

**E.N.S.S.I.B.**  
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE  
DES SCIENCES DE L'INFORMATION  
ET DES BIBLIOTHEQUES

**U.C.B.L.**  
UNIVERSITE  
CLAUDE BERNARD  
LYON 1

**DESS en INFORMATIQUE DOCUMENTAIRE**

# **Rapport de recherche bibliographique**

## **MATIERE NOIRE NON BARYONIQUE : point de vue expérimental**

**Myriam BOIGEY**

Sous la direction de

**Monsieur Bernard CHAMBON**

**Institut de physique Nucléaire de Lyon (in2p3, CNRS)**  
Université Claude Bernard Lyon1, bât. 210  
43 Boulevard du 11 Novembre 1918, 69 100 Villeurbanne

BIBLIOTHEQUE DE L'ENSSIB



8108534

**Année 1996-1997**

**E.N.S.S.I.B.**  
**ECOLE NATIONALE SUPERIEURE**  
**DES SCIENCES DE L'INFORMATION**  
**ET DES BIBLIOTHEQUES**

**U.C.B.L.**  
**UNIVERSITE**  
**CLAUDE BERNARD**  
**LYON 1**

**DESS en INFORMATIQUE DOCUMENTAIRE**

## **Rapport de recherche bibliographique**

# **MATIERE NOIRE NON BARYONIQUE : point de vue expérimental**

**Myriam BOIGEY**

Sous la direction de

**Monsieur Bernard CHAMBON**

**Institut de physique Nucléaire de Lyon (in2p3, CNRS)**  
Université Claude Bernard Lyon1, bât. 210  
43 Boulevard du 11 Novembre 1918, 69 100 Villeurbanne

1997  
17  
04

**Année 1996-1997**

# **MATIERE NOIRE NON BARYONIQUE : point de vue expérimental**

**Myriam BOIGEY**

## **RESUME**

Ce rapport bibliographique traite de la « matière noire non baryonique, d'un point de vue expérimental ». Ce domaine d'astrophysique des particules est actuellement l'objet d'un nombre important d'expériences internationales. Ce rapport contient dans une première partie l'historique des recherches et la manière dont elles ont été menées. Ensuite vient une synthèse réalisée à partir de quelques documents issus des références obtenues. Après une présentation du problème de la matière noire, elle expose l'état actuel des hypothèses et des expériences. Enfin, les références sont données dans une troisième partie. Pour compléter cela, on pourra trouver en annexe, une liste de quelques sites internet et un index des mots spécialisés.

**DESCRIPTEURS : matière noire non-baryonique, WIMPs, neutralinos, instruments de mesures, bolomètres, scintillateurs**

## **ABSTRACT**

This bibliographic work is about « non baryonic dark matter : experiments ». This field of particle astrophysics is the aim, at the moment, of a lot of international experiments. This report includes in a first part the progress and the way the bibliographic researches were made. Then a synthesis was built from documents taken from the refernces. After an introduction about the problem of dark matter, the current state of hypothesis and experiments is given. At last, the références are listed in the third part. To complete this work, one can find two annexes, some internet web adresses and a list of specific terms.

**KEYWORDS : non baryonic dark matter, WIMPs, neutralinos, measuring instruments, bolometers, scintillators.**

## SOMMAIRE

RESUME	1
SOMMAIRE	2
PREMIERE PARTIE : <u>METHODOLOGIE</u>	4
1 - Introduction	4
2 - Stratégie de recherche	5
2.1 - Délimitation du sujet	
2.2 - Le choix des descripteurs	
3 - Recherche manuelle	6
4 - Recherche sur Internet	6
4.1 - les moteurs de recherche	
4.2 - les sites de preprints	
5 - Recherche automatisée	7
5.1 - recherche sur CD Rom	
5.2 - recherche sur le serveur DIALOG	
5.2.1 - Choix des bases de données	
5.2.2 équations de recherche	
5.3 - résultats	
6 - Evaluation du coût	12
7 - Conclusion	13
DEUXIEME PARTIE : <u>SYNTHESE</u>	14
1 - Introduction : Pourquoi la matière « noire » ?	14
2 - Les différents types de matière noire	15
2.1 - La matière noire baryonique	
2.2 - La matière noire non baryonique	
3 - Les détecteurs	16
3.1 - Les scintillateurs	

3.2 - Détecteurs cryogéniques, bolomètres	
3.3 - Autres détecteurs	
4 - Conclusion	18
<b>TROISIEME PARTIE : <u>BIBLIOGRAPHIE</u></b>	<b>19</b>
1 - Généralités	20
2 - Théorie	22
2.1 - généralités	
2.2 - axions, axinos	
2.3 - supersymétrie, neutralinos	
3 - Scintillateurs	24
3.1 - généralités	
3.2 - Xénon	
3.3 - NaI	
3.4 - CaF <sub>2</sub>	
4 - Bolomètres	27
5 - Semi conducteurs	29
6 - TPCs	30
7 - Techniques cryogéniques	30
8 - « SSG detector »	32
9 - supraconducteurs	32
10 - détection de neutrinos	33
<b>ANNEXES</b>	<b>35</b>
1 - Internet	36
2 - Index des termes spécialisés	38

## METHODOLOGIE

### 1. INTRODUCTION

Dans le cadre de cette recherche bibliographique, j'ai eu immédiatement envie de mettre à profit mes premières compétences, donc de trouver un sujet en physique fondamentale. Après quelques recherches, Monsieur Chambon, professeur-chercheur, m'a proposé un sujet sur la matière noire. Celui-ci m'a intéressé d'emblée car il s'agit d'un domaine en constante évolution et d'une très grande richesse. En effet, il fait appel à différents aspects de la physique théorique et expérimentale tels que l'astronomie, la physique des particules, les techniques de détection.

La matière noire est de la matière « non lumineuse » : elle est indécélable avec les télescopes actuels. Or les astronomes ont rapidement été amenés à considérer son existence pour des raisons dynamiques. Les physiciens ont dû par conséquent aborder le sujet afin de déterminer ce que pouvait être cette matière. Comme toujours dans cette discipline, des théories ont été avancées qui ont entraîné des expériences pour les vérifier. A l'heure actuelle, on ne sait toujours pas quelle est, ou quelles sont les « bonnes » théories. De nombreuses expériences sont en cours pour élucider ce mystère.

Le sujet étant très vaste, il a fallu le délimiter puis l'organiser afin de mener au mieux les recherches. Celles-ci ont été effectuées selon trois voies : par interrogation de CD Rom, de bases de données en ligne et en utilisant internet. Le tri et l'organisation des références s'est avéré assez long à cause de leur grand nombre et de la complexité du sujet. Il était impossible de réaliser une synthèse sur l'ensemble des documents retenus. Certains d'entre eux ont donc été choisis comme base pour la rédaction d'un compte rendu succinct des pistes de recherche actuelles.

Ce sujet, tout à la fois précis et vaste m'a permis de prendre conscience à quel point dans ce domaine, les connaissances progressent vite, même si cela se chiffre en mois et en années. La documentation a une extrême importance et n'est pas encore assez largement envisagée. Les chercheurs n'ont pas le temps de la considérer comme elle le mériterait, même quand ils ont tous les outils nécessaires à leur disposition.

## 2. STRATEGIE DE RECHERCHE

### 2.1 Délimitation du sujet

Le sujet étant vaste, des limites se sont imposées d'elles même, dès le début. Tout d'abord, la matière noire se scinde en plusieurs familles selon le type de particules considérées. Seule la matière noire non baryonique a été envisagée pour ce travail car elle correspond au type de recherches menées par Monsieur Chambon. De surcroît, l'aspect expérimental devait être privilégié. Il ne s'agissait pas de faire de la vulgarisation mais de « coller » au sujet. Les revues telles que *Pour la science* et *La Recherche* n'ont donc pas fait l'objet d'une recherche. Enfin, toute référence antérieure à 1992 était à exclure car désuète.

Puis, il fut décidé de limiter l'aspect théorique des recherches aux axions mais surtout aux neutralinos, deux particules candidates pour expliquer la matière noire. Quand aux neutrinos, ils ne devaient en aucun cas faire l'objet d'une recherche spécifique. Ils auraient pu faire l'objet de plusieurs recherches bibliographiques à eux seuls ! Cependant inévitablement, certaines références les concernant devaient apparaître... On ne devait donc pas les exclure non plus. Il fut donc choisi de n'aborder que la détection de leur annihilation qui permet la détection de matière noire.

L'aspect expérimental étant primordial, les principales méthodes de détection devaient être envisagées, sans oublier les moins connues.

### 2.2 Le choix des descripteurs

Avant de commencer les recherches et tout spécialement l'interrogation en ligne, il a fallu déterminer des mot-clefs. Pour cela, j'ai réalisé un tableau comprenant en abscisse les différentes particules à envisager, et en ordonnée les aspects de la recherche (cf. fig p.9). Cela m'a permis de mettre en évidence les descripteurs et les équations de recherche.

On a retenu un descripteur générique : *matière noire non baryonique*. Les autres descripteurs sont de deux types. On a d'une part les particules :

*axions,*

*WIMPs*

*neutralinos,*

*neutrinos*

et d'autre part les méthodes de détection :

*instruments de mesures,*

*bolomètres,*

*scintillateurs,*

*TPCs.*

D'autres descripteurs ont été envisagés dans un premier temps, mais lors des interrogations, ils se sont révélés non pertinents car trop vagues ou trop restreints. La recherche s'est effectuée en anglais, à une exception près.

### 3. RECHERCHE MANUELLE

Dans le cadre de mon sujet, cet aspect s'est révélé particulièrement infructueux ! En effet, les index des grandes revues spécialisées telles que *Nuclear Physics B*, sont généralement des indexes auteurs. Ils étaient donc très hermétiques. Les indexes par sujet, de certains périodiques, se sont révélés fastidieux, tout comme la recherche « aléatoire ». Cette dernière m'a cependant permis de trouver quelques références intéressantes. Ce type de recherche a été rapidement abandonné en ce qui concerne les périodiques.

Quand aux monographies, je n'ai eu guère plus de chance ! Les quelques ouvrages trouvés à la bibliothèque universitaire étaient beaucoup trop généraux, ou trop anciens...

### 4. RECHERCHE SUR INTERNET

#### 4.1 Les moteurs de recherche

J'ai procédé par étape lors de ces interrogations. J'ai ainsi commencé par poser une question la plus générale possible (matière noire non baryonique), puis je précisais de plus en plus ma recherche (WIMPs, axions, ...). Je n'ai effectué de telles interrogations que sur deux moteurs de recherche : **Altavista** et **Magellan**.

Il s'est effectivement très vite avéré qu' internet n'était probablement pas le moyen le plus « judicieux » de mener des recherches spécifiques, bibliographiques et de nature « technique ». En effet, les résultats de mes interrogations se sont révélés très impressionnants par la quantité de réponses et leur intérêt limité ! La plupart des sites ou des pages que j'ai eu l'occasion de visiter au cours de cette recherche, étaient trop généraux, trop anciens ou hors de propos. Cependant, j'ai trouvé quelques sites forts intéressants (cf. annexe 1 p. 36), mais bien peu de références bibliographiques ! De plus cela prenait un temps considérable...

Il est à noter tout de même, qu'une recherche des sites spécialisés en physique fondamentale et donc notamment des grandes Universités scientifiques, serait fort intéressante, mais hors sujet dans le cadre d'une recherche bibliographique !..

#### 4.2 Les sites de preprints

Dans un second temps, je me suis concentrée sur la recherche de sites de preprints. Pour cela j'ai de nouveau utilisé les moteurs de recherche. Le résultat a été plus gratifiant car pertinent. En effet, les réponses étaient restreintes et de deux types : les preprints et les serveurs de preprints. Les premiers ne furent pas retenus à cette étape, étant censés réapparaître lors de l'interrogation des sites (ce qui fut le cas, fort heureusement !). Le nombre de serveur est plus restreint qu'on pourrait le croire. La liste des URL se trouve à la fin de ce rapport (annexe 1 p. 36).

Après une exploration rapide des différents serveurs, j'ai pu interroger ces banques de données en employant mes descripteurs. Les résultats se sont révélés assez dissemblables d'un site à l'autre. Je n'ai donc retenu dans les références que les trois sites les plus intéressants, pour des raisons de pertinence des réponses et de rapidité d'obtention.

Quand aux preprints eux même, les résumés étaient parfois bien diffus, et dans un contexte assez éloigné voire hors du sujet, surtout en astronomie. Le téléchargement des preprints eux même, était long et parfois difficile. En effet, il demandait l'emploi de programmes de décompression ou de lecture, spécifiques. Je n'ai donc pas eu le temps de tous les consulter.

Il serait bon d'effectuer une recherche ciblée sur les preprints seuls...

## **5. RECHERCHE AUTOMATISEE**

### **5.1 recherche sur CD Rom**

Tout d'abord, j'ai consulté les CD Rom disponibles en réseau, à l'école. Les seuls ouvrages cités dans la B.N.F. étaient tous antérieurs à 1992 donc non pertinents. Doc' thèses, à la question « matière noire » dans la discipline « sciences/ Physique/ Physique des particules et des champs », m'a donné 13 réponses comprises entre 1992 et 1995 dont 6 étaient pertinentes. Les 6 autres étaient hors sujet car tournées vers l'astronomie ou la matière noire baryonique. J'ai aussi effectué quelques essais sur les C.D. Rom Pascal pour m'entraîner avant l'interrogation de bases de données en ligne.

J'ai eu l'occasion par le biais du centre de documentation de l'Institut de Physique Nucléaire, de pouvoir interroger les CD Rom INIS (International Nuclear Information System) de l'IN2P3 (Institut National de Physique Nucléaire et de Physique des Particules). Les CD Rom recensent des articles de périodiques, des ouvrages, des actes de congrès, des thèses et de la littérature non conventionnelle dans le domaine de la physique « nucléaire » au sens large, c'est à dire fondamentale. L'interrogation s'est faite en anglais sur le CD Rom correspondant à la période souhaitée (1992-6). Après un essai infructueux avec « Dark matter », nous avons utilisé le thesaurus papier et l'index en ligne pour trouver les descripteurs utilisés dans la base. La question est donc devenue :

*( Dark matter or non-luminous matter) and (wimps or (neutralino or neutralinos))*

En effet, la première partie de la question, si elle était employée seule, risquait d'engendrer un bruit considérable dû à la matière noire baryonique. Il était donc logique d'utiliser un opérateur « et » et des descripteurs caractéristiques du type de particules recherchées.

Cette question a générée 76 références. Seules 46 ont été retenues, soit 60.5%. Les détails et justifications de ce résultat seront donnés dans la partie 5.3 de ce rapport pour permettre une comparaison avec l'interrogation du serveur DIALOG.

## 5.2 recherche sur le serveur DIALOG

### 5.2.1 Choix des bases de données

Le sujet étant scientifique et technique, il fallait trouver des bases correspondant à ce profil dans le domaine de la physique fondamentale. Les sciences de l'ingénieur ne correspondaient pas à ce contexte. Il fallait donc se tourner vers des bases liées à la recherche.

Quatre bases ont été retenues :

<b>INSPEC</b>	<b>2</b>
<b>SPIN</b>	<b>62</b>
<b>Pascal</b>	<b>144</b>
<b>Sci Search</b>	<b>434</b>

La première base, INSPEC est une référence en matière de base de données en physique, tous domaines confondus. En effet, elle est très ancienne (1898) et a su s'adapter à l'évolution des « sciences physiques ». Elle contient environ 5,3 millions de références bibliographiques de 1969 à aujourd'hui, et couvre de nombreux domaines dont la physique des particules, , l'astrophysique, les mesures et instruments, la physique « mathématique »,... Plus de 4000 journaux et périodiques sont indexés dont 750 entièrement. Cette base contient aussi 22% de compte rendus de conférences. Elle était donc un élément essentiel et évident de cette interrogation.

SPIN est une base produite par l'AIP (American Institute of Physics). Elle est beaucoup plus modeste et récente qu'INSPEC. Elle contient moins de 700 000 références provenant d'environ une centaine de journaux. Etant cependant plus spécialisée, elle pouvait se révéler très intéressante.

Pascal était, tout comme INSPEC, une évidence puisque produite par le CNRS, via l'INIST. Son volume impressionnant, avec plus de 11 millions de références, son ouverture internationale, recouvrant plus de 100 pays, et ses sources françaises imposaient sa présence dans cette recherche.

Enfin, SciSearch a été retenue. Cette base regroupe de très nombreux domaines scientifiques, dont la physique. Son volume est impressionnant, avec 14,5 millions de références de 1974 à nos jours.

Une des motivations de l'interrogation simultanée de ces bases était leur complémentarité.

### 5.2.2 Equations de recherche

Les équations de recherche ont été obtenues ainsi que les descripteurs grâce au tableau suivant (p.9). J'ai ainsi pu poser une série de questions plus ou moins larges lors de l'interrogation simultanée (**One search**) des quatre bases.

nom aspect recherché	Axions	WIMPs	neutralinos	neutrinos
définition	axions	WIMPs	neutralinos	
propriétés	-		limites sur la masse contraintes	-
expériences	instruments de mesure et matière noire			
	bolomètres, scintillateurs, TPC ... et matière noire			
	expériences et axions	instruments de mesure et (wimps ou neutralinos)		détéction de l' annihilation de neutrinos

Les questions posées lors de l'interrogation sont les suivantes, précédées du nombre de réponses global obtenu et suivies de leur numéro entre parenthèses (ces numéros ne se suivent pas à cause de parasites lors de l'écriture des questions qui les invalidaient) :

- 48 *NON(W)BARYONIC(W)DARK(W)MATTER* (3)
- 541 *WIMP??* (4)
- 2208 *NEUTRALINO??* (5)
- 3987 *AXION??* (6)
- 21 *S5(S)((WEIGHT OR MASS)(W)LIMIT?)* (8)
- 190 *S5(S)CONSTRAINT??* (9)
- 297 *S6(S)EXPERIMENT?* (10)
- 3 *NEUTRINO??(W)DETECTION?? AND ANNIHILATION AND (12)*  
(S4 OR S5)

9	MEASURING(W)INSTRUMENT? ? AND DARK(W)MATTER	(13)
2	MEASURING? ?(W)INSTRUMENT? ? AND (S4 OR S5)	(14)
165	(BOLOMETER? ? OR SCINTILLATOR? ? OR TPC OR FREON? ? (W)BUBBLE? ?) AND DARK(W)MATTER	(15)
175	S12 OR S13 OR S14 OR S15	(17)
137	RD S17 (unique items)	(18)
97	S18/1992:1996	(19)
81	S10/1992:1996	(20)
36	S3/1992:1996	(21)
13	S8/1992:1996	(22)

### 5.3 Résultats, discussion

Lors de l'interrogation, plusieurs séries de références furent éditées. Finalement seule la plus longue fut traitée (question 19). En effet, les références de la question 21 sur la matière noire non baryonique étaient soit comprises dans l'autre série soit hors sujet car typiquement « astronomiques ». Celles sur les neutralinos, les axions et les dilatons (recherche effectuée ultérieurement avec ces descripteurs) ne furent pas retenues car trop pointues et à la limite voire hors du sujet (surtout les dilatons qui sont apparemment des particules de cosmologie ou de gravitation quantique ?...). Les résultats de l'analyse de ces références bibliographiques sont donnés dans le tableau suivant :

nom de la base	nombre de notices	notices pertinentes	doublons	notices retenues	% de notices retenues
INSPEC	55	54	0	45	82
SPIN	0				
Pascal	12	12	1	8	75
SciSearch	30	28	6	19	64
<b>TOTAL</b>	<b>97</b>	<b>94</b>	<b>7</b>	<b>72</b>	<b>74</b>

On peut remarquer immédiatement que l'utilisation de SPIN s'est avérée inutile car elle ne contenait que des doublons avec les trois autres bases ! Le bruit fut très faible (3,1%), sans doute parce que le sujet est à la fois très spécifique et très vaste (comme pour la plupart des domaines de physique !). Les notices non retenues le furent pour cause de langue (il n'est pas encore donné à tout le monde de lire le Japonais !), de difficulté d'obtention (rapports américains), et de sujet « limite » (astronomie, aspect spécifiques : rayons gamma, hydrogène moléculaire, neutrinos...).

On voit aussi qu'un certain nombre de doublons sont apparus malgré la demande, lors de l'interrogation, de les enlever (ce qui a fait passer le nombre de réponses de 175 à 137). Cela est surtout visible avec Scisearch. J'ai aussi remarqué des différences importantes entre les bases lors de l'affichage avec le même « type ». Certaines donnent la bibliographie contenue dans les références (Scisearch), d'autres donnent le nom des champs (INSPEC),...

Comparons maintenant le résultat global de l'interrogation du serveur DIALOG avec celle du CD Rom INIS :

nom	notices obtenues	notices pertinentes	doublons	notices retenues
DIALOG	97	94	7	72 (74%)
INIS	76	74	6	46 (60%)

On remarque que le pourcentage de notices pertinentes est plus faible pour le CD Rom que pour le serveur. Cela est dû à la différence entre les deux questions posées. En effet, pour le serveur l'aspect expérimental était exprimé explicitement, alors que pour le CD Rom la question était plus large. On a donc obtenu un certain nombre de références sur des aspects théoriques qui, bien que traitant de la matière noire, « débordaient » du sujet.

Concernant les doublons, ceux du serveur étaient internes alors que pour INIS, il ne s'agit bien sûr que de doublons avec les notices déjà obtenues sur le serveur. On peut d'ailleurs s'étonner qu'il n'y ait pas plus de notices communes entre ces deux interrogations sur le même sujet ! Pourtant un grand nombre de sources sont les mêmes, en particulier pour les périodiques. On constate donc une complémentarité flagrante entre ces deux interrogations !

## 6. EVALUATION DU COÛT

Les interrogations de CD Rom furent gratuites et rapides. L'exploration du réseau de l'école m'a pris une heure. L'interrogation d'INIS a duré une demi heure (5 minutes de présentation, 10 pour établir la communication avec les CD, situés à Paris et poser la question, 15 minutes pour imprimer le résultat). L'interrogation du serveur a duré 1 heure et 12 minutes. J'ai donc passé environ 4 heures pour ces recherches.

Le travail sur internet fut beaucoup plus long. J'ai passé une quinzaine d'heures à chercher de sites et des preprints. La recherche manuelle correspond à une journée à « farfouiller » dans la bibliothèque universitaire et celle de l'Institut de Physique Nucléaire, soit huit heures.

Le dépouillement, le tri et l'ordonnancement des notices m'a pris une vingtaine d'heures, auxquelles on peut ajouter quinze heures de lectures de document primaire. La rédaction de ce rapport s'évalue à une vingtaine d'heures.

On obtient un total d'heures de 82h.

Concernant l'interrogation de DIALOG, on peut évaluer son coût commercial (tarif non préférentiel), comme suit :

base	temps	notices	total
2 (INSPEC)	18'x1\$	79x1,85\$	164,15\$
62 (SPIN)	1'x0,5\$	5x1,7\$	9\$
144 (Pascal)	12,42'x0,75\$	17x1,4\$	38,2\$
434 (Scisearch)	40,2'x1,5\$	48x2,1\$	161,1\$
communication (NETGNS)			7,1\$
			<b>379,55\$</b>

En supposant que le dollar est à 5 francs cela équivaut à environ 1900 francs !

## 7. CONCLUSION

Ce rapport bibliographique m'a énormément appris. Tout d'abord au niveau des méthodes, j'ai constaté qu'il ne fallait pas hésiter à « manger à tous les râteliers » : il ne faut pas se contenter du minimum. Plus on cherche, plus on trouve et pas toujours là où on s'y attendait ! Une simple recherche dans des rayons peut révéler une mine d'informations (telle qu'un exemplaire des proceedings supplement de Nuclear Physics B qui vient juste de sortir et qui correspond au sujet !). J'ai découvert aussi l'emploi des CD Rom. Ce dossier m'a permis de mettre en pratique dans des conditions réelles l'interrogation d'un serveur et de me rendre compte du piège du temps, donc du coût. Il ne faut pas trop en demander, ni pas assez : un juste milieu, pas toujours évident à trouver !

J'ai pu découvrir un outil très puissant et « dangereux » : Internet. Puissant car les capacités et les informations disponibles sont inépuisables. « Dangereux » car on peut passer des heures à chercher... Le travail sur les sites web demande en permanence de la rigueur, de la concentration et de surveiller le temps qui passe !... Le jeu des liens permet de se noyer à une vitesse ahurissante. Désormais, je me méfie, tout en appréciant les immenses ressources de cet outil aux mille facettes.

Le travail sur les notices fut très intéressant, m'obligeant à développer une organisation appliquée au contexte et un esprit critique pour leur sélection. Quand à la synthèse, elle m'a obligée à formuler les choses de la manière la plus simple possible pour qu'un minimum soit compréhensible à tous, et en même temps à me focaliser sur des points techniques. Même la rédaction de cette partie « méthodologie » m'a été utile, puisqu'elle m'a forcée à analyser ma démarche, à prendre conscience de ses points faibles et forts.

Cette recherche m'a permis aussi de mieux découvrir un sujet passionnant. Elle m'a donné l'occasion de constater à quel point « l'information » était un domaine vaste, extrêmement puissant et intéressant. Il y a toujours quelque chose à trouver, à découvrir, une référence que l'on a oubliée surtout pour des questions larges... J'ai pris conscience que la relativité s'applique aussi aux « sciences de l'information » : un domaine pointu peut générer des quantités impressionnantes de notices qui peuvent se révéler n'être que la partie immergée de l'iceberg. ! Comme quoi la physique peut s'appliquer partout (au fond, il existe bien une théorie de l'information « basée » sur la physique statistique et la thermodynamique !).

## SYNTHESE

### Remarques préliminaires :

Les mots en italique pourront être trouvés en annexe 2 dans un index.

Le but de ce texte est de présenter succinctement et le plus simplement possible ce qui se fait ou s'est fait sur le sujet. Les détails techniques et spécifiques seront trouvés dans les documents cités ou dans la bibliographie.

### 1. INTRODUCTION : Pourquoi de la matière noire ? <sup>1,2</sup>

L'existence de *matière noire* a été proposée pour différentes raisons. Tout d'abord à cause d'observations astronomiques. En effet, la rotation des galaxies spirales présente une anomalie. Si on trace la courbe théorique de la vitesse d'une galaxie proportionnellement à la quantité de matière visible la constituant, on n'obtient pas les vitesses mesurées expérimentalement. Les mesures donnent une vitesse plus grande que prévue et pratiquement constante lorsqu'on s'éloigne du noyau .

La manière la plus logique d'expliquer ce phénomène de dynamique des galaxies est l'existence de matière invisible autour des galaxies. C'est la *matière « noire »* car non lumineuse. Les galaxies baigneraient dans cette matière qui aurait la forme d'un halo sphérique s'étendant jusqu'à dix fois le rayon optique de la galaxie. La *matière noire* constituerait donc environ 90% de la masse de la galaxie.

Ce qui est valable pour les galaxies spirales semble l'être pour tout l'univers. Plus on réalise d'observations, plus les astrophysiciens constatent qu'il est nécessaire d'introduire l'existence de *matière noire*.

D'autre part, en considérant la densité de l'univers, les théories cosmologiques et l'abondance de deutérium relativement à l'Hydrogène, on en déduit que les *baryons* représentent au maximum 10% de la masse de l'univers. Cela implique donc que l'autre partie de cette masse est non baryonique.

Tout cela justifie bien des recherches sur la matière noire non baryonique afin de déterminer ce qui la constitue !

---

1/ Chazal ; V. ; *Etude de l'environnement neutron au laboratoire souterrain de Modane*. Thèse Sci. : Université de Lyon 1, Villeurbanne, 1996. 129 p

2/ Jungman, G.; Kamionkowski, M.; Griest, K. ; Supersymmetric dark matter. *Physics Reports* , mars 1996, vol.267, no.5-6, p.195-373.

## 2. LES DIFFERENTS TYPES DE MATIERE NOIRE

### 2.1 La matière noire baryonique <sup>1,3</sup>

Cette catégorie de matière noire est constituée, entre autre, de matière ordinaire. Celle ci prend la forme de gaz invisibles ou d'étoiles de faible masse. Il peut aussi s'agir de trous noirs.

La théorie la plus « en vogue » actuellement concernant ce type de matière noire, est celle de la « naine brune ». Il s'agit d'étoiles dont la masse n'est pas suffisante pour générer les réactions thermonucléaires : l'étoile ne « s'allume » pas ! Comme les naines brunes n'émettent pas de lumière, elles ne sont pas détectables directement. On peut cependant en voir par le biais de microlentilles gravitationnelles (phénomènes optiques dus à la gravitation). Deux expériences sont actuellement menées à ce propos : EROS et MACHO. Elles étudient le grand nuage de Magellan car il a une forte densité stellaire et donc une forte probabilité de contenir des naines brunes.

### 2.2 La matière noire non baryonique <sup>2,4,5</sup>

On peut diviser cette matière noire en trois familles : matière noire chaude, froide et *supersymétrique*.

La matière noire est dite « chaude » (Hot DM), si les particules qui la composent avaient une vitesse relativiste, au moment de la formation des galaxies. On trouve dans cette classe principalement des *neutrinos*. Ces particules sont très étudiées actuellement pour calculer leur masse et des phénomènes d'oscillations (passage d'un type de neutrino à un autre).

La matière noire « froide » (Cold DM) est au contraire composée de particules dont la vitesse était non relativiste à cette lointaine époque. On trouve deux principaux composants hypothétiques. Tout d'abord les *WIMPs*, pour « Weak Interaction Massive Particules », soit les particules massives sensibles à l'interaction faible. Cette catégorie regroupe de nombreuses possibilités (*neutrino* lourd, particules *supersymétriques*...). Ces particules sont en équilibre thermique. Par contre, un autre type de matière noire chaude est hors équilibre : l'*axion*. Il s'agit d'une particule (pseudoscalaire légère !) qui a été proposée pour résoudre le problème de la violation Charge-Parité pour l'interaction forte. (Pour plus de détails voir : Phys. Rev. Lett. 38(1977)1440, Phys. Rep. 197(1990)67, Phys. Rep. 198(1990)1)

Enfin, en complément on a de la *matière noire supersymétrique*. On retrouve ici, les deux composants de la matière noire froide. En effet, le *neutralino* est un *WIMPs* et l'*axino* est le partenaire supersymétrique de l'*axion* ! Dans la théorie supersymétrique, à toute particule « normale » correspond un partenaire supersymétrique. Ces particules n'ayant toujours pas été détectées, elles constituent une possibilité très intéressante pour la matière

---

3/ Messous Mohamed-Youssef ; *Calibration de détecteurs et recherche de matériaux luminescents pour la détection de la matière noire non baryonique* (Detector calibration and search of luminescent materials for the non baryonic dark matter detection). Thèse Sci. : Université de Lyon 1, Villeurbanne, France, 1995. 126 p.

4/ Forster, G. ; Dark matter detectors. *Nuclear Physics B, Proceedings Supplements*, Nov. 1995, vol.44 , p.175-80.

5/ Jungman, G.; Kamionkowski, M.; Griest, K. ; Supersymmetric dark matter. *Physics Reports* , mars 1996, vol.267, no.5-6, p.195-373.

noire, puisqu'elle non plus n'a pas été repérée. Le *neutralino* serait le « mélange » de quatre autres particules et la particule supersymétrique la plus légère (*Lightest Supersymmetric Particle*), donc la plus stable et la plus facile à détecter...

Il existe de nombreuses autres théories sur ce que pourrait être la matière noire (Majoron, dilatons,...), certaines étant plus probables que d'autres (telles que les *WIMPs*)

### **3. LA DETECTION**

La détection de la *matière noire* est problématique, puisqu'elle est noire ! C'est pourquoi les chercheurs ne savent toujours pas ce qu'ils cherchent ou plutôt quel(s) type(s) de particule(s) ils vont trouver.

Ces particules interagissent avec la matière « normale » de manière faible (interaction faible). Cela pose du coup de nombreux problèmes pour arriver à les « voir » sans « parasites ». En effet, ces particules ont un taux d'interaction avec la matière de 0,01 à 1 événement par kg et par jour, ou même moins ! D'où la difficulté d'en apercevoir une ! Si on ne veut pas attendre des jours entiers pour voir un pauvre *WIMP* perdu au milieu du détecteur, on a tout intérêt à ce que celui ci soit le plus grand possible (mais pas trop non plus : cela peut engendrer des coûts et des difficultés techniques ENORMES !). D'autre part, on doit enterrer les détecteurs pour éviter du « bruit de fond », des « parasites », etc... Comme, les particules ont de faibles interactions, les énergies mises en cause sont faibles et on doit alors tenir compte de toutes les particules susceptibles de traverser le détecteur et de fausser ou gêner les mesures (il suffit d'imaginer que l'on doit trouver un *WIMP* au milieu d'un flot de rayons  $\gamma$ ,  $\beta$ , neutrons,...). Le fait d'enterrer les détecteurs permet de ne pas avoir de rayons  $\gamma$ , cosmiques.... Il reste la radioactivité naturelle des roches, des matériaux utilisés pour les appareillages,... Autant de facteurs dont il faut tenir compte dans des expériences de ce haut niveau de précision.

Les techniques de détection sont « nombreuses et variées ». Nous allons en passer un certain nombre en revue.

#### **3.1 Les scintillateurs <sup>6,7,8,9</sup>**

Un *scintillateur* est un élément dans lequel une particule provoque l'émission de lumière détectée par un *photomultiplicateur* (une cellule photoélectrique sensible qui amplifie le signal et le transforme en impulsion électrique). Les *scintillateurs* peuvent être solides, liquides ou gazeux.

---

6/ Bernabei, R. ; Particle dark matter search with low activity scintillators. *Nuclear Physics B, Proceedings Supplements*, juin 1995, vol.43, p.161-4.

7/ Belli, P.; Bernabei, R.; Landoni, V.; Montecchia, F.; Di Nicolantonio, W.; Incicchitti, A.; Prospero, D.; Bacci, C.; Dai, D.J. ; Limits on  $WIMP$ - $^{129}\text{Xe}$  inelastic scattering. *Physics Letters B*, 10 Oct. 1996, vol.387, no.1 p.222-6

8/ Cline, D.B. ; On a discriminating liquid Xenon detector for SUSY dark matter observation. *Nuclear Physics B, Proceedings Supplements*, Nov. 1996, vol.51B, p.304-13.

9/ Quenby, J.J.; et al. Results from the first stage of a UK Galactic dark matter search using low background sodium iodide detectors. *Physics Letters B*, 25 mai 1995, vol.351, no.1-3, p.70-6

Les *scintillateurs* sont utilisés pour détecter de manière directe les *WIMPs* (ou d'autres particules). En effet ce que l'on « voit » ce sont les chocs élastiques ou non des particules sur les atomes du *scintillateur*.

NaI(Tl) est le plus employé des *scintillateurs* cristallins. Il s'agit de cristaux d'Iodure de sodium dopés au thallium. Lorsqu'une particule passe dans le réseau, son rayonnement ionisant va interagir avec l'iodure de sodium mais l'énergie est transférée au thallium qui émet alors de la lumière qui sera détectée par le(s) *photomultiplicateur(s)*. Ce *scintillateur* est intéressant pour ce genre de recherches car il est sensible aux interactions recherchées (pour des raisons de spin), son seuil est très faible (quelques keV), facile à manipuler (pas de refroidissement), le rapport prix sur masse est très bas donc intéressant. C'est pourquoi il fût l'un des premiers *scintillateurs* utilisé.

Un autre *scintillateur* très utilisé est le Xénon liquide. En effet lors du passage de particule, le Xénon va passer à un état excité. On pourra identifier le passage de la particule grâce à l'émission de rayons gammas lors des désexcitations successives. Les avantages du Xénon est que le recul des atomes et la radioactivité ne donnent pas des signaux identiques, que le Xénon n'a pas d'isotope naturel à longue durée de vie,...

Il existe d'autres matériaux *scintillants* mais ils sont moins utilisés que ces deux là.

### 3.2 Détecteurs cryogéniques <sup>10</sup>, bolomètres 11,12,13,14,15,16

Les détecteurs *cryogéniques*, c'est à dire à très basse température, sont actuellement étudiés selon trois grands axes. Tout d'abord comme les énergies à détecter sont très faibles, ces détecteurs doivent avoir des seuils tout aussi faible, en dessous des valeurs que peuvent atteindre des détecteurs plus conventionnels. Ensuite, ils sont utilisables avec un plus large panel de cibles que pour d'autres techniques (tant que l'on ne veut pas détecter simultanément des phénomènes d'ionisation et de scintillation). Enfin, on doit atteindre un rejet du bruit de fond par reconnaissance des reculs de noyaux qui sont dû aux interactions avec les *WIMPs*. Plus généralement, les détecteurs *cryogéniques* sont attractifs afin d'obtenir un maximum d'information sur les événements rares et en particulier la *matière noire*.

Parmi ces détecteurs, les plus étudiés sont probablement les *bolomètres*. Ils ont été proposés comme spectromètres pour des particules, il y a un peu plus de dix ans. Un cristal absorbant est en contact thermique avec un « senseur » qui agit comme un transducteur thermo électrique (transforme la chaleur en impulsion électrique). L'ensemble du système est maintenu à très basse température au moyen d'un lien thermique avec un bain à basse

11/ Sadoulet, B. ; Science with low temperature detectors. *Nuclear Instruments & Methods in Physics Research, Section A (Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment)*, 11 fév. 1996, vol.370, no.1, p.1-7.

12/ Zhou, J.W. ; et al. Bolometric detection of the recoil spectrum in the alpha decay of <sup>210</sup>Po. *Nuclear Instruments & Methods in Physics Research, Section A (Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment)*, 15 Sept. 1994, vol.349, no.1, p.225-30.

13/ Gerber, D.; et al. The microwave enhanced bolometer. *Nuclear Instruments & Methods in Physics Research, Section A (Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment)*, 11 fév. 1996, vol.370, no.1, p.180-2.

14/ de Marillac, P.; et al ; Characterization of a 2 g LiF bolometer. *Nuclear Instruments & Methods in Physics Research, Section A (Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment)*, 15 déc. 1993, vol.A337, no.1, p.95-100.

15/ Alessandrello, A.; et al ; Large mass, low -temperature, low background detectors. *Nuclear Instruments & Methods in Physics Research, Section A (Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment)*, mai 1992, vol.315, no.1-3, p.263-6.

16/ de Bellefon, A.; et al. ; First results of the edelweiss-asterisk experiment. *Nuclear Physics B Proceedings supplement*, mai 1996, Vol. 48, p.77-79.

17/ Alessandrello, A.; et al. ; Underground low temperature calorimeters to search for rare events. *Nuclear Physics B, Proceedings Supplements*, nov. 1995, vol. 44, p.181-5.

température. Avec un tel appareil, on va chercher à mesurer l'énergie de recul d'un noyau de la cible cristalline dû à un choc élastique avec une particule de matière noire. Dans un *bolomètre*, une particule incidente donne lieu à une augmentation de température mesurable  $\Delta T$  proportionnelle à l'énergie déposée  $E$ . La chaleur produite peut être mesurée au moyen d'un senseur thermique adéquat, d'une jonction tunnel *supraconductrice*... Le choix de la cible est large : semi-métaux, semi-conducteurs, supraconducteurs, isolants... L'un des avantages de ces détecteurs est leur seuil très bas, à très basse température. Ils ont aussi une très haute résolution ( $< \text{keV}$ )

Les *bolomètres* ne sont pas les seuls détecteurs à mettre en œuvre des techniques cryogéniques. Elles sont devenues omniprésentes auprès des manipulations dont le but est de détecter de très faibles énergies.

### 3.3 Quelques autres détecteurs

De nouvelles techniques de détection sont envisagées, profitant des avancées technologiques et des propriétés de certains matériaux.

Ainsi, la *supraconduction* est un phénomène qui apparaît à très basse température (on retrouvera donc de la cryogénie pour mettre en œuvre l'expérience) pour certains composés. Un ingénieux procédé est appelé détecteur à *SSG* <sup>17</sup>, Superconducting Superconducting Granules detector. Il s'agit d'une collection de minuscules sphères supraconductrices, placées dans un champ magnétique, à l'état métastable suprachaud et réparties dans un milieu électriquement isolant. Lorsqu'une particule passe dans le détecteur, elle va interagir avec un noyau d'un granule et déposer de l'énergie qui va provoquer une augmentation de température. Cette dernière va permettre une transition de phase pour l'état supraconducteur du granule de l'état métastable supraconducteur à l'état de conduction normal. La transition d'un seul granule peut être détectée avec les instruments adéquats.

Une autre technique est l'utilisation d'une *TPC* <sup>18</sup>. Il s'agit d'un large volume d'un matériau qui va servir à la fois de cible et de détecteur. En effet lorsqu'une particule, notamment un *neutrino*, traverse ce produit (par exemple de l'Hélium) elle laisse une trace d'électrons d'ionisations. Ces électrons sont ensuite dirigés grâce à un champ électrique axial vers un détecteur à deux dimensions, la troisième coordonnée étant obtenue grâce au temps d'arrivée. Cela justifie le nom de Chambre à projection en Temps (ou/et en Trajectoire).

## 4. CONCLUSION

L'étude et la recherche de *matière noire* est un sujet en pleine expansion. Les premiers résultats arrivent petit à petit car les expériences exigent de très long temps de mesure (au moins plus d'une année), des tests et réglages longs car hyper précis, etc... Ce domaine passionnant promet de faire encore beaucoup parler de lui...

17/ Abplanalp, M. ; et al ; Superheated superconducting granule detectors for dark matter. *Nuclear Instruments & Methods in Physics Research, Section A (Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment)*, 21 Avr. 1994, vol.344, no.1, p.239-42.

18/ Brogini, C. ; A low radioactivity acrylic TPC filled with  $\text{CF}_4$  at high pressure. *Nuclear Instruments & Methods in Physics Research, Section A (Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment)*, 15 Août 1993, vol.A332, no.3, p.413-18.

## BIBLIOGRAPHIE

### Remarques préliminaires

J'ai choisi d'organiser cette bibliographie par thèmes. Cela a posé le problème des références répétées à plusieurs endroits. Pour pallier à cela, les références qui auraient pu figurer sous de nombreux libellés sont dans la rubrique « GENERALLITES ». Dans chaque catégorie et sous catégorie, chacune désignant un type de détection (hormis les deux premières), les références bibliographiques sont classées par ordre alphabétique du premier auteur.

Il est à noter que certains articles ont une longue liste d'auteurs. Comme il a été jugé important, dans les publications, de tous les faire figurer, j'ai respecté ce fait.

De même, un volume contient parfois plusieurs numéros d'un périodique. Ces derniers figurent dans les références mais ne sont généralement pas d'une grande utilité quand on veut obtenir les documents primaires (le numéro de volume et la page sont suffisants).

Enfin, les articles figurant dans les Proceedings Supplements de Nuclear Physics B, ont été considérés comme des articles et non des compte rendu de conférences. Les volumes dont les articles figurent souvent sont aussi référencés dans la partie « GENERALLITES ».

Quelques modifications ont été apportées dans les notations de la norme ZZ 44-005, pour des raisons de lisibilité, selon les modèles suivants :

- Les articles dans les publications en série :

**Nom, Prénom** ; Titre de l'article. *Titre du périodique*, date de publication, volume, numéro, pagination.

- Les compte-rendu de conférences, publiés dans des périodiques :

**Nom, Prénom** ; Titre de l'ouvrage. *Nom de la conférence* ; lieu ; date. Titre du périodique, date de publication, volume, pagination.

- Les contributions à des conférences :

**Nom, Prénom** ; Titre de l'article. *Nom de la conférence*. Edited by : Editeur(s). Lieu de publication : édition, année. Pagination.

- Monographies :

**Nom, Prénom** ; *Titre de l'ouvrage*. Edition. Lieu de publication : année. Pagination. ISBN.

- Thèses :

**Nom, Prénom** ; *Titre*. Niveau de la thèse: organisme de soutenance, année. Nombre de pages.

- Preprints (traités comme des rapports scientifiques) :

**Nom, Prénom** ; *Titre*. année, nombre de pages. N° du rapport

## GENERALITES

1. **Berezinsky, V. ; Bottino, A. ; Mignola, G. ;** Non baryonic dark matter. *Nuclear Physics B, Proceedings Supplements*, Mai 1996, vol.48 , p.22-33.
2. **Bergström, L. ; Carlson, P ; Hulth, P.O. ; Suellman, H. ; (Ed.).** Trends in astroparticle physics : *Proceedings of the workshop on trends in astroparticle physics ; Stockholm, sweden ; 22-25 sept. 1994.* Nuclear Physics B, Proceedings supplement, juin 1995, vol. 43, 359 p.
3. **Borchi, E. ; Majewski, S. ; Huston, J. ; Penzo, A. ; Rancoita, P.G. ; (Ed.).** ICATPP 4 : *Proceedings of the fourth International conference on Advanced Technology and Particle Physics ; Como, italy ; 3-7 oct.1994.* Nuclear physics B, Proceedings supplement, nov. 1995, vol.44, 758 p.
4. **Booth, N.E. ; Salmon, G.L ;** *Low temperature detectors for neutrinos and dark matter.* Editions Frontières. Paris : 1992. 528 P. ISBN 2-86332 113-7.
5. **Caldwell, D.O. ;** Experiments searching for nonbaryonic dark matter. *Nuclear Physics B, Proceedings Supplements*, Jan. 1995, vol.38 , p.394-404.
6. **Caldwell, D.O. ;** : Dark matter experiments. *Proceedings of the Ninth Lake Louise Winter Institute, Particle Physics and Cosmology.* Edited by Astbury, A.; Campbell, B.A.; Israel, W.; Khanna, F.C.; Page,D.; Pinfold, J.L. Singapore : World Scientific, 1995. p.126-49.
7. **Cline, D.B. ;** Dark matter in the Universe : *proceedings of the International symposium on sources and detection of dark matter in the Universe ; Santa Monica, california USA ; 14-16 fév. 1996.* Nuclear physics B, proceedings supplement, nov. 1996, vol. 51B, 338 p.
8. **Flores, R.A. ;** Particle dark matter and its laboratory detection. *Moriond workshop on particle astrophysics, atomic physics and gravitation, 22-29 Jan. 1194.* Edited by : Tran-thanh-van, J. ; Fontaine, G. ; Hinds, E. . (particle astrophysics, atomic physics and gravitation) Paris : Editions Frontières,1994. P. 141-6.
9. **Forster, G. ;** Dark matter detectors. *Nuclear Physics B, Proceedings Supplements*, Nov. 1995, vol.44 , p.175-80.
10. **Gelmini, G.B. ;** Dark matter particle candidates. *Nuclear Physics B, Proceedings Supplements*, juil.1992, vol. 28A, p.254-66.
11. **Goldsmith, D. ;** To catch a WIMP. *New scientist London*, 16 sep. 1995, vol. 147, p. 34-37.
12. **Griest, K. ;** The search for the dark matter : WIMPs and MACHOs. . *Symposium on particles, strings and cosmology, Berkeley, CA(USA), 13-18 dec.1992.* Edited by : Akerlof, C.W. ; Srednicki, M.A.. New york : the new york academy of sciences, 1993. p. 390-407.
13. **Hikasa K; Hagiwara K; Kawabata S; arnett RM; Groom DE; Trippe TG; Wohl CG; Yost GP; Armstrong B; Wagman GS; Stone J; Porter FC; Morrison RJ; Cutkosky RE;**

**Montanet L; Aguilarbenitez M; Caso C; Crawford RL; Roos M; Tornqvist NA; Hayes KG; Hohler G; Manley DM; Olive KA; Shrock RE; Eidelman S; Schindler RH; Hernandez JJ; Conforto G; Eichler RA** ; Review of particle properties. *Physical Review D*, 1 juin 1992, Vol. 45, No 11, p.

14. **Kamionkowski, M.** ; *Particle dark matter*. 1996, 13 p. hep-ph 9609531.

15. **Kamionkowski, M.** ; Indirect detection of WIMPs. *Moriond workshop on particle astrophysics, atomic physics and gravitation, 22-29 Jan. 1994*. Edited by : Tran-thanh-van, J. ; Fontaine, G. ; Hinds, E. . (particle astrophysics, atomic physics and gravitation) Paris : Editions Frontières,1994. P. 169-77.

16. **Morales, A. ; Morales, J. ; Villard, J.A. ; (Ed.)**. TAUP 95 : *Proceedings of the 4<sup>th</sup> International workshop on theoretical and phenomenological aspects of underground physics ; Toledo, spain ; 17-21 sept. 1995*. Nuclear physics B, proceedings supplement, mai 1996, vol. 48, 570 p.

17. **Morales, A. ; (Ed.)**. NEUTRINO 92 : *proceedings of the 15<sup>th</sup> International conference on neutrino physics and astrophysics ; Granada, spain ; 7-12 june 1992*. Nuclear physics B, proceedings supplement, avr. 1993, vol. 31, 502 p.

18. **Mosca, L.** ; Searches for particle dark matter: status and prospects. *Nuclear Physics B, Proceedings Supplements*, mai 1996, vol.48, p.34-40

19. **Moscato, L.** ; Searches for dark matter. *Proceedings of the Johns Hopkins Workshop on Current Problems in Particle Theory 18. Theory Meets Experiment*. Edited by Casalbuoni, R.; Domokos, G.; Kovesi-Domokos, S.; Monteleoni, B. Singapour : World Scientific,1995. p.243-54.

20. **Olive, K.** ; *Why do we need non baryonic dark matter ?* 1996, ?. astro-ph 9605068.

21. **Smith, P.F.** ; Direct detection of WIMP dark matter techniques above 100K. *Nuclear Physics B, Proceedings Supplements*, Nov. 1996, vol.51B , p.284-93.

22. **Spergel, D.N.** ; *Particle dark matter*. 1996, 19 p. astro-ph 9603026.

23. **Ott, H.R. ; Zehnder, A. ; (Ed.)** LTD6 : *Sixth International Workshop on Low Temperature Detectors ; Baenenberg-Interlaken, switzerland ; 28 août-1 sept. 1995*. Nuclear Instruments & Methods in Physics Research, Section A (Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment).11 fév. 1996, vol. 370, no.1., 286 p.

24. **Tran-thanh-van, J. ; Fontaine, G. ; Hinds, E.** . *Particle astrophysics, atomic physics and gravitation*. Editions Frontières. Paris : 1994. 536 P. ISBN 2-86332-161-7.

25. **Valle, J.W.F.** ; Physics at new accelerators : looking beyond the standard model. *Nuclear Physics B, Proceedings Supplements*, avr. 1993, vol.31, p.221-232.

## THEORIE

### Généralités

26. **Dodelson, S. ; Gates, E. ; Turner, M.S. ;** *Cold dark matter models.* 1996, 15 p. astro-ph 9603081.

### Axions, axinos (partenaire supersymétrique)

27. **Bonometto, S.A. ; Gabbiani, F. ; Masiero, A. ;** Mixed dark matter from axino distribution.

28. **Peccei, R.D. ;** *QCD, strong CP and axions.* 1996, 13 p. hep-ph 9606475

29. **Sikivie, P. ;** *Dark matter axions '96.* 1996, 12 p. hep-ph 9611339.

### Supersymétrie, Neutralinos

30. **Abel, S.A. ; Sarkar, S. ; Wittingham, I.B. ;** Neutralino dark matter in a class of unified theories. *Nuclear Physics B*, vol. 392, no. 1, p. 63-110.

31. **Arnowitz, R. ; Nath, P. ;** Models of particle dark matter. *Nuclear Physics B, Proceedings Supplements*, Nov. 1996, vol.51B, p.171-7.

32. **Barger, V. ; Berger, M.S. ; Ohmann, P. ;** Supersymmetric particle spectrum. *Physical review D, Particles fields*, mai 1994, vol. 49, no.9, p. 4908-30.

33. **Berezinsky, V. ; Bottino, A. ; Ellis, J. ; Fornengo, N. ; Mignola, G. ; Scopel, S. ;** Signals from relic neutralinos. *Nuclear Physics B, Proceedings Supplements*, Mai 1996, vol.48 , p.50-52.

34. **Drees, M. ;** Neutralino relic density in minimal N=1 supergravity. *Physical review D, Particles fields*, 15 jan. 1993, vol. 47, no.2, p. 376-408.

35. **Ellis, J. ; Flores, R.A. ;** Implications of LEP on laboratory searches for dark matter neutralinos. *Nuclear Physics B*, 12 juil. 1993, vol. 400, no.1-3, p. 25-36.

36. **Engal, J. ;** Nuclear form factors for the scattering of neutralinos. *Nuclear Physics B, Proceedings Supplements*, juil. 1992, vol. 28A, p.310-3.

37. **Feng, J.L. ;** *Precision measurements in supersymmetry.* Thèse PhD :Stanford Linear accelerator Center, menlo park, CA, USA, 1195. 70 p.

38. **Fornengo, N. ;** Neutralino dark matter. *Nuclear Physics B, Proceedings Supplements*, Mai 1994, vol.35, p.145-7.

39. **Gondolo, P. ; Bergstroem, L. ;** Direct detection of neutralino dark matter and  $b \rightarrow s$  gamma decays. *Nuclear Physics B, Proceedings Supplements*, Mai 1996, vol.48, p.53-5.
40. **Griest, K. ;** Effect of relaxing grand-unification assumptions on neutralinos in the minimal supersymmetric model. *Physical review D, particle fields*, oct. 1992, vol. 46, no.8, p. 3309-17.
41. **Halzen, F. ; Seltzer, T. ; Kamionkowski, M. ;** Signatures of dark matter in underground detectors. *Physical Review D, particles fields*, 15 juin 1992, vol. 45, no. 12, p. 4439-42.
42. **Jungman, G.; Kamionkowski, M.; Griest, K. ;** Supersymmetric dark matter. *Physics Reports*, mars 1996, vol.267, no.5-6, p.195-373.
43. **Kamionkowski, M. ; Griest, K. ; Jungman, G. ; Sadoulet, B. ;** Model-indépendant comparison of direct versus indirect detection of supersymmetric dark matter. *Physical Review Letters*, 26 Juin 1995, vol. 74, p. 5174-7.
44. **Kane, G.L. ;** Realistic models of supersymmetric particle dark matter. *Nuclear Physics B, Proceedings Supplements*, Nov. 1996, vol.51B, p.178-82.
45. **Kawasaki, M. ; Mizuta, S. ;** Relic abundance of the neutralino in the grand unified theories coupled to  $N=1$  supergravity. *Physical Review D, particles fields*, 15 août 1993, vol. 46, no. 4, p. 1634-42.
46. **Kelley, S. ; Lopez, J.L. ; Nanopoulos, D.V. ; Pois, H. ; Yuan, K. ;** New constraints on neutralino dark matter in the supersymmetric standard model. *Physical Review D, particles fields*, 15 mar. 1993, vol. 47, no. 6, p. 2461-7.
47. **Nath, P. ; Amowitt, R. ;** *Supersymmetric Dark matter*. 1996, 25 p. hep-ph 9610460.
48. **Ressel, M.T. ; Aufderheide, M.B. ; Bloom, S.D. ; Griest, K. ; Mathews, G.J. ; Resler, D.A. ;** Nuclear shell model calculations of neutralino-nucleus cross section for  $^{29}\text{Si}$  and  $^{73}\text{Ge}$ . *Physical Review D, particles fields*, 15 déc. 1993, vol. 48, no. 12, p. 5519-35.
49. **Roulet, E. ;** Prospects for supersymmetric dark matter searches. *Rencontre de Moriond : '93 electroweak interactions and unified theories. 13-20 mar. 1993*. Edited by : Tran-thanh-van, J. ; Fontaine, G. ; Hinds, E. . Paris : Editions Frontières,1993. P. 391-6.
50. **The ALEPH collaboration ;** *Mass limit for the lightest neutralino*. 1996, ? . cern PPE-96-083

## SCINTILLATEURS

### Généralités

51. **Bacci, C.; Belli, P.; Bernabei, R.; Dai C.; Ding L.; Di Nicolantonio, W.; Gaillard, E.; Gerbier, G.; Giraud-Heraud, Y. ; Kuang, H.H.; Incicchitti, A.; Mallet, J.; Mosca, L.; Prosperi, D.; Tao, C. ; Chambon, B. ; Chazal, V. ; De Jesus, M. ; Drain, D. ; Messous, Y. ; Pastor, C. ;** Status report on dark matter search with very low activity scintillators. *Nuclear Physics B, Proceedings Supplements*, mai 1994, vol.35, p.159-61.

52. **Bacci, C.; Belli, P.; Bernabei, R.; Dai Changjiang; Ding Linkai; Di Nicolantonio, W.; Gaillard, E.; Gerbier, G.; Kuang Haohuai; Incicchitti, A.; Mallet, J.; Mosca, L.; Prosperi, D.; Tao, C. ;** Dark matter search with very low activity scintillators. *Proceedings of 13th Conference on Particles and Nuclei*. Edited by Pascolini, A. Singapour : World Scientific, 1994. P.753-4.

53. **Belli, P. ;** New limits on axial coupled WIMPs with scintillators. *Moriond workshop on particle astrophysics, atomic physics and gravitation, 22-29 Jan. 1194*. Edited by : Tran-thanh-van, J. ; Fontaine, G. ; Hinds, E. . (particle astrophysics, atomic physics and gravitation) Paris : Editions Frontières,1994. P. 157-60.

54. **Bernabei, R. ;** Particle dark matter search with low activity scintillators. *Nuclear Physics B, Proceedings Supplements*, juin 1995, vol.43, p.161-4.

55. **Lally, C.H.; Davies, G.J.; Jones, W.G.; Smith, N.J.T. ;** UV quantum efficiencies of organic fluors. *Nuclear Instruments & Methods in Physics Research - Section B (Beam Interactions with Materials and Atoms)* , Oct. 1996, vol.117, no.4 , p.421-7.

56. **Ranucci G ;** An analytical approach to the evaluation of the pulse-shape discrimination properties of scintillators. *Nuclear Instruments & Methods in Physics Research, Section A (Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment)*, 30 jan. 1995, Vol. 354, No 2-3, p.389-399.

### Xe

57. **Bacci,C. ; Belli, P.; Bernabei, R.; Di Nicolantonio, W.; Incicchitti, A.; Prosperi, D.; Dai, D.J. ;** Preliminary measurements on axial coupled WIMPs with Xenon target at Gran Sasso. *Moriond workshop on particle astrophysics, atomic physics and gravitation, 22-29 Jan. 1994*. Edited by : Tran-thanh-van, J. ; Fontaine, G. ; Hinds, E. . (particle astrophysics, atomic physics and gravitation) Paris : Editions Frontières,1994. P. 161-2.

58. **Bacci,C. ; Belli, P.; Bernabei, R.; Di Nicolantonio, W.; Incicchitti, A.; Prosperi, D.; Dai, D.J. ;** A first result on axial coupling WIMPs with Xenon target at Gran Sasso. *Nuclear Physics B, Proceedings Supplements*, mai 1994, vol.35, p.165-8.

59. **Belli, P.; Bernabei, R.; Landoni, V.; Montecchia, F.; Di Nicolantonio, W.; Incicchitti, A.; Prosperi, D.; Bacci, C.; Dai, D.J. ;** Charge conservation and electron

lifetime - limits from a liquid Xenon scintillator. *ASTROPARTICLE PHYSICS*, Oct. 1996, Vol. 5, No 3-4, p.217-219.

60. **Belli, P.; Bernabei, R.; Landoni, V.; Montecchia, F.; Di Nicolantonio, W.; Incicchitti, A.; Prospero, D.; Bacci, C.; Dai, D.J.** ; Limits on WIMP-<sup>129</sup>Xe inelastic scattering. *Physics Letters B*, 10 Oct. 1996, vol.387, no.1 p.222-6.

61. **Belli, P.; Bernabei, R.; Dai, C.; Incicchitti, A.; Prospero, D.; Bacci, C.** ; dark matter search with liquid xenon detector at Gran Sasso. *Proceedings of 13th Conference on Particles and Nuclei*. Edited by Pascolini, A. Singapour : World Scientific, 1994. P.753-4.

62. **Belli, P.; Bernabei, R.; Dai, C.; Incicchitti, A.; Prospero, D.; Bacci, C.** ; : Liquid xenon detector for dark matter search at Gran Sasso. *Nuclear Instruments & Methods in Physics Research, Section A (Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment)*, 15 nov. 1993, vol.336, no.1-2, p.336-42.

63. **Cline, D.B.** ; Dark matter detector, novel light counter and the ICARUS project. *International workshop on low temperature detectors for neutrinos and dark matter, Oxford, 4-7 sep. 1991*. Edited by : Booth, N.E. ; Salmon, G.L. Paris : Editions Frontières, 1992. P. 481-92.

64. **Cline, D.B.** ; On a discriminating liquid Xenon detector for SUSY dark matter observation. *Nuclear Physics B, Proceedings Supplements*, Nov. 1996, vol.51B, p.304-13.

#### NaI

65. **Aglietta, M.; Badino, G.; Castagnoli, C.; Castellina, A.; Fulgione, W.; Galeotti, P.; Marchetti, G.; Periale, L.; Saavedra, O.; Trincherò, G.; Vernetto, S.** ; Study of the low frequency background radiation and the effects of the <sup>222</sup>Rn in the LSD underground experiment. *Nuclear Physics B, Proceedings Supplements*, juil. 1992, vol.28A, p.430-3.

66. **Bacci, C.; Belli, P.; Bernabei, R.; Bernabei, R. ; Dai C.; Ding L.; Di Nicolantonio, W.; Gaillard, E.; Gerbier, G.; Kuang H.; Incicchitti, A.; Mallet, J.; Mosca, L.; Prospero, D.; Tao, C. ; Chambon, B. ; Chazal, V. ; DeJesus, M. ; Drain, D. ; Messous, Y. ; Pastor, C.** ; Status report on dark matter search with low activity scintillator. *Nuclear Physics B Proceedings supplement*, mai 1994, vol. 35, p. 159-161.

67. **Fushimi, K.; Ejiri, H.; Hazama, R.; Kudomi, N.; Nagata, K.; Ohsumi, H.; Okada, K.; Tanaka, J.** ; Search for exotic nuclear transition by using the large volume NaI detector of ELEGANTS V. *Nuclear Physics B, Proceedings Supplements*, mai 1994, vol.35, p.400-2.

68. **Fushimi, K.; Ejiri, H.; Kinoshita, H.; Kudomi, N.; Kume, K.; Nagata, K.; Ohsumi, H.; Okada, K.; Sano, H.; Tanaka, J.** ; Application of a large-volume NaI scintillator to search for dark matter. *Physical Review C (Nuclear Physics)*, fév. 1993, vol.47, no.2, p.R425-8.

69. **Quenby, J.J.; Sumner, T.J.; Li, J.P.; Bewick, A.; Grant, S.M.; Shaul, D.; Smith, N.J.T.; Jones, W.G.; Davies, G.J.; Zammit, C.C.; Caplin, A.D.; Stradling, R.A.; Ali,**

**T.; Lally, C.H.; Smith, P.F.; Homer, G.J.; Arnison, G.T.J.; Lewin, J.D.; Alner, G.J.; Cruise, A.M.; van den Putte, M.J.J.; Spooner, N.J.C.; Barton, J.C.; Blake, P.R.; Lea, M.J.; Stefanyi, P. ; Saunders, J. ;** Results from the first stage of a UK Galactic dark matter search using low background sodium iodide detectors. *Physics Letters B*, 25 mai 1995, vol.351, no.1-3, p.70-6

70. **Sarsa, M.L.; Morales, A.; Morales, J.; Garcia, E.; Ortiz de Solorzano, A.; Puimedon, J.; Saenz, C.; Salinas, A.; Villar, J.A. ;** Searching for annual modulations of wimps with NaI scintillators. *Physics Letters B*, 3 Oct.1996, Vol. 386, No. 1-4, p. 458-462.

71. **Sarsa, M.L.; Morales, A.; Morales, J.; Garcia, E.; Ortiz de Solorzano, A.; Puimedon, J.; Saenz, C.; Salinas, A.; Villar, J.A. ;** A search for annual and daily modulations of dark matter with NaI scintillators at Canfranc. *Nucleâr Physics B, Proceedings Supplements*, mai 1996, vol. 48, p.73-6

72. **Spooner NJC; Davies GJ; Lally CH; Smith NJT; Vandnputte M; Smith PF; Lewin JD; Squier GTA; Jagpal P ;** Measurement of Na and I recoil discrimination and detection efficiency in a cooled UVIS NaI crystal for dark matter searches. *Astroparticle Physics*, Oct. 1996, Vol.5, N3-4, p.299-307.

73. **Spooner, N.J.C.; Davies, G.J.; Lally, C.H.; Smith, N.J.T.;Smith, P.F.; Lewin, J.D.; Squier, G.T.A.; Jagpal, P. ;** Measurement of Na and I recoil discrimination and detection efficiency in a cooled "UVIS" NaI detector for dark matter searches. *1995 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging*. Edited by Moonier, P.A. New York : IEEE, 1995, Vol.1, p.253-7.

74. **Spooner, N.J.C.; Smith, P.F.; Arnison, G.T.J.; Homer, G.J.; Lewin, J.D.; Van den Putte, M.; Quenby, J.J.; Davies, G.J.; Grant, S.; Jones, W.G.; Lally, C.H.; Li, J.; Smith, N.J.T.; Sumner, T.J. ;** Development of scintillation detectors for dark matter searches at Boulby mine. *Nuclear Physics B, Proceedings Supplements*, mai 1994, vol.35, p.162-4.

75. **Spooner N J C; Smith P F ;** The UVIS scintillation detector. A proposed method of nuclear recoil discrimination for dark matter searches. *Physics letters B*, 1993,vol. 314, no. 3-4, p.430-435.

## CaF<sub>2</sub>

76. **BPRS Collaboration, Lab. Nazionale Gran Sasso ;** dark matter search with calcium fluoride crystals. *Astroparticle Physics* , mai 1994, vol.2, no.2, p.117-25.

77. **Davies, G.J.; Spooner, N.J.C.; Davies, J.D.; Pyle, G.J.; Bucknell, T.D.; Squier, G.T.A.; Lewin, J.D.; Smith, P.F. ;** The scintillation efficiency for calcium and fluorine recoils in CaF<sub>2</sub> and carbon and fluorine recoils in C<sub>6</sub>F<sub>6</sub> for dark matter searches. *Physics Letters B*, 10 fév. 1994, vol.322, no.1-2 , p.159-65.

## BOLOMETRES

78. Alessandrello, A.; Brofferio, C.; Camin, D.V.; Cremonesi, O.; Fiorini, E.; Garcia, E.; Giuliani, A.; De Marcillac, P.; Nucciotti, A.; Pavan, M.; Pessina, G.; Previtali, E.; Zanolli, L.; Underground low temperature calorimeters to search for rare events. *Nuclear Physics B, Proceedings Supplements*, nov. 1995, vol. 44, p.181-5.
79. Alessandrello, A.; Brofferio, C.; Camin, D.V.; Caspani, P.; Colling, P.; Cremonesi, O.; Fiorini, E.; Giuliani, A.; Nucciotti, A.; Pavan, M.; Pessina, G.; Previtali, E.; Zanolli, L.; Bucci, C.; Preliminary results on the performance of a TeO<sub>2</sub> thermal detector in a search for direct interactions of WIMPs. *Physics Letters B*, 19 Oct. 1996, vol.384, no.1-4, p.316-22
80. Alessandrello, A.; Brofferio, C.; Camin, D.V.; Cremonesi, O.; Fiorini, E.; Garcia, E.; Giuliani, A.; de Marcillac, P.; Nucciotti, A.; Pavan, M.; Pessina, G.; Previtali, E.; Zanolli, L.; The Milano-Gran Sasso experiment on double beta decay using thermal detector array. *Proceedings of 27th International Conference on High Energy Physics*. Edited by Bussey, P.J.; Knowles, I.G. Royaume Uni : IOP Publishing, 1995. Vol. 2, p.943-4.
81. Alessandrello, A.; Brofferio, C.; Camin, D.; Cremonesi, O.; Fiorini, E.; Gervasio, G.; Giuliani, A.; Pavan, M.; Pessina, G.; Previtali, E.; Zanolli, L.; Large mass bolometric detectors for double-beta decay experiments. *IEEE transactions on nuclear science*, août 1992, vol. 39, no. 4, p. 610-4.
82. Alessandrello, A.; Brofferio, C.; Camin, D.; Cremonesi, O.; Fiorini, E.; Gervasio, G.; Giuliani, A.; Pavan, M.; Pessina, G.; Previtali, E.; Zanolli, L.; Gamma ray spectroscopy with high-Z thermal detectors. *Nuclear Instruments & Methods in Physics Research, Section A (Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment)*, 10 mai 1992, vol.314, no.3, p.595-601.
83. Alessandrello, A.; Brofferio, C.; Camin, D.; Cremonesi, O.; Fiorini, E.; Gervasio, G.; Giuliani, A.; Pavan, M.; Pessina, G.; Previtali, E.; Zanolli, L.; Large mass, low - temperature, low background detectors. *Nuclear Instruments & Methods in Physics Research, Section A (Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment)*, mai 1992, vol.315, no.1-3, p.263-6.
84. de Bellefon, A.; Berge, L.; Berkes, I.; Bobin, C.; Broszkiewicz, D.; Chambon, B.; Chapellier, M.; Chardin, G.; Charvin, P.; Chazal, V.; Coron, N.; De Jesus, M.; Drain, D.; Dumoulin, L.; Giraud-Heraud, Y.; Guerrier, G.; Goldbach, C.; Guerrier, G.; Hadjout, J.P.; Leblanc, J.; Marchand, D.; Messous, Y.; Navick, X.F.; Nollez, G.; Pastor, C.; Pari, P.; Prostakov, I.; Perillo-Isaac, M.C.; Yvon, D.; First results of the edelweiss-asterisk experiment. *Nuclear Physics B Proceedings supplement*, mai 1996, Vol. 48, p.77-79.
85. de Bellefon, A.; Berge, L.; Berkes, I.; Broszkiewicz, D.; Chambon, B.; Chapellier, M.; Chardin, G.; Charvin, P.; Chazal, V.; Coron, N.; De Jesus, M.; Drain, D.; Dumoulin, L.; Giraud-Heraud, Y.; Guerrier, G.; Goldbach, C.; Hadjout, J.P.; Leblanc, J.; Messous, Y.; Navick, X.F.; Nollez, G.; Pastor, C.; Pari, P.; Prostakov, I.; Perillo-Isaac, M.C.; Yvon, D.; Dark matter search in the Frejus Underground Laboratory EDELWEISS

experiment. *Nuclear Instruments & Methods in Physics Research, Section A (Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment)*, 11 fév. 1996, vol.370, no.1, p.230-2.

86. **Bobin Christophe** ; *Bolometres massifs et detection de la matiere noire non baryonique (Massive bolometers and detection of the non baryonic dark matter)*. Thèse Sci. : Université de Lyon 1, Villeurbanne, France, 1995. 104 p.

87. **Chazal ; V.** ; *Etude de l'environnement neutron au laboratoire souterrain de Modane*. Thèse Sci. : Université de Lyon 1, Villeurbanne, 1996. 129 p.

88. **Coron, N.; Zhou, J.W.; de Bellefon, A.; Dambier, G.; Giraud-Heraud, Y.; Goldbach, C.; Gonzalez-Mestres, L.; Goret, P.; Leblanc, J.; de Mareillac, P.; Nollez, G.** ; Underground measurements at the Frejus tunnel in the 3 keV-5 MeV energy range with a massive bolometer. *Nuclear Physics B, Proceedings Supplements*, mai 1994, vol.35, p.169-71.

89. **Coron, N.; Zhou, J.W.; de Bellefon, A.; Dambier, G.; Giraud-Heraud, Y.; Goldbach, C.; Gonzalez-Mestres, L.; Goret, P.; Leblanc, J.; de Marcillac, P.; Nollez, G.** ; Towards a bolometric dark matter detection experiment: underground radioactive background measurements in the 3 keV-5 MeV energy range with a massive bolometer at 55 mK. *Astronomy and Astrophysics*, nov. 1993, vol.278, no.2 p.L31-4.

90. **Coursol N; Coron N; Masse D; Stroke H; Zhou JW; Demarcillac P; Leblanc J; Artzner G; Dambier G; Bouchard J; Jegoudez G; Lepeltier JP; Nollez G; Golbach C; Picolo JL** ; Performance and applications of cooled composite bolometers in the of ionizing-radiation metrology. *Nuclear Instruments & Methods in Physics Research, Section A (Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment)*, 1 fév. 1992, vol. 312, no. 1-2, p. 24-33.

91. **Fiorini, E.** ; Physical motivations for thermal detectors. *Journal of Low Temperature Physics*, nov. 1993, vol.93, no.3-4, p.189-200.

92. **Gerber, D.; Paic, A.; Tadsen, A.; Twerenbold, D.; Vuilleumier, J.L.** ; The microwave enhanced bolometer. *Nuclear Instruments & Methods in Physics Research, Section A (Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment)*, 11 fév. 1996, vol.370, no.1, p.180-2.

93. **Goret P.** ; *Développements de bolomètres pour la recherche de matière noire (bolometers development for dark matter searches)*. Thèse Sci. : Université de Paris 06, France, 1993. 135 p.

94. **de Marcillac, P.; Coron, N.; Leblanc, J.; Bobin, C.; Berkes, I.; De Jesus, M.; Hadjout, J.P.; Gonzalez-Mestres, L.; Zhou, J.W.** ; Characterization of a 2 g LiF bolometer. *Nuclear Instruments & Methods in Physics Research, Section A (Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment)*, 15 déc. 1993, vol.A337, no.1, p.95-100.

95. **De Marcillac Pierre** ; *Bolometres massifs refroidis a tres basse temperature pour la detection de la matiere noire non baryonique. Faisabilite et premieres mesures souterraines*

au tunnel du Frejus (Massive bolometers cooled at very low temperature for the detection of the non baryonic dark matter. Feasibility and first underground measurements at the tunnel of Frejus). Thèse Sci ; : Université de Paris 07, France, 1993. 402 p.

96. **Messous Mohamed-Youssef** ; *Calibration de détecteurs et recherche de matériaux luminescents pour la détection de la matière noire non baryonique (Detector calibration and search of luminescent materials for the non baryonic dark matter detection)*. Thèse Sci. : Université de Lyon 1, Villeurbanne, France, 1995. 126 p.

97. **Minowa, M.; Ito, Y.; Ootani, W.; Nishigaki, K.; Watanabe, T.; Ootuka, Y.** ; Direct dark matter search program with bolometers at the University of Tokyo. *Journal of Low Temperature Physics*, nov. 1993, vol.93, no.3-4, p.803-8.

98. **Stefanyi, P.; Zammit, C.C.; Rentzsch, R.; Fozooni, P.; Saunders, J.; Lea, M.J.** ; Development of a Si bolometer for dark matter . detection. *Physica B*, fév. 1994, vol.194-196, p.161-2.

99. **Wang XX; Martoff CJ; Kaczanowicz E** ; Thin-film GeAu bolometers for particle detection. *Physica B*, fév. 1994, vol. 194, p. 11-2.

100. **Yvon, D. ; Berge, L. ; Dumoulin, L. ; de Marcillac, P. ; Marnieros, S. ; Pari, P. ; Chardin, G.** ; Evidence for signal enhancement due to ballistic phonon conversion in NbSi thin films bolometers. *Nuclear Instruments & Methods in Physics Research, Section A (Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment)*, 11 fév. 1996, Vol. 370, No 1, p. 200-202.

101. **Yvon, D.; Wang, N.; Chapellier, M.; Chardin, G.; Leveque, P.; L'Hote, D.; Pari, P.; Soudee, J.; Guerrier, G.** ; Bolometer 's development, with simultaneous measurement of heat and ionisation signals, at Saclay. *Journal of Low Temperature Physics*, nov. 1993, vol.93, no.3-4, p.405-10.

102. **Zhou, J.W.; de Marcillac, P.; Artzner, G.; Coron, N.; Goldbach, C.; Leblanc, J.; Nollez, G.; Stroke, H.H.** ; Bolometric detection of the recoil spectrum in the alpha decay of  $^{210}\text{Po}$ . *Nuclear Instruments & Methods in Physics Research, Section A (Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment)*, 15 Sept. 1994, vol.349, no.1, p.225-30.

### SEMI CONDUCTEURS

103. **L'Hote, D.; Navick, X.F.; Barbier, A.; Stab, L.; Chapellier, M.; Chaumont, J.; Chardin, G.; Ponpon, J.P.; Prostavok, I.; Yvon, D.** ; Systematic study of massive germanium pin diode detectors at 20 mK. *Nuclear Instruments & Methods in Physics Research, Section A (Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment)*, 11 fév. 1996, vol.370, no.1, p.193-5.

104. **Spooner N J C; Homer G J; Smith P F** ; Investigation of a thick Si diode ionization detector at low temperatures for dark matter searches. *IEEE transactions on nuclear science*, 1993, vol. 40, p.105-113.

105. **Spooner N J C; Homer G J; Smith P F** ; Investigation of a high purity Si detectors with ohmic contacts at low temperature for dark matter searches. *IEEE transactions on nuclear science*, 1993, vol. 40, p.275-9.

### TPC's

106. **Arzarello, F.; Ciralli, F.; Fraseoni, F.; Bonvicini, G.; Laurenti, G.; Zichichi, A.; Seguinot, J.; Ypsilantis, T.; Tzamarias, S.** ; HELLAZ: a high rate solar neutrino detector with neutrino energy determination. *Proceedings of the International School on Cosmological Dark Matter*. Valle, J.W.F.; Perez, A. Singapour : World Scientific, 1994. p.205-27.

107. **Benetti P; Bettini A; Calligarch E; Casagrande F; Casolli L; Cavanna F; Cennini P; Centro S; Cittolin S; Cline D; Dainse B; Devecchi C; Dolfini R; Berzolari AG; Giudice D; Li X; Liu Y; Mauri F; Montanari C; Muratori G; Mortari GP; Otwinowski S; Pepato A; Periale L; Piazzoli A; Picchi P; Pietropaolo F; Rappoldi A; Raselli GL; Revol JP; Rossi P; Rubbia C; Scannicchio D; Suzuki S; Tian WH; Ventura S; Verdecchia M; Wang H; Zhou M** ; ICARUS, a novel detector for proton decay and neutrino searches at the LNGS. *Nuclear Physics B Proceedings supplement*, mai 1994, vol. 35, p. 276-279.

108. **Besida Olivier** ; *Etude d'un detecteur gazeux a ionisation pour la recherche de la matiere noire de l'univers (Study of a gaseous ionizing detector to search for the dark matter of the universe)*. Thèse Sci. : Universite de Paris 11, Orsay, France. 146 p.

109. **Broggini, C.** ; A low radioactivity acrylic TPC filled with CF<sub>4</sub> at high pressure. *Nuclear Instruments & Methods in Physics Research, Section A (Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment)*, 15 Août 1993, vol.A332, no.3, p.413-18.

110. **Girard TA ; Aprile E ; Fernholz RC** ; Sensitivity of a large volume L Xe TPC to neutrinoless double beta-decay. *Nuclear Instruments & Methods in Physics Research, Section A (Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment)*, 20 mai 1992, vol. 316, no. 1, p. 44-50.

### TECHNIQUES CRYOGENIQUES

111. **Cabrera, B. ; Brink, P.L. ; Clarke, R.M. ; Chugg, B. ; Davies, A.K. ; Nam, S.W. ; Young, B.A.** ; Low temperature detectors for dark matter searches. *Nuclear Physics B, Proceedings Supplements*, Nov. 1996, vol.51B, p.294-303.

112. **Caldwell, D.O.** ; An initial search for dark matter with a cryogenic detector. *International workshop on low temperature detectors for neutrinos and dark matter, Oxford, 4-7 sep. 1991*. Edited by : Booth, N.E. ; Salmon, G.L. Paris : Editions Frontières, 1992. P. 387-96.
113. **Chugg, B. ; Irwin, K.D. ; Cabrera, B.** ; Design of kilogram mass scale TES for the cryogenic dark matter search. *Journal of low temperature physics*, nov. 1993, vol.93, no. 3-4, p. 429-32.
114. **Deptuck D; Harrison JP; Erhardt L** ; Analysis of cryogenic calorimeter pulse shapes using a diffusion model. *Nuclear Instruments & Methods in Physics Research, Section A (Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment)*, 11 fév. 1996, Vol. 370, No 1, p.144-146.
115. **Drukier, A.K.** ; The next generation of dark matter detectors. Isotopically enriched Germanium vs. Cryogenic detectors. *International workshop on low temperature detectors for neutrinos and dark matter, Oxford, 4-7 sep. 1991*. Edited by : Booth, N.E. ; Salmon, G.L. Paris : Editions Frontières, 1992. P. 397-406.
116. **Forster, G. ; Von feilitzsch, F. ; Hoehne, J. ; Kellner, E. ; Wilhelm, D. ; Bucci, C. ; Colling, P. ; Cooper, S. ; Ferger, P. ; Frank, M.** ; Cryogenic détecteur development for direct dark matter search. *Moriond workshop on particle astrophysics, atomic physics and gravitation, 22-29 Jan. 1994*. Edited by : Tran-thanh-van, J. ; Fontaine, G. ; Hinds, E. (particle astrophysics, atomic physics and gravitation) Paris : Editions Frontières, 1994. P. 185-90.
117. **Minowa, M. ; Sakamoto, M. ; Ito, Y. ; Watanabe, T. ; Ootani, W. ; Ootuka, Y.** ; Cryogenic thermal detector with LiF absorber for direct dark matter search experiment. *Nuclear Instruments & Methods in Physics Research, Section A (Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment)*, 1 Avr. 1993, vol.327, no.2-3, p.612-4.
118. **Mossbauer, R.L.** ; Progress in cryogenic detectors for neutrinos, dark matter and rare processes. *Nuclear Physics B Proceedings supplement*, avr. 1993, vol. 31, p.385-96.
119. **Sadoulet, B.** ; Science with low temperature detectors. *Nuclear Instruments & Methods in Physics Research, Section A (Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment)*, 11 fév. 1996, vol.370, no.1, p.1-7.
120. **Nucciotti, A. ; Colling, P. ; Cooper, S. ; Dummer, D. ; Von feilitzsch, F. ; Ferger P. ; Forster, G. ; Frank, M. ; Gebauer, H.J. ; Hallatschek, K. ; Kellner, E. ; Nagel, U. ; Proebst, F. ; Rulofs, A. ; Seidel, W. ; Stodolsky, L.** ; Munich cryogenic detector development for direct dark matter search. *Nuclear Physics B, Proceedings Supplements*, mai 1994, vol.35, p.172-4.
121. **Ootani, W.; Ito, Y.; Nishigaki, K.; Kishimoto, Y.; Minowa, M.; Ootuka, Y.** ; Sensitive germanium thermistors for cryogenic thermal detector of Tokyo dark matter search programme. *Nuclear Instruments & Methods in Physics Research, Section A (Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment)*, 1 Avril 1996, vol.372, no.3, p.534-8.

122. Seidel, W. ; Cryogenic detectors for dark matter searches. *Symposium on particles, strings and cosmology, Berkeley, CA(USA), 13-18 dec.1992*. Edited by : Akerlof, C.W. ; Srednicki, M.A.. New york : the new york academy of sciences, 1993. P. 632-638.

123. Valle, J.W.F. ; *Neutrino properties*. 1996, 11 p. hep-ph 9602369.

124. Wang, N. ; *A cryogenic phonon detector to search for dark matter particles*. Thèse PhD : University of California Berkeley, USA, 1991. 220 p.

### SSG DETECTOR

125. Abplanalp, M. ; Berger, C.; Czapek, G.; Diggelmann, U.; Furlan, M.; Gabutti, A.; Janos, S.; Moser, U.; Pozzi, R.; Pretzl, K.; Schmiemann, K.; Superheated superconducting granule detectors for dark matter. *Nuclear Instruments & Methods in Physics Research, Section A (Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment)*, 21 Avr. 1994, vol.344, no.1, p.239-42.

126. Berger, C.; Czapek, G.; Diggelmann, U.; Flammer, I.; Frei, D.; Furlan, M.; Gabutti, A.; Janos, S.; Moser, U.; Pretzl, K.; Schmiemann, K.; Perret-Gallix, D.; van den Brandt, B.; Konter, J.A.; Mango, S. ; Superheated superconducting granule detector tested with nuclear recoil measurements. *Nuclear Instruments & Methods in Physics Research, Section A (Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment)*, 10 Juin 1993, vol.A330, no.1-2, p.285-92.

127. Berger, C.; Czapek, G.; Diggelmann, U.; Flammer, I.; Frei, D.; Furlan, M.; Gabutti, A.; Janos, S.; Moser, U.; Pretzl, K.; Schmiemann, K.; Perret-Gallix, D.; van den Brandt, B.; Konter, J.A.; Mango, S. ; Test of superheated superconducting granule detector with nuclear recoil measurements. *Helvetica Physica acta*, juil. 1993, no. 4, p. 443-444.

128. Booth NE; Goldie DJ; Superconducting particle detectors. *SUPERCONDUCTOR SCIENCE & TECHNOLOGY*, Juil. 1996, Vol. 9, No. 7, p. 493-516.

### SUPRACONDUCTEUR

129. Abplanalp, M. ; Czapek, G. ; Diggelmann, U. ; Furlan, M. ; Huber, D ; Janos, S. ; Moser, U. ; Pozzi, R. ; Pretzl, K. ; Schmiemann, K. ; Van der brandt, B. ; Konter, J.A. ; Mango, S. ; Perret-gallix, D. ; Kainer, K.U. ; Knoop, K.M. ; The ORPHEUS dark matter experiment. *Nuclear Instruments & Methods in Physics Research, Section A (Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment)*, 11 fév. 1996, vol.370, no.1, p.227-9.

130. Collar, J.I. ; Girard, T.A. ; Prospects for dark matter detection with metastable superconductors. *Moriond workshop on particle astrophysics, atomic physics and gravitation, 22-29 Jan. 1994*. Edited by : Tran-thanh-van, J. ; Fontaine, G. ; Hinds, E. .

(particle astrophysics, atomic physics and gravitation) Paris : Editions Frontières, 1994. P. 191-56.

131. **Esposito, E. ; Booth, N.E. ; Gaitskell, R.G. ; Giles, T.J. ; Hoess, C. ; Houwman, E.P. ; Van den putte, M.J.J. ; Salmon, G.L. ; Waeninger, S. ;** Development of a dark matter detector using arrays of superconducting tunnel junctions. *Nuclear Instruments & Methods in Physics Research, Section A (Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment)*, 11 fév. 1996, vol.370, no.1, p.31-3.

132. **Gaitskell, R.G. ;** Prospects for dark matter detection with a large superconducting Niobium absorber. *International workshop on low temperature detectors for neutrinos and dark matter, Oxford, 4-7 sep. 1991*. Edited by : Booth, N.E. ; Salmon, G.L. Paris : Editions Frontières, 1992. P. 435-44.

133. **Laws K E; Barber W C; Bland R W; Carpenter J W; Johnson R T; Lockhart J; Lee J S; Watson R M; Labov S E; Mears C A; Ellman B ;** A prototype dark matter detector using a series array of aluminum superconducting tunnel junctions. *IEEE Transactions on applied superconductivity*, 1993, vol.3, p.2076-2079.

### DETECTION DE NEUTRINOS

134. **Alessandrello, A.; Bellotti, E.; Brofferio, C.; Camin, D.V.; Cattadori, C.; Cremonesi, O.; Ferrari, N.; Fiorini, E.; Giuliani, A.; Pavan, M.; Pessina, G.; Previtali, E.; Zanotti, L. ;** A bromine cryogenic detector for solar and non solar neutrino spectroscopy. *Astroparticle Physics*, mai 1995, vol.3, no.3, p.239-57.

135. **Boliev, M.M.; Bugaev, E.V.; Butkevich, A.V.; Chudakov, A.E.; Mikheyev, S.P.; Suvorova, O.V.; Zakidyshev, V.N. ;** Search for supersymmetric dark matter with Baksan Underground Telescope. *Nuclear Physics B, Proceedings Supplements*, mai 1996, vol. 48, p.83-6.

136. **Bottino, A. ; De alfarò, V. ; Fornengo, N. ; Scopel, S. ; Morales, A. ; Puimedon, J ; ;** Analysis of direct searches for neutrino dark matter. *Nuclear Physics B, Proceedings Supplements*, juil. 1992, vol. 28A, p.314-20.

137. **Caldwell, D.O. ;** Neutrinos and the dark matter of the universe. *Progress in particle and nuclear physics*, 1994, vol. 32, p.109-17.

138. **Edsjoe, J.; Gondolo, P. ;** WIMP mass determination with neutrino telescopes. *Physics Letters B*, 14 Sept. 1995, vol.357, no.4, p.595-601.

139. **Fiorini, E. ;** Thermal detectors for neutrinos, dark matter and rare events. . *Nuclear Physics B, Proceedings Supplements*, mai 1996, vol. 48, p.41-6.

140. **Ma E; Roy P ;** Model of 4 light neutrinos in the light of all present data. *Physical Review D*, 1 Nov. 1995, Vol. 52, No. 9 , p.4780-3.

141. **Vogel, P.** ; Nuclear physics and detection of solar neutrinos and dark matter. *Nuclear Physics B, Proceedings Supplements*, avr. 1993, vol. 31, p.149-55.

# **ANNEXES**

1 : INTERNET

2 : INDEX DES TERMES SPECIALISES

## ANNEXE 1

### INTERNET

#### REMARQUES PRELIMINAIRES

Les sites webs présentés ci-dessous, ont tous été visités le 24 Février 1997.

Cette section ne comportant que des sites et non des pages spécifiques contenant des informations, aucune norme n'a été utilisée. C'est pour cette même raison que j'ai jugé important de ne pas les faire figurer comme partie intégrante de la bibliographie et que seul l'URL est citée.

Afin de mieux cerner leur contenu, l'URL est suivie de quelques renseignements.

#### 1 - PREPRINTS

**<http://preprints.cern.ch/>**

Il s'agit DU SITE de référence en matière de preprints pour la physique. En effet il propose outre des services de recherche d'articles et de références, quelques liens et des compte rendu de congrès. La base contient quelques documents externes, mais surtout les e-Print, depuis janvier 1994, suivants : cern, hep-ph (phénoménologie), hep-th(théorie), astro-ph (astronomie et astrophysique), gr-qc( relativité générale et cosmologie quantique), nucl- th (théorie nucléaire), hep-lat ( physique calculatoire et des couches), experimental physic including hep-ex (physique expérimentale).

**<http://babbage.sissa.it/>**

Ce serveur de preprints est situé en Italie. Il propose des recherches sur des durées courtes : new (le jour même), recent (dernière semaine). On peut aussi avec la commande find rechercher dans las archives en sélectionnant la date, le titre et des mots clefs. Les résultats sont obtenus par ordre chronologique (contenu analogue au serveur du cern)

**<http://nqcd.lanl.gov/notices/>**

Ce site est retrospectif car il ne contient les preprints que de 1990 à 1994. On peut aussi trouver des séminaires.

## 2 - JOURNAUX

**<http://www.nucphys.nl/www/pub>**

Comme l'URL l'indique ce serveur est un moyen d'information et de publicité pour les journaux tels que Nuclear Physics A,B et B proceedings supplement. Néanmoins pour les personnes abonnées, une consultation électronique (ejournaux) est disponible.

## 3 - INFORMATIONS

**<http://info.in2p3.fr/html/e-hep.html>**

Ce serveur donne des renseignements notamment sur les expériences menées au cern, au desy et au slac.

**<http://www.physics.usyd.edu.au/~wangjg/phys.html>**

Ce site donne toute une liste très intéressante car bien fournie de liens avec d'autres sites spécialisés en physique.

**<http://hepwww.rl.ac.uk/ukdmc/pub/publications.html>**

Cette page contient une liste de références bibliographiques. On peut aussi trouver sur ce site une présentation succincte de ce qu'est la matière noire et de quelques expériences sur ce sujet.

**[Http://physics7.berkeley.edu/newsletter/Winter96/gaitskell\\_ltd6.html](Http://physics7.berkeley.edu/newsletter/Winter96/gaitskell_ltd6.html)**

Cette page est une présentation du congrès sur les détecteurs a basse température : sixth international workshop on low temperature detectors (cf. réf. n° [23]).

**<Http://physics7.berkeley.edu/home.html>**

Informations sur ce qui est fait à Berkeley (UCB) sur le sujet.

## ANNEXE 2

### LISTE DES TERMES SPECIFIQUES

**Axion** : particule (pseudoscalaire légère !) qui a été proposée pour résoudre le problème de la violation Charge-Parité pour l'interaction forte.

**Axino** : partenaire supersymétrique de l'axion.

**Baryon** : particule massive de spin demi entier et soumise à l'interaction forte (à l'intérieur des noyaux atomiques). Un baryon est composé de trois quarks.

**Bolomètre** : détecteur qui mesure des variations de température proportionnelles à l'énergie perdue par la particule lorsqu'elle traverse la cible cristalline.

**Boson** : particule de spin entier ou nul.

**Cryogénie** : méthodes et techniques mettant en jeu des températures très basses, proches du zéro absolu.

**Fermion** : particule de spin demi-entier

**Lepton** : particule (fermion) élémentaire insensible à l'interaction forte, contrairement aux baryons.

**LSP** : Lightest Supersymmetric Particule : particule supersymétrique la plus légère. L'une des cibles privilégiée des recherches fondamentales actuelles (avec le boson de Higgs et quelques autres...)

**Matière noire** : matière invisible (non lumineuse) et dont l'existence expliquerait certaines observations astronomiques (entre autre...)

**Modèle standard** : théorie qui intègre trois des quatre interactions fondamentales : la faible, l'électromagnétique et la forte. (la quatrième est la gravitation !)

**Neutralino** : particule supersymétrique correspondant à la « superposition » de quatre autres particules (higgsinos, photino, zino !) et étant supposé être le LSP.

**Neutrino** : particule neutre de la famille des leptons. Il en existe trois, associés chacun à une famille de leptons chargés : le neutrino électronique, le muonique et le tauique.

**Photomultiplicateur** : Il s'agit d'un appareil qui transforme un photon (lumière) en électron puis par un jeu de dynodes et de potentiels croissants multiplie le nombre d'électrons. Cela donne en sortie un signal électrique amplifié (par rapport au photon initial) et mesurable.

**Scintillateur** : matériau qui émet de la lumière lorsqu'il est traversé par une particule. Celle-ci perd de l'énergie par chocs avec les atomes du scintillateur.

**Spin** : propriété interne aux particules, analogue mais non identique à la notion de « rotation sur soi ». On peut partager les particules en deux familles si on considère leur valeur de spin : les bosons et les fermions.

**SSG** : Superconducting Superheated Granule, soit grains supra conducteurs supra chauds. Il s'agit en fait de minuscules sphères placées dans des conditions de supraconduction (température très basse, champ magnétique, etc...) mais proches en température de la transition de phase afin qu'une légère variation provoque un changement d'état et puisse permettre de repérer le passage d'une particule.

**Supersymétrie** : théorie introduite par Nilles en 1964. Elle impose l'existence d'une nouvelle symétrie appelée  $R_{\text{parité}}$  et qui s'écrit  $R_{\text{parité}} = (-1)^{3(B-L)+2S}$  où B est le nombre baryonique, L le nombre leptonique et S le spin de la particule (nombres caractéristiques). Sur le modèle standard supersymétrique minimal (MSSM), voir p. 342 de [42].

**Supraconduction** : phénomène magnétique qui apparaît dans certains matériaux au dessous d'une certaine température très basse (température critique). Ce phénomène est dû à un arrangement « ordonné » des électrons de conduction. Le courant électrique peut alors circuler sans aucune dissipation d'énergie (d'où supraconduction !) et le champ magnétique ne pénètre plus dans le matériau.

**TPCs** : Time or Track Projection Chamber, soit Chambre à Projection de Temps ou de Trajectoire. Il s'agit d'un détecteur à grand Volume où on peut déterminer la trajectoire des particules.

**WIMPs** : particule massive sensible à l'interaction faible. Il s'agit d'une classe de particules.