaux de communication par ordinateurs en est une bonne preuve.

Il faut encore souligner les difficultés pédagogiques auxquelles est confronté le vulgarisateur. Elles dépendent des réactions du public qu'il veut atteindre et il doit y prêter une attention particulière et constante. Aussi pour compléter la définition de la CSP, ici ébauchée, je citerai R. Carreras dont l'optique première est de se placer le plus proche possible du public:

« *Vulgariser c'est enlever la peur et les idées fausses!* » [53]

A.2 Entre le mot et la chose

Le but de la CSP passe par le soucis premier que doit avoir le vulgarisateur: être proche du public qu'il veut atteindre, proche de la réalité de ce public. Pour s'en rapprocher et pouvoir en tenir compte, il doit s'interroger d'abord sur une question:

Pourquoi vulgariser?

C'est là que se situe l'essence du problème. Elle touche aux fondements eux-mêmes de notre société. Et c'est pour cette raison que la CSP est nécessaire!

On verra ainsi les buts primordiaux de cette activité et on en viendra tout naturellement à vouloir répondre à une autre question fondamentale concernant la CSP:

Comment vulgariser?

Chercher une réponse à cette deuxième question nous amènera à esquisser, de façon générale, le chemin à suivre pour bâtir une explication de vulgarisation scientifique.

A.2.1 Pourquoi vulgariser?

Nous vivons à l'ère de l'éphémère, où les objets nouveaux virevoltent autour de nous, disparaissant aussi vite qu'ils sont apparus et immédiatement remplacés par d'autres, vantés pour les nouvelles facilités qu'ils offrent et que, bien sûr, les autres ne permettaient pas. La vitesse de ces changements multiples est telle que nous n'avons absolument pas le temps de nous habituer à une nouvelle génération d'objets, et, a fortiori, pas non plus celui de la comprendre. Déjà, une nouvelle vague a déferlé et nous envahit pour disparaître rapidement à son tour, jetée aux oubliettes de nos décharges qui n'ont plus le temps de les digérer mais que celui de s'agrandir inexorablement. Alvin Toffler a "merveilleusement" décrit cette succession folle dans son livre "Le choc du futur" [54] qui, malgré ces vingt ans d'âge, n'a "malheureusement" pas pris une ride.

Qui plus est, tous ces objets qui constituent notre environnement "quotidien" sont essentiellement des objets technologiques, c'est-à-dire issus de la science. Il y a les fibres artificielles, les téléviseurs, les antibiotiques, les appareils photos, les voitures, les disques laser, les machines à calculer, les emballages en matières plastiques, les robots ménagers, les distributeurs automatiques divers, les appareils frigorifiques, etc... Ils sont de plus en plus sophistiqués et nous libèrent de multiples tâches pénibles. Ils nous facilitent la vie en la rendant plus confortable.

Mais, en même temps, nous savons de moins en moins de choses sur tous ces appareillages à tel point que nous pouvons, parfois, à peine les utiliser correctement tant ils offrent de possibilités et tant ils sont

complexes. Cela est vrai au point que, tout en étant pratiques, ils nous rendent tributaires d'un grand nombre de spécialistes et de leur savoir spécifique⁶. Nous vivons dans la "hantise" que ces appareils tombent en panne. [49, page 141]

C'est donc à une vitesse augmentant irrémédiablement qu'un fossé se creuse entre notre monde quotidien, c'est-à-dire tous les objets usuels qui nous entourent, et la compréhension que nous en avons. Il n'est pas pensable de combler ce fossé. Mais doit-on pour autant le laisser dans l'obscurité la plus profonde? Ce serait une grande erreur, une contradiction. Rien de l'évolution de la recherche ne serait alors expliqué au public alors qu'il y contribue financièrement en payant des impôts et en achetant des produits finis.

Un problème grave est sous-jacent dans ces lignes. Réclamer une information scientifique tangible, cohérente, suivie et objective, développée et largement diffusée au fur et à mesure de l'émergence des nouveaux acquis de la science et de la technologie, n'est-ce pas vouloir le maintien de la structure démocratique de notre société?

« L'information scientifique joue un rôle essentiel car elle contribue à défendre une véritable démocratie en permettant au plus grand nombre de citoyens la responsabilité des décisions. Ces décisions, en effet, dépendent de plus en plus des progrès de la science et de la technique. » [55]

La CSP peut amener les informations nécessaires à l'existence d'un débat public sur la science et ses aboutissements. Sans celui-ci, une majorité du public risque de détourner complètement son intérêt de la science. Pour le moment un désintérêt généralisé ne peut être considéré comme effectif. Si l'on considère le nombre de français⁷ qui suivent les émissions scientifiques de France Culture et/ou celles diffusées sur les chaînes nationales de la télévision, on comptabilise 4 à 5% de téléspectateurs s'intéressant aux résultats de la science [56].

Un désintérêt potentiel existe néanmoins. Ne contribuerait-il pas à favoriser un certain ressentiment du public à l'égard du monde scientifique? Les sempiternelles réflexions que subissent les météorologues ont pris depuis longtemps une tournure humoristique. Elles traduisent cependant bien un sentiment général qui montre qu'aujourd'hui la science est menacée⁸.

Elle est menacée en premier lieu parce que le public lui attribue, à elle et aux scientifiques, la responsabilité de tous les maux de la Terre: les pluies acides, la mer d'Aral qui disparaît, les retombées de Tchernobyl ou le réchauffement global de la planète⁹. Ces maux ont pris, à l'heure actuelle, une telle ampleur que l'avenir même de notre planète pourrait être mis en cause. Cette accusation traduit donc une inquiétude basée sur des faits bien réels. Toutefois elle n'est pas pleinement justifiée.

« S'il est vrai qu'une réalisation technique ou industrielle est impossible sans l'emploi de personnes possédant et maîtrisant le savoir nécessaire, s'il est vrai que ces réalisations mettent en cause la responsabilité de ces personnes, il n'en est pas moins vrai que la responsabilité principale est celle de l'employeur, Etat, groupe industriel ou entreprise. Il y a quelque chose de choquant à voir ainsi transférer les responsabilités sur ceux qui n'ont pas de pouvoir. » [57, page 103]

Ce transfert est choquant mais il est explicable par la grande coupure existant entre les scientifiques et le reste de la population. D'après P. Papon, on trouve que seulement 2% de la population française adulte ont

⁶ J'ai mis volontairement "leur savoir spécifique" au singulier en me remémorant le nombre de fois où j'ai pu entendre: « Comment? Tu étudies la physique et tu n'es même pas capable de réparer ce truc! ».

Ainsi, faire des études scientifiques ou être scientifique ne rend pas moins dépendant du savoir spécifique de nombreux spécialistes.

⁷ Les quelques chiffres donnés dans la suite concernent exclusivement la France. Cela est seulement dû au fait qu'ils sont les seuls que j'ai trouvés. J'ai admis cependant que la population française est représentative et que ces chiffres seraient analogues pour une autre population

⁸ Je reprends ici le titre d'un récent ouvrage de E. Schatzman [57].

⁹ Bien d'autres reproches ou inquiétudes sont formulés sur des sujets très différents comme les manipulations génétiques, par exemple. Mais la sensibilité du public est tournée plus particulièrement aujourd'hui vers l'environnement.

reçu une formation scientifique post-baccalauréat [58]. Ce chiffre peut sembler très faible. Tout dépend de ce que l'on entend par formation scientifique. On peut toutefois affirmer que la majeure partie des français adultes ne savent pas comment est organisée la science. Ils ne peuvent donc pas discerner correctement sa part de responsabilité dans les malheurs du monde.

Rétablir une image juste fait partie des buts de la CSP. Elle doit montrer la place véritable du scientifique et de son action dans la société, montrer les articulations des mondes de la recherche fondamentale et appliquée, de la technologie et de notre vie quotidienne. En un mot, elle doit redonner à la science le rôle qu'elle a comme élément de culture (alors que 73% de la population française, considèrent que l'on peut être cultivé sans avoir aucune connaissance scientifique, et cela quel que soit le niveau socioculturel pris en considération [59]).

La science est menacée également par un autre danger tout à fait pernicieux. L'ignorance en matière de science et l'emprisonnement dans un savoir parcellaire permettent des interventions étonnamment irresponsables¹⁰ pour le futur de la science, et plus généralement de la culture.

Savoir le pourquoi et le comment des choses est une des occupations favorites de "l'homo sapiens". Actuellement il a aussi besoin d'être rassuré sur son avenir et sur celui de la Terre. Certains se tournent vers l'astrologie, ou les autres activités analogues, pour obtenir des réponses à ces questions. Ils le font certainement d'autant plus facilement qu'un manque criant d'une information scientifique cohérente se fait sentir et qu'à l'encontre, ces activités offrent des "réponses"¹¹.

En même temps l'astrologie entretient astucieusement la confusion existant entre elle et l'astronomie. Cela est à son avantage. Elle en retire une aura de certitude et de grandeur et favorise du même coup l'expansion du commerce des "devins". Le danger, énorme, vient de cette confusion qui augmente avec l'expansion de ces activités, confusion entre la science et le mythe, le culte auxquels se rattache l'astrologie. A quoi croirons nous dans cent ans, et pourquoi?

Laisser cet amalgame s'installer sans développer les moyens ni penser les besoins de la CSP plonge et installe la science directement dans le mythe et le dogme avec les effets néfastes que cela peut impliquer comme l'obscurantisme (et la propagation d'idées troubles, voire dangereuses). N'est-il pas juste de penser qu'un domaine omniprésent et complexe, comme la science, mais jamais, ou épisodiquement seulement, clairement discuté au grand jour, devienne inabordable, ésotérique et enfin mythique?

Si cette inquiétude n'était pas du tout justifiée, n'est-il pas quand même dangereux pour l'existence à long terme de la science qu'il n'y ait pas de CSP? Cette absence ne favoriserait-elle pas une baisse du potentiel d'inventions et une baisse des vocations de carrières scientifiques? Cette absence n'enrayerait-elle tout simplement pas le développement de la science [52, page 20]?

Il doit y avoir une prise de conscience globale des chercheurs, des médias et des décideurs politiques sur la nécessité de la CSP. Toutes ces personnes et toutes ces institutions doivent apporter leur pierre pour engendrer une action concertée de CSP afin, qu'à son tour, le public soit à même de participer démocratiquement, et en connaissance de cause, aux décisions de société que les avancées de la science et de la technologie nécessitent de plus en plus.

¹⁰Elles ne sont pas toujours irresponsables; elles peuvent être intentionnelles. Ainsi des concepts comme la "race" sont souvent utilisés dans un but obscurantiste. Cette polémique ne sera pas développée car ce n'est pas le propos de ce texte. Mais elle se devait d'être mentionnée ici car ces arguments portent, auprès d'un public mal informé, malheureusement trop facilement leurs fruits et ce, justement "grâce à" la justification faussement scientifique que "certains" parviennent à leur donner.

¹¹Une analyse scientifique de la validité des réponses données par ces activités et des paramètres qui interviennent dans leur démarche serait sûrement amusante! L'influence des astres, pourquoi pas, mais en fonction de quoi? leur masse, leur éloignement? ou tout simplement la conviction préalable de cette influence?

A.2.2 Comment vulgariser?

Un travail de CSP doit toujours impliquer trois catégories de personnes:

- le public avec qui le vulgarisateur va essayer de trouver la "bonne" façon d'aborder une explication
- le scientifique qui dévoilera au vulgarisateur une vue globale sur son domaine
- le vulgarisateur qui construit l'explication en l'adaptant à la technique employée pour la diffuser

Il ne faut pas voir ici une catégorisation rigide et définitive. Ce n'est qu'une indication des principales tâches à accomplir et des buts auxquels parvenir. Un projet de CSP sera d'autant plus riche et d'autant plus accessible dans son résultat qu'une collaboration constante aura été effective au long des développements de ce projet.

Travailler avec le public

Un message de CSP peut d'une part répondre aux questions¹² du public. Il peut d'autre part lui donner des informations sur les sujets importants de l'actualité scientifique et technologique.

Il faut impliquer le public pour susciter son intérêt. Ce doit être le point de départ dans toute explication. En effet comprendre c'est d'abord répondre à une question que l'on se pose, c'est résoudre un problème. Celui qui cherche la solution à ce qui est réellement un problème pour lui n'aura pas qu'un intérêt intellectuel dans la solution. Il s'y impliquera totalement.

Pour définir le discours approprié, pour trouver les "bonnes paraboles" qui interpellent l'imagination et l'intérêt tout en n'induisant pas d'erreur de compréhension, le vulgarisateur doit se placer en relation directe¹³ avec le public pour lequel il travaille. Les représentations que le public a des choses et des phénomènes apparaissent au vulgarisateur. Il va ainsi appréhender les problèmes de langage, les points de blocage et ceux qui suscitent la curiosité. Il en retire souvent aussi des explications issues du quotidien des non-spécialistes et donc la façon de rejoindre leurs intérêts.

Un excellent exemple de travail préparatoire est celui décrit par C. Mundubeltz et intitulé:

$$E = mc^2, \text{ ou la dissection d'un mythe [61]}$$

Il explique le cheminement d'un groupe travaillant sur le thème de la relativité: son passage d'une attitude passive à une implication des personnes le constituant.

Au cours de telles approches on vérifie constamment que le problème essentiel à résoudre pour obtenir un message compréhensible est dans la façon d'aborder les choses, dans la façon d'articuler les points importants entre eux. On pense souvent que vulgariser c'est seulement expliquer des choses simples alors qu'il faut plus aider le public que le limiter [62, page 159]. Pour l'aider on bâtit une explication autour d'un fil conducteur, d'une idée directrice.

R. Carreras compare l'explication à un arbre [53]. L'idée générale en forme le tronc; les explications annexes en sont les branches et les feuilles. On peut accumuler un grand nombre de détails, aussi bien choisis

¹² Celles-ci peuvent être très variées et très spécifiques. Il convient de signaler l'existence des *boutiques de science* où des individus, pour la plupart des scientifiques se sont fixé pour mission de permettre au public le plus large d'avoir accès à des prestations et à des connaissances scientifiques en rapport avec ses propres préoccupations (voir J. Gréa, "Les boutiques de science, de nouveaux lieux de communication sociale" [60, page 139]).

¹³ On retrouve ici l'une des idées contenues dans l'expression *Communication Scientifique Publique*: celle de communication.

soient-ils, dans une explication. Mais il faut utiliser un tronc, l'idée principale, pour pouvoir y accrocher les branches, les détails. Afin qu'il ne se perde pas dans l'explication, il faut souvent ramener l'auditeur, le lecteur ou le spectateur au fil conducteur. Il faut montrer comment les détails sont reliés à l'idée principale, c'est-à-dire comment les branches naissent du tronc.

Si une explication ne comporte qu'une seule idée vraiment essentielle, on peut utiliser plusieurs exemples afin de l'illustrer. Chaque exemple montre un des aspects de cette idée. C'est elle qui sert, dans ce cas, de fil conducteur pour l'explication. L'explication peut aussi devoir comporter plusieurs idées clé. Un seul exemple peut alors servir pour montrer ces différents points. C'est par les multiples aspects de ce seul exemple que l'on montrera les liens entre les idées clé. Autrement dit, elles ne sont pas seulement juxtaposées mais aussi reliées. Ici c'est l'exemple qui sert de fil conducteur. Dans les deux cas, le fil conducteur transparait dans un discours logique. Mais il faut y laisser une place pour l'intuition. Elle intervient pour une large part dans l'intérêt que le public accordera ou non au discours [63, page 136].

Travailler avec les scientifiques

Les scientifiques doivent participer à cette recherche du fil conducteur en tant que conseillers. Ils ont une vision globale sur leur domaine qui permet justement au vulgarisateur de mettre en évidence les points les plus importants d'une explication. Les scientifiques sont de plus en plus réceptifs à l'idée de devenir des partenaires dans un travail de CSP. Leur intervention peut être ponctuelle dans le temps lorsque, par exemple, l'actualité scientifique nécessite la diffusion rapide d'une explication sur une découverte importante et récente. Elle peut aussi se placer au niveau d'un travail de longue haleine lorsque le projet de CSP est plus étendu.

Un grand travail reste à faire pour que la communication scientifique puisse s'opérer facilement. Elle fait de plus en plus appel à des techniques peu répandues dans le monde scientifique, par exemple celles de l'audiovisuel. Il n'intervient pas ici de problème de réticence par rapport à une technique nouvelle; les scientifiques en manipulent constamment. Mais ces techniques ne leur sont pas encore familières et elles demandent beaucoup de temps et de pratique pour devenir un outil que l'on sait utiliser aussi bien pour filmer soi-même que pour être filmé [64, page 7].

Processus de CSP

Pour mener à bien un projet de CSP, il faut suivre un cheminement progressif. Ce processus de CSP peut être résumé en six étapes successives:

1. recherche de l'attractivité du sujet (le sujet étant déjà défini)
2. analyse des conceptions du public
3. définition de l'objectif prioritaire
4. conception/réalisation d'un prototype
5. tests de qualité
6. réalisation définitive

Les deux premières étapes s'effectuent en même temps. Elles ont été décrites dans le paragraphe précédent. Ce sont elles qui permettent d'établir l'objectif prioritaire, c'est-à-dire le fil conducteur de l'explication. Le vulgarisateur peut alors mettre en terre le tronc de l'arbre et y accrocher les branches. C'est la conception proprement dite de l'ensemble de l'explication qui commence.

La réalisation nécessite des spécialistes des techniques utilisées pour diffuser le message. On doit porter une extrême attention à ce que toutes ces contraintes techniques ne viennent pas changer l'esprit général du résultat de la conception.

Il faut rechercher une présentation stimulante en utilisant le récit, en faisant appel à la mise en scène. Celle-ci ne doit toutefois pas prédominer au détriment du message. L'élément humain doit aussi y être inséré. Combien de projets de CSP paraissent rébarbatifs et austères pour n'avoir pas montré la personne à côté de la machine.

Un prototype est alors prêt et sert à une nouvelle phase de collaboration active avec le public. Il faut voir si le message est bien reçu. Parfois le public doit employer un appareil comme un terminal informatique pour accéder au message de CSP. Il faut aussi vérifier sa convivialité et la simplicité de son utilisation. Cette évaluation vise à la transformation du prototype en une version définitive.

Ce processus didactique nécessite donc un long travail de préparation. C'est un désavantage. Mais il est largement compensé par le résultat auquel il permet d'arriver. Pour évaluer la qualité de ce résultat, on peut signaler aussi la difficulté pour une même personne d'être le concepteur et l'évaluateur d'un projet de CSP.

A.3 Importance des médias dans la CSP

A.3.1 Comment toucher tout le public?

Une communication directe entre scientifique et public existe, par exemple lors des *Journées Portes Ouvertes* d'une université. Mais c'est plus souvent par l'intermédiaire d'un média qu'un message de CSP parvient au public. C'est le média, apparaissant au travers du mass média¹⁴ qui assure une large diffusion du message auprès du public. Pour toucher tout le public, il faut aussi développer des structures de liaison directe entre les lieux de création de savoir (universités, centres de recherche, industries) et entre ceux de diffusion de l'information non spécialisée touchant rapidement, et à une grande échelle, le public. La CSP pourra alors devenir présente partout quotidiennement au même titre que toute autre information.

Les mass médias les plus prometteurs pour le futur¹⁵ semblent être ceux (télévision, terminal informatique, etc...) dont le support principal est une image. Celle-ci est de plus en plus intégrée à tous nos moyens de communication. Les appareils pour la créer ou la recevoir se multiplient et se lient entre eux. La richesse potentielle de ces médias vient aussi de ce qu'ils peuvent utiliser en même temps l'écrit, le son et bien sûr l'image.

Le vulgarisateur est donc lié intrinsèquement avec le média qu'il emploie et les mass médias. Il doit connaître le mieux possible la façon de l'utiliser pour faire passer un message. Il doit donc avoir en tête les limites du média. Imaginons, par exemple, un vulgarisateur radiophonique qui voudrait expliquer le tricot sur les ondes! Il aurait beaucoup de difficultés car son média est mal adapté à son but. Il doit aussi étudier sa technique pour que le message parvienne le mieux possible au public et que le média ne devienne pas au contraire un obstacle à ce message. Le vulgarisateur doit aussi porter une attention constante à l'évolution des médias et des mass médias. S'il s'intéresse plus particulièrement à l'image¹⁶, il doit se demander où elle va [65].

¹⁴Le terme média est utilisé au sens d'un moyen d'expression comme l'écrit, la parole et l'image. Le terme mass média recouvre lui le moyen de diffuser un de ces moyens d'expression. Les mass médias principaux sont donc la presse, la radio et la télévision.

¹⁵Ces mass médias sont déjà bien présents aujourd'hui. Ils sont encore porteurs de multiples développements pour le futur car leurs interconnexions vont s'étendre et favoriser leur impact.

¹⁶C'est sur ce média que porte la suite de ce texte.

A.3.2 Problème de la CSP par l'image

L'omniprésence de l'image auprès du public en fait un média prometteur pour la CSP. En même temps, la science est une grande productrice d'images. Celles-ci sont un outil omniprésent auprès du scientifique. Il semble qu'il y ait là une concordance parfaite. Pourtant, souvent l'image n'est pas utilisée pour expliquer la science [66, page 15]. Quelles sont les raisons de cette non permanence de l'image dans l'explication de la science?

La raison première est sans doute que l'image scientifique, c'est-à-dire l'image qu'un scientifique produit ou utilise lors de son travail, est différente de l'image à produire ou à utiliser dans la CSP. L'image scientifique n'est pas utilisable directement par le vulgarisateur "par l'image" car elle n'a pas une lisibilité immédiate pour le public qui n'y est pas habitué¹⁷. Un long apprentissage est nécessaire, par exemple, pour savoir lire un graphique¹⁸, pour savoir en retirer une information, pour comprendre quelle information on peut en retirer. Il faut comprendre ce que représentent ses axes. Il faut ensuite savoir interpréter les variations relatives des quantités inscrites sur les axes.

Il y a donc besoin d'une traduction-illustration pour utiliser un tel graphique dans une explication de CSP. En effet on ne peut se lancer dans l'apprentissage complet de la lecture de ce graphique alors que l'explication voulue se situe plus souvent au niveau de l'information que l'on va en retirer et, qu'en plus, la durée de cette explication est très limitée. Les variations des quantités inscrites sur les axes peuvent être traduites en y attachant, par exemple, des afficheurs numériques dont la rapidité de défilement montrera directement si la variation est brusque ou lente. L'illustration, elle, a pour but de montrer ce que le graphique représente, c'est-à-dire le phénomène physique que l'on mesure. La facilité d'illustrer cette mesure dépend de la nature du phénomène observé.

Pour être compréhensible le plus rapidement possible l'image utilisée en CSP doit donc traduire et illustrer l'image scientifique. Le vulgarisateur "par l'image" est donc confronté aux mêmes problèmes que le vulgarisateur "par l'écrit". Le problème supplémentaire qu'il rencontre réside dans la mauvaise connaissance actuelle du processus à suivre pour parvenir à une traduction-illustration correcte d'une image.

A.3.3 Les nouvelles possibilités de l'image

Ce processus demanderait une étude longue et détaillée. Une étude qui aurait pour but de définir correctement le langage de l'image en comprenant comment elle se construit et par conséquent comment on peut l'utiliser sciemment pour expliquer. On pourrait alors tirer partie des potentiels immenses de l'image:

- Elle est omniprésente auprès de tous les publics grâce aux mass médias qui la diffusent.
- Elle peut toujours se combiner avec l'écrit et le son. Il y a "frottement des langages" [67, page 117] ce qui rend vain le discours opposant l'écrit et l'image [68, pages 36 à 44].
- Elle fait appel à l'intuition et à l'imagination qui entrent pour une part importante dans la compréhension [69].
- L'image en séquence montre la dynamique des phénomènes (avec le ralenti ou l'accélééré en plus).
- Elle offre un contact plus direct en montrant les lieux, les gens, les machines.

L'utilisation de l'image peut toutefois engendrer un danger facilement identifiable si l'on prend l'exemple de la télévision. Bien qu'elle puisse être bénéfique à la CSP en touchant un large public, elle ne permet pour le

¹⁷Le scientifique se trouve également confronté, mais dans une moindre mesure, à ce problème lorsqu'il doit raisonner avec une image scientifique dont il n'a pas l'habitude.

¹⁸Le graphique constitue le type d'image scientifique le plus répandu. Il codifie l'information sous une forme très condensée.

moment que d'assister passivement à son spectacle ce qui est néfaste pour la réception d'un message explicatif. C'est l'unidirectionnalité de la télévision qui crée cette passivité. Elle est un vecteur de consommation et pas celui d'une communication. Elle n'offre pas la possibilité à chacun d'accéder à tout, à volonté.

Or il y a aujourd'hui une demande allant en ce sens [70]. Simultanément à la naissance de cette demande, l'interactivité semble être et apporter une réponse en amenant la possibilité d'une plus grande implication du public dans ce qui lui est présenté. Ainsi de multiples émissions font intervenir les téléspectateurs en direct, que ce soit au moyen du téléphone ou du Minitel. Ce n'est qu'un début timide, mais il y a bien là une évolution fondamentale dans la façon dont il devient possible de se servir de la télévision. Le spectateur devient actif!

L'expansion des vidéodisques et la création de logiciels interactifs va aussi dans ce sens. Le vidéodisque est encore trop coûteux pour s'implanter dans tous les foyers, mais, il se trouve déjà dans les musées ou les expositions comme banque d'images¹⁹ accessibles rapidement et à volonté.

Avec son contenu d'images couplé à un logiciel adéquat, le vidéodisque permet aussi à quelqu'un de suivre un chemin personnel, à son rythme et selon ses envies, dans un musée et ses expositions, au sein d'une entreprise ou d'un centre de recherche. En fait, bien que n'étant certainement pas la solution miracle, le développement de l'interactivité et des nouvelles technologies²⁰ de communication ouvre *les nouvelles voies du savoir* [71]!

¹⁹Les banques d'images prennent actuellement une importance qui devrait s'amplifier facilement dans un futur proche avec le développement de réseaux comme RNIS.

²⁰Faisons attention à la façon dont ces nouvelles technologies seront utilisées. Que la mise en scène ne soit pas favorisée au détriment du message [72][73].

Annexe B

UN QUESTIONNAIRE MICROCOSM



QUESTIONNAIRE MICROCOSM

1. Etes-vous capable de répondre à quelques questions ?

2. Je ne comprends rien dans cette exposition; et vous ?

je comprends

3. Déjà visité le CERN ?

oui

4. Pourquoi intéressé ?

je m'intéresse à la science

5. A quoi sert le CERN ?

A comprendre l'infiniment petit de la matière afin d'expliquer l'infiniment grand.

6. Qu'est-ce qui vous a plu le plus ?

Exposition bien présentée

7. La science vous intéresse ?

Oui

8. Lisez-vous des choses sur la physique (revues, TV, etc.) ?

Oui

9. Vous avez des connaissances en physique des particules ?

Oui

10. Vous avez des connaissances sur les "accélérateurs" ?

Oui

Pourrions-nous avoir des informations personnelles ?

- Ville : *LYON*

- Langues : *français*

- Profession : *enseignante*

- Age : *40 ans*

Annexe C

LES ABREVIATIONS UTILISEES AU CERN

La liste suivante comprend la plupart des abréviations utilisées au CERN pour nommer les machines et les expériences du site. Elle est donnée pour faciliter la lecture du mémoire. Ces abréviations sont classées par ordre alphabétique.

- AACOL: Antiproton Accumulator and COLlector
- ALEPH: Apparatus for LEp PHysics
- CERN: Laboratoire Européen de Physique des Particules
- DELPHI: DEtector with Lepton, Photon and Hadron Identification
- EPA: Electron Positron Accumulator
- LEAR: Low Energy Antiproton Ring
- LEP: Large Electron Positron (Collider)
- LHC: Large Hadron Collider
- LIL: Linear Injector for Lep
- LINAC: LINear ACcelerator
- LPI: Lep Pre Injector
- L3: Letter number 3
- NA: North Area
- OPAL: Omni Purpose Apparatus for Lep
- PS: Proton Synchrotron
- PSB: Proton Synchrotron Booster

- RF: Radio Frequency
- SC: Synchro Cyclotron
- SLAC: Stanford Linear ACcelerator
- SPS: Super Proton Synchrotron
- UA: Underground Area
- WA: West Area

Annexe D

DANS "LA RECHERCHE"

Cet appendice contient une liste, aussi exhaustive que possible, des articles sur la physique des particules parus dans la revue "La Recherche" depuis 1970, première année de parution, jusqu'à maintenant. Les articles dont les titres sont indiqués en majuscules sont les articles de fond. Les autres sont des articles plus courts.

• 1970

1. LE GRAND ACCELERATEUR EUROPEEN
J. B. ADAMS / septembre / pp. 319-326

• 1971

1. Un accélérateur linéaire supraconducteur de 100 GeV
Y. BLAIREAU / janvier / pp. 70
2. Gargamelle au CERN
L. DALAIS / février / pp. 167-168
3. Au CERN la planification de l'impossible
L. DALAIS / juin / pp. 564-565
4. Les partons nouveaux nés des hautes énergies
J. L. CONSTANT / juillet / pp. 662-663
5. Quand les physiciens vont à la mine
L. DALAIS / décembre / pp. 1060-1061

• 1972

1. Les neutrinos thermomètres du soleil
R. FOY / janvier / pp. 66-67
2. Les anneaux de stockage du CERN un an après
L. DALAIS / janvier / pp. 68-69
3. L'antimatière révèle les défauts de la matière
W. BRANDT et R. PAULIN / janvier / pp. 69-71
4. Le nombre d'or des physiciens
A. J. VEBEL / février / pp. 170-171
5. LES SYMETRIES DES PARTICULES ELEMENTAIRES
M. GOURDIN / mars / pp. 243-260
6. Une retombée de la "big science": les chambres proportionnelles multifils
L. DALAIS / juillet-août / pp. 678-679

• 1973

1. Des particules élémentaires en ébullition
J. LETESSIER et A. TOUNSI / janvier / pp. 69-70
2. Le renouveau de la physique du neutrino
L. DALAIS / mars / pp. 264-266
3. Rayons cosmiques contre grands accélérateurs
L. DALAIS / juillet-août / pp. 689-690
4. Un pas vers l'unification des théories physiques
M. PATY / septembre / pp. 790-792
5. LES PARTICULES INTROUVABLES
O. M. BILIANUK et J. R. BOCCIO / décembre / pp. 1037-1047

• 1974

1. Anneaux de stockage du CERN: premier bilan
L. DALAIS / février / pp. 171-172
2. LE CONCEPT DE FORCE
M. JAMMER / mars / pp. 221-230
3. Particules élémentaires: le quatrième niveau quantique
M. PATY / mars / pp. 265-268
4. Pour une société antiquark
J. M. LEVY-LEBLOND / mars / pp. 294
5. Les monopôles magnétiques
J. LACAZE / mars / pp. 295
6. Les particules élémentaires diffractent aussi
R. ARNOLD / avril / pp. 366-367

7. L' invariance d'échelle: des violations possibles
M. PATY / septembre / pp. 772-775
8. Courants neutres: des confirmations expérimentales
P. MUSSET et A. ROUSSET / octobre / pp. 874-876
9. Le premier monopôle magnétique?
P. PERREY / novembre / pp. 965-966

• 1975

1. Les interactions fortes aux très grandes énergies
M. PATY / janvier / pp. 57-60
2. Hautes énergies: nouvelles résonances étroites
J. E. AUGUSTIN / avril / pp. 367-369
3. Le charme: une interprétation des nouvelles particules
M. PATY / mai / pp. 466-468
4. Comment prendre date dans la course au charme?
M. PATY / juillet-août / pp. 659

• 1976

1. LES INTERACTIONS FORTES
M. FROISSART / janvier / pp. 15-23
2. Le photon, les leptons et la structure de la matière
M. PATY / janvier / pp. 63-65
3. Vérification expérimentale du principe d'équivalence dans le domaine quantique
F. BALIBAR / janvier / pp. 66-67
4. LES INTERACTIONS FAIBLES
M. VELTMAN / juillet-août / pp. 617-627
5. La première particule charmée identifiée
M. BARRERE / septembre / pp. 767
6. Les anneaux de stockage à électrons-positons
L. DALAIS / septembre / pp. 768-770
7. Les prix Nobel 1976: B. RICHTER et S. TING
L. M. CHOUNET / décembre / pp. 1058-1059

• 1977

1. LA PHYSIQUE DU NEUTRINO
P. MUSSET / janvier / pp. 5-13
2. Le charme laisse des traces
M. PATY / février / pp.165
3. Les grands nombres: une clé pour l'univers?
M. LACHIEZE-REY et L. VIGROUX / février / pp. 166-167

4. Quand les fermions tournent de 2π
F. BALIBAR / mai / pp. 470-471
5. Voir les quarks
M. PATY / juillet-août / pp. 673-676
6. La physique théorique en quête d'unification
J. SCHERK / octobre / pp. 878-880

• 1978

1. Combien de quarks?
L. DALAIS / janvier / pp. 58-59
2. Le CERN et l'industrie
H. SCHMIED / avril / pp. 394-395
3. Un défi des neutrinos
P. MUSSET et J. P. VIALLE / juillet-août / pp. 676-678
4. Quand on tue les neutrinos dans l'oeuf
M. PATY / septembre / pp. 779-781
5. Si l'antiproton était instable
J. DEMART et J. VANDERMEULEN / octobre / pp. 893-894
6. Un anneau de stockage à neutrons
W. PAUL et U. TRINKS / novembre / pp. 1008-1009

• 1979

1. La double désintégration Beta
M. PATY / janvier / pp. 66-68
2. LES ACCELERATEURS DE DEMAIN
M. CROZON / février / pp. 126-135
3. A Stanford: mise en évidence d'une nouvelle interaction
C. LONGUEMARE et C. DUPAS / mars / pp. 279-280
4. Les antiparticules au service de la cristallographie
F. BALIBAR / avril / pp. 384
5. LES PARTICULES CHARMEES
J. ILLIOPOULOS / mai / pp. 476-484
6. L'existence du lepton lourd Tau: une certitude
J. BOUCROT / juin / pp. 668-669
7. Les neutrinos au fond des mers
? / juin / pp. 670-?
8. Ondes de gravitation: une mise en évidence indirecte
M. LACHIEZE-REY / juillet-août / pp. 776-777
9. LA GENESE DE LA THEORIE DES GROUPES
J. DIEUDONNE / septembre / pp. 866-875

10. Suivez le muon
J. CHAPPERT et A. YAOUANC / octobre / pp. 1006-1008
11. A la recherche de l'identité des neutrinos
M. PATY / novembre / pp.1126-1127
12. Les gluons en vedette
J. BOUCROT / décembre / pp.1264-1265
13. A l'ère des détecteurs
M. CROZON / décembre / pp.1296-1297

• 1980

1. Ces antiprotons qui nous viennent du cosmos
J. DEMARET et J. VANDERMEULEN / février / pp. 196-197
2. LES USINES A PIONS
J. ARVIEUX / mars / pp. 252-260
3. La mémoire du neutron
Y. ALPERT / mars / pp. 338-340
4. Les protons meurent aussi
M. PATY / mai / pp. 590-591
5. Les prix Nobel 1980: J. W. CRONIN et V. L. FITCH
M. PATY / décembre / pp. 1430-1431

• 1981

1. Des particules de moins en moins élémentaires
M. SORBA / février / pp. 212-214
2. Les neutinos ont-ils une masse?
F. VANNUCCI / mars / pp.356-359
3. LA CHROMODYNAMIQUE QUANTIQUE
F. MARTIN / juin / pp. 674-685
4. Une première: le collisionneur de protons et d'antiprotons au CERN
M. SPIRO / septembre / pp. 994-997
5. LES GRANDS AIMANTS SUPRACONDUCTEURS
J. PEROT / octobre / pp. 1104-1114
6. LA DETECTION DES PARTICULES
G. CHARPAK / décembre / pp. 1384-1396

• 1982

1. Des accélérateurs cosmiques
T. MONTMERLE et C. CESARSKY / janvier / pp. 82-85
2. Des solitons partout
C. HAEBERLIN / janvier / pp. 86-88

3. LEAR: un nouvel anneau à l'ombre des géants
B. DELCOURT / septembre / pp. 1062-1064
4. COSMOLOGIE ET PARTICULES
J. DEMARET et J. VANDERMEULEN / octobre / pp.1152-1162
5. LE LEP: UNE NOUVELLE ETAPE DE LA PHYSIQUE CORPUSCULAIRE
J.-J. AUBERT et M. BAUBILLIER / novembre / pp.1286-1294
6. L'énigme de l' axion
M. BACE et J. KAPLAN / novembre / pp. 1334-1336
7. La théorie électrofaible à l'épreuve
Y. DUCROS / décembre / pp. 1492-1493

• 1983

1. D'où viennent les antiprotons cosmiques?
J.-J. DEMARET et J. VANDERMEULEN /janvier / pp. 102-104
2. LE MUON SONDE LA MATIERE
J. CHAPPERT et E. KARLSSON / pp. 156-165
3. Particules W: la fin d'une longue attente?
M. SPIRO / avril / pp. 542-544
4. LE MONOPOLE MAGNETIQUE
P. MUSSET / juillet-août / pp. 946-954
5. Les protons sont-ils mortels?
S. JULLIAN / septembre / pp. 1131-1134
6. L'UNIFICATION DES FORCES FONDAMENTALES
N. CABIBBO / octobre / pp. 1216-1224
7. SUSY: une élégante théorie sur la sellette
M . DAVIER / novembre / pp. 1448-1449

• 1984

1. LA GRAVITATION EXPERIMENTALE
P. TOURENC et P. TEYSSANDIER / février / pp. 180-191
2. L'éphémère beauté des quarks
J.-M. LEVY et C. de la VAISSIERE / février / pp. 236-237
3. LA DECOUVERTE DES BOSONS INTERMEDIAIRES
M. BANNER, G. COHEN-TANNOUJDI, M. SPIRO / avril / pp. 502-511
4. Dirac, la gravitation et les sondes Viking
A. MAEDER / juin / pp. 882-883
5. Plus élémentaires que les quarks?
F. M. RENARD / juillet-août / pp. 1019-1021
6. Paul Musset et la découverte des courants neutres
P. MUSSET / juillet-août / pp. 1035

7. LES LEPTONS
F. VANNUCCI / octobre / pp. 1245-1253
8. LA GRAVITATION QUANTIQUE
A. ASHTEKAR / novembre / pp. 1400-1409
9. Le sixième quark est-il au rendez-vous?
A. LEVEQUE / novembre / pp. 1442-1443
10. Les prix Nobel 1984: RUBBIA et VAN DER MEER
G. COHEN-TANNOUJDI / décembre / pp. 1568-1569
11. L'évaluation de la recherche: le CERN sur la sellette
N. WITTKOWSKI / décembre / pp. 1572-1576

• 1985

1. LE QUARKONIUM
A. MARTIN et J. M. RICHARD / février / pp.152-163
2. Une nouvelle fenêtre sur l'univers: les photons ultra-énergétiques
K. J. ORFORD / février / pp. 248-249
3. LA PHYSIQUE DES LABORATOIRES SOUTERRAINS
M. CONVERSI / mai / pp. 600-611
4. Le synchrotron européen: une machine à tout faire
D. RAOUX / juin / pp. 806-808
5. LE CERN retient son souffle
D. TARNOWSKI / juillet-août / pp. 936-938
6. Et si les neutrinos avaient une masse?
J. J. SIMPSON / novembre / pp. 1408-1410
7. L'énigme des neutrinos solaires: une solution en vue
M. SPIRO / décembre / pp. 1537-1539

• 1986

1. L'univers est-il fait de cordes?
R. WALGATE / janvier / pp. 116-118
2. Des neutrinos difficiles à dompter
F. VANNUCCI / mars / pp. 406-407
3. LES GRANDS ACCELERATEURS SUPRACONDUCTEURS
G. BONNEAUD et S. WOJCICKI / septembre / pp. 1049-1059
4. Les neutrinos solaires transformés par la matière
M. CRIBIER, J. RICH et D. VIGNAUD / septembre / pp. 1115-1117
5. Les armes à antimatière
A. GSPONER et J.-P. HURNI / novembre / pp. 1440-1443

• 1988

1. LA SUPERSYMETRIE ET L'UNIFICATION DES INTERACTIONS FONDAMENTALES
P. FAYET / mars / pp.334-345
2. L'univers a-t-il fait des bulles?
T. JOLICOEUR / octobre / pp. 1263-1265
3. Les prix Nobel 1988: LEDERMAN, SCHWARTZ, STEINBERGER
F. VANNUCCI / décembre / pp. 1502-1503

• 1989

1. Enquête sur une symétrie au-dessus de tout soupçon
A. BILLOIRE et J. C. NIEL / mars / pp. 414-416
2. Plasma quarks-gluons, la quête d'un nouvel état de la matière
C. GERSCHEL et L. KLUBERG /octobre / pp. 1258-1259

• 1990

1. Les énigmes du vide
D. POLARSKI / mars / pp. 372-373
2. Les Z^0 du LEP
R. TURLAY et D. B. ISABELLE / avril / pp. 498-499

Annexe E

INTRODUCTION DU DIORAMA

MAIN IDEAS	IMAGE
There are only a few kinds of particles that are like colored points. They	Plenty of colored points are turning on the screen.
are organized together so to constitute the everyday matter, that is everything around us.	The point motion turns to an organized structure and we discover, at the end, a Seurat painting ("promenade").
On the surface, everything is <i>different</i> . We see infinite variety in Nature.	"plan fixe" on Seurat painting
But going deeper, we find that there is unity underneath the differences. There are 92 kinds of atoms in the universe. Everything we know: stone, wood, water	To show details of different painting parts detail on water
is made of a different mixture of these 92 kinds of atoms.	Zoom IN on water
Some things are made of just a few kinds, like the water we drink, with just hydrogen and oxygen.	we discover the H_2O structure
In other things, like the food we eat, there are many kinds of atoms mixed together.	Zoom OUT from a glass of water to see a plate with water and food
But what are the atoms made of?	Begin Zoom IN to food.

MAIN IDEAS	IMAGE
As small as they are, it happens that they are mostly empty space. The material parts that make up an atom are far, far smaller by comparison, so they pass beyond our comprehension of size.	Zoom in to one atom of the food to show space.
As all the substances in the world can be made from the 92 atoms, the 92 atoms themselves can be made out of just a really few kinds of fundamental particles.	"plan fixe" on one atom with electrons around the nucleus.
One important of these is called the <i>electron</i> : it flows in wires to light lights and play radios and television sets.	Show electrons.
Important other ones are called <i>quarks</i> : they mix together in different ways make to protons and neutrons in the core of atoms.	Zoom to show nucleus made of quarks.
So from only these building blocks we get 92 different atoms.	Go back to the "plan fixe" with the atom.
From the 92 atoms, we get every different substance we know of.	New painting. Perhaps: "Les Champs de blé" de Van Gogh
This is an example of how physicists find unity by looking into the microscopic levels of Nature; this is the purpose of research in particle physics.	Slow Zoom IN on a detail with motion and explosion feeling
There are many other interesting questions: (what forces hold the particles together?)	"plan fixe" on the detail
what other kinds of particles are there?; how are quarks and electrons created?	"fondu enchainé" on one event computer picture with motion.
To answer all these fondamentale questions is the main goal for CERN, the european laboratory for particle physics.	Zoom OUT from the screen.
And, since 1954, many scientists work there together for that aim, always improving the human knowledges in that field.	2 or 3 scientists discussing around the computer screen.
And for you, who may not be a physicist, how do we ever find answers to any of these questions?	many people on the street
Let's look at one of the large projects at CERN as an example, the last built accelerator called LEP. The main part is a circular tunnel that is 27 km around , like a private subway track for particles. This makes it the largest accelerator in the world.	Scientists again (same "plan") and then Zoom IN on the screen. There we see LEP CAO animation: - at first general view - then go into the tunnel

MAIN IDEAS	IMAGE
The particles used at LEP are electron bunches going one way and positron bunches going the other way.	LEP CAO animation with the bunches
The positron is the anti-particle of the electron. It means that the positron has exactly the opposite properties of the electron.	A new painting: perhaps a drawing of Escher (with an opposition idea)
The LEP gives them a lot of energy by accelerating to nearly the speed of light.	again LEP CAO animation with the bunches
The particles collide at 4 specific LEP points where big detectors are placed	Detector view
When the particles collide, they annihilate each other because the collision is between a particle and its antiparticle having exactly the opposite properties.	LEP CAO animation annihilation part
Just after the electron and positron collide, neither particle exists, only energy with big density in an empty space or void, which is called a <i>vacuum</i> in physics terminology.	Vacuum experiment: first looking through the transparent liquid so it is vacuum
The vacuum is the most interesting part, for while you may think of it as simply nothing, in particle physics it is full of potential; in fact it is the source of new particles.	Vacuum experiment: Current ON Looking through the transparent liquid
But the vacuum is like someone asleep. It needs to be waked up so to act. If you make a high energy density point, in the vacuum, by colliding a high speed couple particle - antiparticle. Then the vacuum will create new particles as quarks or electrons.	where color expands
It's something like a magician's hat, but it is not an illusion: new matter is created. From the vacuum it comes basic particles which are the components of all different atoms, the components of all usual objects, the components of all the planets, the components of all the universe.	A magician with his hat (coming out suddenly "en incrustation") from which it comes out: <ul style="list-style-type: none"> • a reconstruction computer image • "Quelques cercles" de Kandinsky • The Seurat painting • A planet image • A galaxy image (Zoom OUT with all these images so to let come the next one)
The creation of matter is the primary focus of research at CERN.	"plan fixe" on the last galaxy picture

Annexe F

RECHERCHE DU MESSAGE PRINCIPAL

CERN
MICROCOSM - DIORAMA
MESSAGE PRINCIPAL

L. Bettelli /DG/PR/ME, H. Platteaux /DG/PR/ME, J. P. Vialle /EP

Nous concevons un Diorama pour Microcosm qui est le centre de visite du CERN. Après des discussions avec des visiteurs et des physiciens, nous avons extrait les deux messages principaux sur le CERN qui suivent:

1. Lorsque l'on regarde la nature avec une haute résolution, on découvre une Unité/Simplicité microscopique.
2. Au CERN, de la matière est créée dans des collisions entre particules.

Nous avons besoin de différentes explications pour illustrer ces deux concepts. Pourriez vous écrire ici, pour chacun des deux points, trois phrases indépendantes (correspondant aux trois différents niveaux de public que nous avons définis: candides, étudiants et experts). Renvoyez les nous. Merci beaucoup de votre aide. (Pouvez vous indiquer, si vous êtes d'accord, vos nom et division.)

Annexe G

RECHERCHE D'ANALOGIES

CERN
MICROCOSM - DIORAMA
ANALOGIES FOR PHYSICS

L. Bettelli /DG/PR/ME, H. Platteaux /DG/PR/ME, J. P. Vialle /EP

Conceiving a Diorama for Microcosm which is the CERN visit center, we are looking for analogies explaining high energy physics for a general public. Quite sure you like to use such analogies when you are explaining physics to your friends because it is not easy to let understand what elementary particles are or their interactions through intermediate bosons or furthermore the existing relations between microscopical world and universe or at the end "Big Bang". Could you write them here and send them back to us. Thanks a lot for helping us.

Please, if you agree, put your name and division.