

Stage de troisième année 2002/2003
**ECOLE NATIONALE SUPERIEURE DE PHYSIQUE DE
STRASBOURG**

Antoine Lebrun

ALICE-TRD

RAPPORT DE STAGE

sous la direction de M. Anton Andronic

Septembre 2003

GSI, Darmstadt, Allemagne

UNIVERSITE LOUIS PASTEUR, STRASBOURG I

Remerciements,

Je tiens à remercier mon maître de stage Prof. Peter Braun-Munzinger pour m'avoir donné l'opportunité de venir travailler au GSI sur un projet aussi fascinant.

Je remercie mon superviseur Anton Andronic pour toute l'aide qu'il m'a apportée pendant mon stage et pour sa très grande culture musicale qu'il m'a fait partagée.

Je remercie toute l'équipe KP1 pour son aide et ses conseils, Mircea, Andrei, Chilo et tous les autres.

Un chaleureux merci finalement à David Emschermann, travaillant à Heidelberg, pour la partie du stage que nous avons fait ensemble et également parce qu'il est toujours agréable d'avoir des conversations en français de temps en temps, même en Allemagne.

Abstract

Les contraintes de plus en plus poussées sur les divers éléments constituant un détecteur comme la TRD d'ALICE obligent les scientifiques à rechercher de nouvelles solutions pour la construction des prochains modules. Ainsi, la TRD qui fera partie du projet ALICE comporte plus de 1 million de canaux de lecture, entraînant un important flux de données à gérer.

Dans le cadre de l'expérience ALICE - A Large Ion Collider Experiment - dont l'assemblage s'achèvera en 2007, j'ai collaboré au cours de ces quelques mois avec l'équipe chargée de la mise en place du détecteur TRD - Transition Radiation Detector. Le but de ce détecteur est d'obtenir une très bonne identification des électrons et des pions générés par les collisions au sein de l'accélérateur. La TRD doit également fournir un ordre de déclenchement de prise de données* suffisamment rapide pour les autres détecteurs tels la TPC. Le cahier des charges de la TRD est donc très rigoureux et les proportions que prendront ce module font de la TRD d'ALICE le plus grand détecteur à transition de radiation jamais construit. Les canaux des chambres de lecture recueilleront les mesures de charge et enverront leur lecture vers l'électronique embarquée. Cet énorme flux de données exige une nouvelle approche pour la transmission et c'est là que je suis chargé d'étudier les différentes possibilités et les solutions abordables en respectant en tout point le cahier des charges.

Les câbles connectés aux pistes de lecture† du détecteur doivent supporter la température de soudure ou de collage suivant la technologie employée. Il faut également que la technique de soudure ait une température maximum de telle sorte que le padplane ne soit pas trop déformé lors de l'assemblage. Les deux solutions d'assemblage qui ont été envisagées ici sont le collage par encre spéciale (produit de la société 3M) et la soudure de câbles en polyester (produits par Axon company). Dans les deux cas, l'absence de connecteurs traditionnels sur les pistes de lecture et la température du procédé inférieure aux températures de soudure classique constituent les points mis en avant.

* *triggering* en anglais

† *padplane* en anglais

Abstract

As element of the new detectors become more and more complex, scientists have to search for other ways of constructing the next modules. That is the case for the new experiment ALICE - A Large Ion Collider Experiment - which will be setup in 2007 around the new particule accelerator of Geneva. The one millions channel of some module represents a new challenge to achieve.

I went to collaborate for six months with the GSI team working on the Transition Radiation Detector module of ALICE. The goal of this detector is to detect and identify the electrons and pions emitted by heavy ions collisions. The TRD can also send trigger signal for slower modules like the Time Projection Chamber of ALICE. This special TRD will be the biggest one ever built and one of the challenge will be to sent the datas from the TRD's padplanes to the electronic, this representing more than one million of channel. The normal way of soldering connectors to such a padplane cannot be used anymore due to the high temperature imposed by the solering iron. Instead, we need to find other solutions for this problem and that is how I was to begin my training : to measure the impact on the TRD of the new options delivered by Axon company and 3M company.

Contents

1	Le lieu de stage	6
1.1	Le laboratoire GSI	6
1.2	Le département KP1	6
2	Le projet	8
2.1	Présentation de l'expérience ALICE	8
2.2	La TRD d'ALICE	10
2.2.1	Principe de la radiation de transition	10
2.2.2	Le radiateur	11
2.2.3	La chambre de lecture	12
2.2.4	Géométrie générale de la TRD	12
2.3	le sujet du stage	14
3	Bandes conductrices entre les pistes de lecture et l'électronique	14
3.1	Les contraintes sur les pistes de lecture	14
3.2	Solution de la compagnie 3M	15
3.2.1	Présentation du produit	15
3.2.2	Les différentes possibilités	15
3.2.3	Les câbles de connexion	17
3.2.4	Qualité du collage en fonction de la pression appliquée	17
3.2.5	Mesures à deux points et à quatre points de la résistance de collage	18
3.2.6	Mesure de la résistance des bandes conductrices	19
3.2.7	Conclusion sur l'utilisation de la colle 3M	20
3.2.8	Etude sur la durée de vie du collage, évaluation par les stress thermiques et mécaniques	21
3.3	Solution de la compagnie Axon	22
3.3.1	Les câbles utilisés	22
3.3.2	Spécifications d'emploi des câbles Samtec	23
3.3.3	Performances électriques	23
3.3.4	Mesure de la résistance d'une bande conductrice	24
3.3.5	Capacitance entre deux bandes conductrices voisines	24
3.3.6	Capacitance d'une bande relative à la masse	25
3.3.7	Réponse du signal	25
3.3.8	Mesure du niveau de bruit	26
3.3.9	Conclusion pour l'adoption des câbles polyester dans la TRD	27
4	Perméabilité et problèmes liés à la fenêtre d'entrée de la chambre à dérive	29
4.1	Le but de l'expérience	29
4.2	Le principe du chromatographe	29
4.3	Mise en place et déroulement des tests	30

4.4	Problèmes rencontrés	32
4.5	Traitement des données	32
4.6	Conclusion sur la fenêtre d'entrée	34
5	Test sur le CO₂ analyzer	35
5.1	Le problème lié à l'analyse des gaz	35
5.2	Principe de l'analyseur de gaz	35
5.3	Mise en place du montage	36
5.4	Stabilité de l'appareil	38
5.5	Conclusion sur l'emploi du CO ₂ analyzer dans les prochains tests	39
6	Banque de données sur la TPC et la TRD d'ALICE	40
6.1	Banque de données pour l'élaboration des détecteurs	40
6.2	Constitution d'une banque de données commune	41
6.3	Données relative aux radiateurs	41
6.4	Etat d'avancement de la base de données	42
7	Conclusion	43
7.1	Les stages en Allemagne	43
7.2	Problèmes rencontrés et bilan personnel	43

1 Le lieu de stage

1.1 Le laboratoire GSI

Le GSI - Gesellschaft für Schwerionenforschung [1] - est établie à Darmstadt, Allemagne et fait partie de l'association des centres de recherches allemands : Hermann von Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren (HGF). Le GSI emploie actuellement plus de 750 personnes dont 300 scientifiques et ingénieurs. En plus de ce personnel, on compte plus de 1000 scientifiques invités au GSI pour poursuivre leurs études depuis 25 pays.

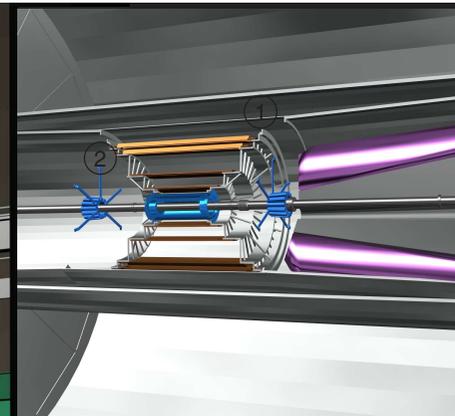
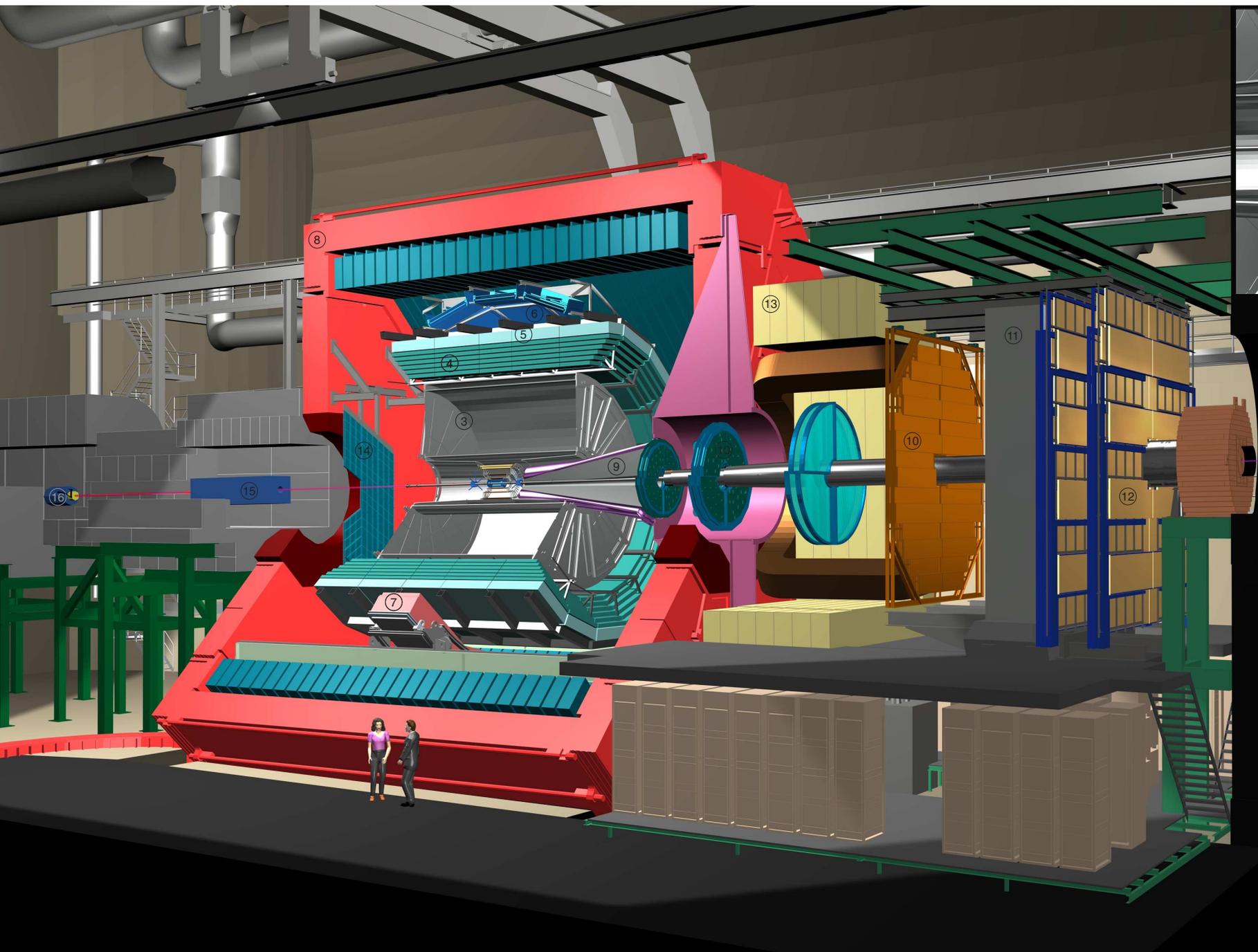
Grâce à son accélérateur qui produit des faisceaux d'ions lourds jusqu'aux ions Uranium avec des énergies montant à 2 GeV par nucléons, l'activité du GSI tourne autour de la recherche fondamentale en physique nucléaire et atomique ainsi que la recherche appliquée : physique des plasmas, traitement des tumeurs et thérapie, instrumentation et développement.

1.2 Le département KP1

Le groupe Kernphysik division 1 étudie les réactions nucléaires pour des énergies relativistes dans les accélérateurs du GSI et ceux du CERN : les expériences sont faites avec des détecteurs spécialisés dans l'étude des matières soumises à de fortes excitations.

Le groupe KP1 participe à plusieurs expériences en cours :

- Le détecteur FOPI, est un détecteur ayant un angle solide de 4π , d'où son nom, chargé de repérer puis identifier les particules chargées émises dans les productions de flux et de particules pour des énergies comprises entre 90 MeV/nucléons et 2 GeV/nucléons.
- Le spectromètre KaoS, étudie les propriétés des kaons et anti-kaons au sein de la matière dense.
- Le détecteur HADES s'occupe des propriétés de la matière nucléaire grâce à un spectromètre repérant les paires électrons-positrons. HADES est actuellement en cours de construction au GSI par une collaboration européenne : 19 instituts provenant de 9 pays différents.
- Le détecteur NA49 est utilisé pour repérer les particules chargées émises simultanément dans un événement Pb-Pb. Il s'agit d'un spectromètre magnétique à large acceptation.
- CERES est une expérience sur les ions lourds dite de seconde génération installée dans l'accélérateur SPS du CERN. Il détecte les paires électrons-positrons ainsi que les hadrons.
- L'expérience ALICE, qui sera installée dans le futur LHC étudie les états de la matière dense et les scientifiques espèrent parvenir à créer et étudier un plasma de quarks-gluons.



ALICE

01. I.T.S.
02. F.M.D.
03. T.P.C.
04. T.R.D.
05. T.O.F.
06. H.M.P.I.D.
07. P.H.O.S. C.P.V.
08. L3 MAGNET
09. ABSORBER
10. TRACKING CHAMBERS
11. MUON FILTER
12. TRIGGER CHAMBERS
13. DIPOLE MAGNET
14. P.M.D.
15. COMPENSATOR MAGNET
16. C.A.S.T.O.R.



2 Le projet

2.1 Présentation de l'expérience ALICE

L'expérience ALICE (A Large Ion Collider Experiment) sera un des 4 détecteurs installés autour du LHC[‡]. Grâce à ce nouvel accélérateur de particules qui sera assemblé au CERN à Genève en 2007, les physiciens espèrent étudier les plasmas de quarks et de gluons (QGP) avec une très forte densité de gluons [2] : cet état reproduira les conditions dans l'univers primitif et devrait permettre aux physiciens de confirmer ou d'infirmer les modèles cosmologiques actuellement discutés et d'étudier de nouveaux états de la matière.

Grâce à un vaste ensemble de détecteurs, ALICE aura une très large couverture pour toute la durée des tests.

Le long de l'axe de transmission des faisceaux, on trouve les systèmes de recherche de trajectoire à hautes sensibilités : Inner Tracking System ou ITS. Ces détecteurs au Silicium conçus en partie à l'IN2P3 de Strasbourg sont d'une grande précision et permettent de détecter les vertex primaires et secondaires apparaissant près de l'axe central.

Autour des détecteurs au Silicium est disposée une chambre de projection temporelle TPC dont le rayon extérieur est de 2900 mm. La TPC contient le gaz de détection Ne/CO₂ (90%,10%) et les plans de cathode et d'anode sont disposés sur les deux parois verticales à chaque bout du module. Le champ électromagnétique qui traverse la chambre permet de faire dériver les particules résultant de la ionisation des particules primaires. La TPC est le module le plus lent parmi les détecteurs d'ALICE puisque la dérive est de l'ordre de plusieurs centièmes de seconde. Néanmoins, il reste le moyen le plus efficace pour suivre les particules chargées, reconstruire leur trace et les identifier (formule de Bethe-Block,...). L'article de G. Charpak [6] permettra au lecteur de comprendre plus en détail le fonctionnement d'un tel détecteur.

Les particules sortant de la TPC passent ensuite à travers la Chambre à Radiation de Transition TRD. Le principe de fonctionnement de la TRD sera repris en détail dans une partie suivante. Ce module a pour but l'identification entre les électrons et les pions qui sont les deux particules les plus fréquemment rencontrées dans ces collisions. Seuls les électrons intéressent les scientifiques. La chambre agit également comme déclencheur pour d'autres modules comme la TPC et enfin elle reconstruit les traces des particules chargées tout comme la TPC.

Encore à l'extérieur, on trouve les tableaux qui mesurent les temps de vol des particules : TOF, Time Of Flight. Dans une certaine gamme de moment donnée, ces tableaux permettent d'identifier les particules.

Des détecteurs sont également chargés de repérer les anneaux de lumière Cherenkov, dans le cas de particules avec un moment élevé.

Des séries de cristaux viendront enfin absorber les photons sortant afin de mesurer leur énergie et ainsi avoir un ensemble le plus complet possible d'information sur la collision d'ions.

Tous ces modules seront disposés à l'intérieur d'un super-aimant qui sera chargé de créer les plusieurs Tesla nécessaires aux différentes chambres. Cet aimant a été récupéré sur l'expérience

[‡]Large Hadron Collider

L3; vidé de tous ses éléments précédents, la taille et la disposition des modules d'ALICE ont été décidé en fonction du volume de cet aimant.

En dehors de ce super-module, ALICE compte également un autre module centré sur l'axe des faisceaux. Celui-ci contient les détecteurs et déclencheurs qui jouent un rôle prépondérant lorsque la collision n'est pas centrale. La particule peut être perturbée mais trop faiblement; celle-ci voit donc sa trajectoire faiblement courbée et ne pas passer par la TPC. Le signal est donc récupérer par ce second module qui informe le premier que la collision n'est pas centrale donc à négliger. On trouve aussi les spectromètres muoniques et les chambres de tracking enveloppées dans un dipôle magnétique.

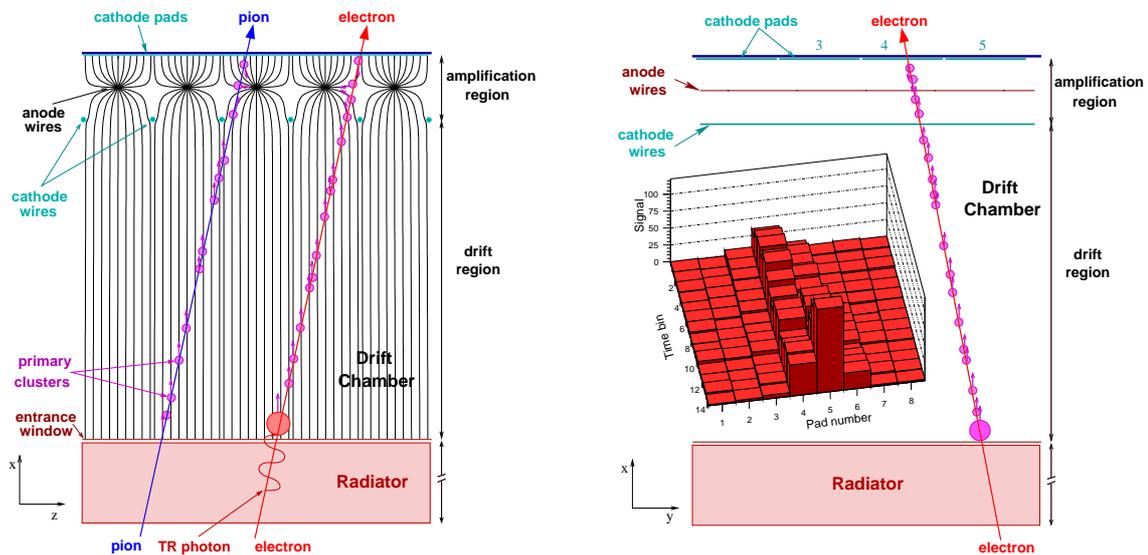


Figure 1: Représentation schématique du principe de fonctionnement de la TRD. L'électron traverse le radiateur et les photons TR créés sont contenu dans le premier cluster émis par la particule au moment où elle traverse la fenêtre d'entrée de la zone de dérive. La reconstruction de la trajectoire (figure de droite) montre la présence de photon TR donc identifie la particule comme un électron.

2.2 La TRD d'ALICE

2.2.1 Principe de la radiation de transition

Le principe de ce détecteur découle d'une observation dont la base théorique n'est pas encore entièrement comprise. Lorsqu'une particule traverse une paroi entre deux matériaux de constante diélectrique différente, une partie de l'énergie de la particule est libérée sous forme d'un photon. On l'appelle le photon TR (Transition Radiation) et son énergie est de l'ordre de 10 keV dans le cas d'un électron. On compte en moyenne un photon TR émis par électron [3].

Une TRD est donc composée de trois étages :

- un radiateur; une succession de milieux diélectriques différents dans lequel l'électron est amené à émettre un ou plusieurs photons TR. Il est important de noter qu'à une impulsion donnée, le pion passe beaucoup plus rapidement dans le radiateur que l'électron et donc n'est pratiquement pas perturbé par ce phénomène TR. C'est la raison pour laquelle ce détecteur permet la séparation des électrons et des pions.
- une chambre à dérive; de profondeur de quelques centimètres à peine, cette zone permet néanmoins de suivre les particules et de reconstruire en partie leur trajectoire. La figure 1 montre le cheminement des électrons secondaires[§] le long de la trajectoire de la particule chargée incidente et comment l'information arrive sur les pistes de lecture.
- l'électronique embarquée : elle est posée contre les pistes de lecture et recueille leur information. Les données sont traitées par paquets et la trajectoire de la particule est calculée immédiatement. Elle doit aussi identifier sur place les électrons des pions.

Une fois l'électron sorti du radiateur, celui-ci passe à travers la fenêtre d'entrée de la chambre et les photons TR sont absorbés par un électron secondaire, provenant de la ionisation du gaz à l'encontre de la particule chargée. Il est important de noter que ce ne sont pas les photons TR que nous observons directement mais bien les électrons secondaires contenant ou pas ces photons. Le plan d'anode à l'autre bout de la chambre capte donc les électrons secondaires émis par la particule et l'électron de la fenêtre d'entrée qui contient l'énergie des photons TR à 10 keV. On peut voir ce pic sur la figure 2 dans le cas d'un électron mais pas d'un pion. L'identification devient donc possible.

On parle de deux facteurs importants pour la TRD :

- Electron efficiency : la TRD d'ALICE a pour but d'identifier les pions et les électrons et de reconnaître 90% des électrons.
- Pion rejection factor : Parmi les particules reconnues par la TRD comme des électrons, on exige que moins de 1 particule sur 100 soit en réalité un pion faussement identifié.

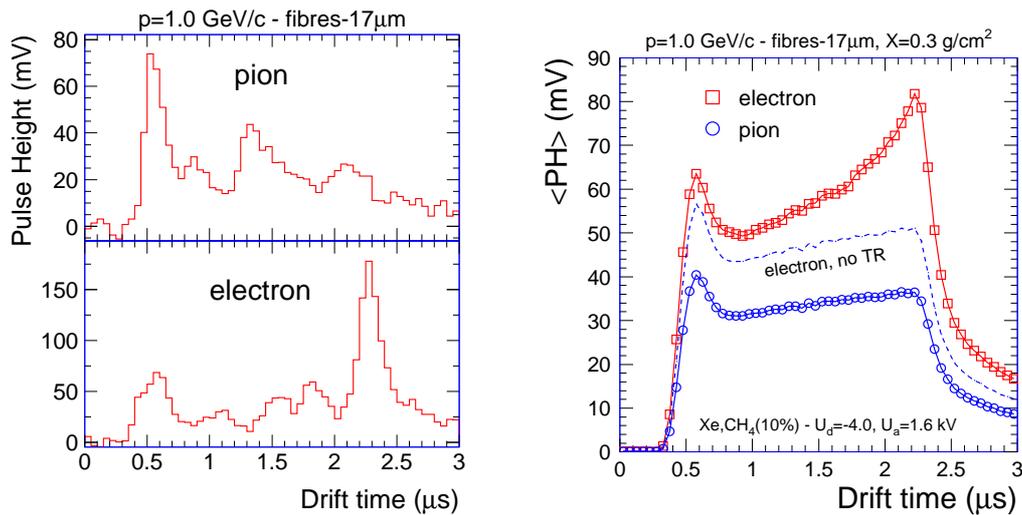
Le dernier but de la TRD est de fournir un signal de déclenchement de prise de données pour les autres détecteurs ¶. Un ou plusieurs électrons avec l'impulsion attendue doivent être reconnus

[§]primary clusters

¶Triggering

en moins de $6\mu s$ par l'électronique embarquée de la TRD. Celle-ci doit alors envoyer un signal à la TPC pour que l'envoi des données soit enregistré.

TRD – Signals: pions and electrons



A. Andronic – ALICE TRD

Figure 2: *Signal reçu par l'électronique dans le cas d'un électron; le pic à $2\mu s$ témoigne de la présence de photons TR. Il n'y a pas de pic semblable dans le cas du pion. Les pics à $0.5\mu s$ sont le résultat de l'avalanche lors du passage des particules le long du plan d'anode.*

2.2.2 Le radiateur

Pour pouvoir respecter les dimensions totales de la TRD, les radiateurs ne doivent pas excéder 4,8 cm d'épaisseur. De plus, les contraintes de rigidité de la structure jouent un rôle déterminant dans le choix des matériaux.

Le radiateur est donc un sandwich dont le matériau de base est le Rohacell renforcé par de la fibre de verre. Celui-ci est léger et possède une bonne rigidité et stabilité. Ces couches de Rohacell sont de 8 mm d'épaisseur et on dépose autour des feuilles de fibre de verres laminées de 0,1 mm.

Entre deux couches de Rohacell, on dispose une autre couche de Rohacell cette fois-ci en grille et on remplit de fibre de polypropylène ^{||}.

Le Rohacell HF71 utilisé dans ce radiateur ainsi que les fibres17 ont tout les deux de bonnes

^{||}fibres17 dans notre cas

propriétés diélectriques pour l'établissement d'une radiation TR. Leur longueur d'émission est respectivement de 40,6 et 44,6 g/cm^2 . Les densités sont toutes les deux de 0,075 g/cm^3 .

Bien que la fenêtre d'entrée de la chambre à dérive soit un élément de celle-ci, elle est néanmoins construite à même le radiateur puis ensuite collée contre la chambre. Il s'agit d'une feuille de Mylar aluminisé de 8 microns d'épaisseur. On adjoint également une couche de fibre de carbone entre le Rohacell et le Mylar pour renforcer la structure.

2.2.3 La chambre de lecture

Elle est composée d'une zone de dérive haute de 37 mm. Puis vient le plan de cathode qui permet de retenir les charges excédentaires et donc de ne pas abimer la partie supérieure du détecteur. Les plans de cathode et d'anode sont séparés de 3.5 mm puis encore 3.5 mm entre les anodes et les pistes de lecture. Les fils de cathode, en alliage Cuivre/Berillium sont distants de 2.5 mm tandis que les fils d'anode, plaqué Or, le sont de 5 mm. Au-dessus de la piste de lecture, on pose une couche de 20 mm de Rohacell renforcée avec de la fibre de carbone pour maintenir la rigidité de la structure. Sur cette surface est disposée l'électronique embarquée de la chambre : 3 cartes mères comprenant les puces de préamplification du signal ** ainsi que la logique de détection.

La surface de la chambre évolue en fonction de sa position sur le détecteur entre 93 et 115 cm de long et entre 120 et 150 cm de large.

Les pistes de lecture (padplane) sont divisées en petites cellules (pads) sur lesquelles on lit la tension reçue. Leur surface varie avec la chambre, en moyenne $7.25 * 87.5 \text{ mm}^2$. Ceci fait qu'une cellule est parcourue par 17 anodes en moyenne. Les pads sont disposés en quadrillage sur la surface, donc des colonnes de 144 cellules et entre 70 et 76 colonnes par chambre.

Le volume de la zone de dérive est rempli d'un mélange de Xe/CO_2 dans les proportions 85%/15%.

2.2.4 Géométrie générale de la TRD

Les chambres de la TRD sont disposées en cylindre autour de la TPC comme montré dans la figure 3. Le rayon intérieur de ce cylindre est de 2950 mm. Celui-ci se décompose en 18 supermodules, chacun représentant une portion de l'arc couvert. Un supermodule est un arrangement de 5 détecteurs parallèlement au faisceau et 6 couches dans le plan azimuthale. La TRD d'ALICE comprend donc au total $18*6*5 = 540$ chambres TRD. La TRD d'ALICE compte au total 1 156 032 pads dans ses 540 chambres de lecture.

Suivant la couche à laquelle il se trouve, un détecteur complet aura une épaisseur en moyenne de 10 cm (radiateur, dérive et électronique) et la largeur des 6 couches sera de 74.6 cm.

**PreAmplifier ShAper, PASA

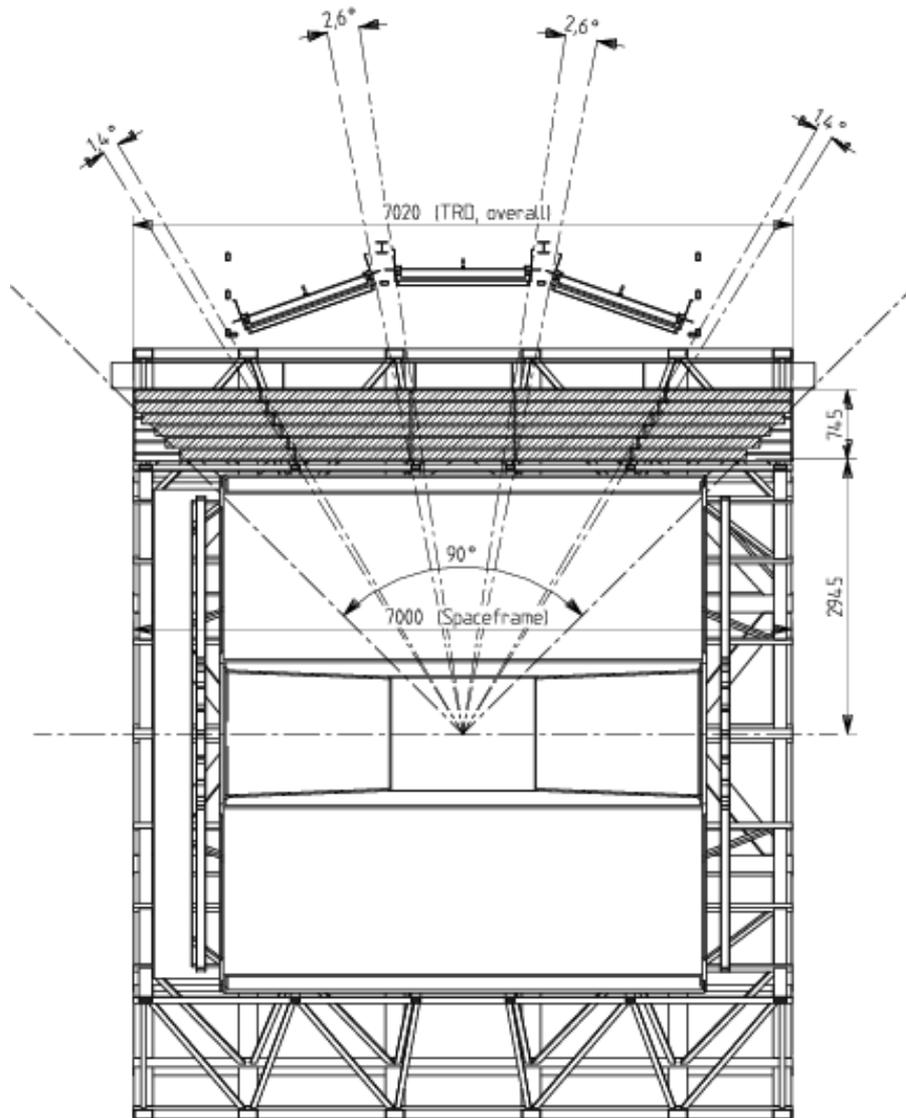


Figure 3: Coupe de la structure de la TRD le long de l'axe des faisceaux. Les modules auront une couverture dans le plan azimuthale proche de 360° .

2.3 le sujet du stage

Etude et Amélioration de la TRD d'ALICE.

La première partie du stage consiste à étudier les différents éléments présents dans l'expérience ALICE et à comprendre les contraintes que doivent respecter les scientifiques chargées de la construction des modules.

Le détecteur ALICE -A Large Ion Collider Experiment- doit être achevé pour 2007. Le GSI et l'institut de physique d'Heidelberg s'occupent du détecteur à Transition de Radiation TRD qui sera placé dans le module ALICE, juste à l'extérieur de la TPC. Le détecteur est en progrès et on estime que la fabrication industrielle des 540 chambres composant la TRD devra commencer cet été afin de ne pas occasionner de retard dans le calendrier prévisionnel.

Des changements de composants ont du être envisagés il y a peu de temps pour des raisons de budget. Entre autre, les câbles de connexion qui relient les pistes de lecture ^{††} de la TRD et l'électronique embarquée doivent être changés. La méthode employée jusqu'à présent consistait à souder sur les deux parties du détecteur des fiches de connexions classiques (22 pins) puis à y insérer les câbles.

Deux problèmes sont apparus et j'ai été chargé de trouver une solution en collaboration avec un chercheur de l'Institut de Physique de Heidelberg : la température de soudage donne trop de déformation sur les pistes de lecture. Il fallut donc trouver une technologie autre que la soudure à chaud. De plus, le coût de deux connecteurs 22 pins ainsi que du câble était trop prohibitif par rapport au budget alloué.

Mon stage consiste donc à étudier deux propositions faites par les companies Axon et 3M sur leur technologie respectives. Les câbles sont collés directement sur la piste de lecture dans les deux cas sans intermédiaire, et la température nécessaire à l'opération est dans les normes exigées. L'étude portait sur la compatibilité des câbles avec le détecteur de manière électrique, mécanique, les pertes de transmission de signal, le rapport signal à bruit engendré, etc.

3 Bandes conductrices entre les pistes de lecture et l'électronique

3.1 Les contraintes sur les pistes de lecture

Les pistes de lecture du détecteur sont des plaques de cuivre découpées en petites cellules^{‡‡} de longueurs variables disposées en damier. Celles-ci ont des dimensions variant faiblement autour de 7.25 mm par 87.5 mm de long. Les anodes ayant une séparation de 5 mm, chaque pad recouvre en moyenne 17 anodes.

Les pads sur une même colonne sont regroupés par paquets de 18 à un connecteur soudé à même la surface de lecture. La soudure se fait habituellement à 300 degré et entraîne une

^{††}padplane

^{‡‡}pads

déformation de la piste. Celle-ci engendre un changement dans la géométrie ainsi que la distribution des charges sur la surface. Les erreurs transmises deviennent trop importantes à l'échelle du détecteur et doivent être traitées.

Par-dessus la piste est posée une couche protectrice en fibre de carbone et Rohacell renforcé (20 mm d'épaisseur). Cette structure est percée de fentes afin de faire passer les câbles vers l'électronique embarquée qui est attachée de l'autre côté du Rohacell. La longueur des câbles doit donc être calculée en tenant compte des couches traversées, de l'espace entre les couches et également des torsions que l'on va appliquer aux câbles le long du parcours.

Les contraintes sont donc à la fois sur la qualité des matériaux employés et la géométrie qu'on peut leur donner.

3.2 Solution de la compagnie 3M

3.2.1 Présentation du produit

À l'heure actuelle, tous les connecteurs utilisés dans les détecteurs pour relier les câbles aux cartes mères sont soudés sur les divers éléments. La méthode est peu chère et simple à mettre en place. Elle a néanmoins deux gros inconvénients dans le cas qui préoccupe les chercheurs. La géométrie de la TRD est calculée à quelques millimètres près. Donc l'utilisation de connecteurs, aussi petits soient-ils complique l'affaire et leur prix unitaire peut donner lieu à une somme importante au final. Le deuxième problème est la température et la pression nécessaire à la soudure qui endommagent la structure des padplanes et introduisent des déformations dans la structure, détériorant les résultats.

Pour pallier à cet effet, l'entreprise 3M a proposée l'utilisation d'une technique de collage des câbles sur les padplanes, évitant ainsi de recourir aux connecteurs et à leur soudure. J'ai donc été chargé d'assister David Emschermann dans l'étude de cette nouvelle technologie et son adaptabilité dans le cas de la TRD. Jusqu'à présent, cette technologie était uniquement utilisée dans les ordinateurs portables et les téléphones cellulaires, et ce en rapport avec le gain de place qu'elle offrait. La thermocompression nécessaire au collage demande des températures moins élevées que la soudure, autour de 150°, et donc ne déforme pas de manière notable les padplanes. Il faut cependant pouvoir estimer la durée de vie du collage puisque aucune étude n'a été faite jusqu'à présent.

3.2.2 Les différentes possibilités

Suivant les recommandations de l'entreprise 3M, nous avons étudié 3 différentes séries de bande collante conductive :

- la série 9703 ne nécessite pas de thermocompresseur mais peut se faire sur une simple pression de la main.
- la série 7303 demande une température et une pression plus élevées et donc nécessite l'emploi d'une machine spéciale.

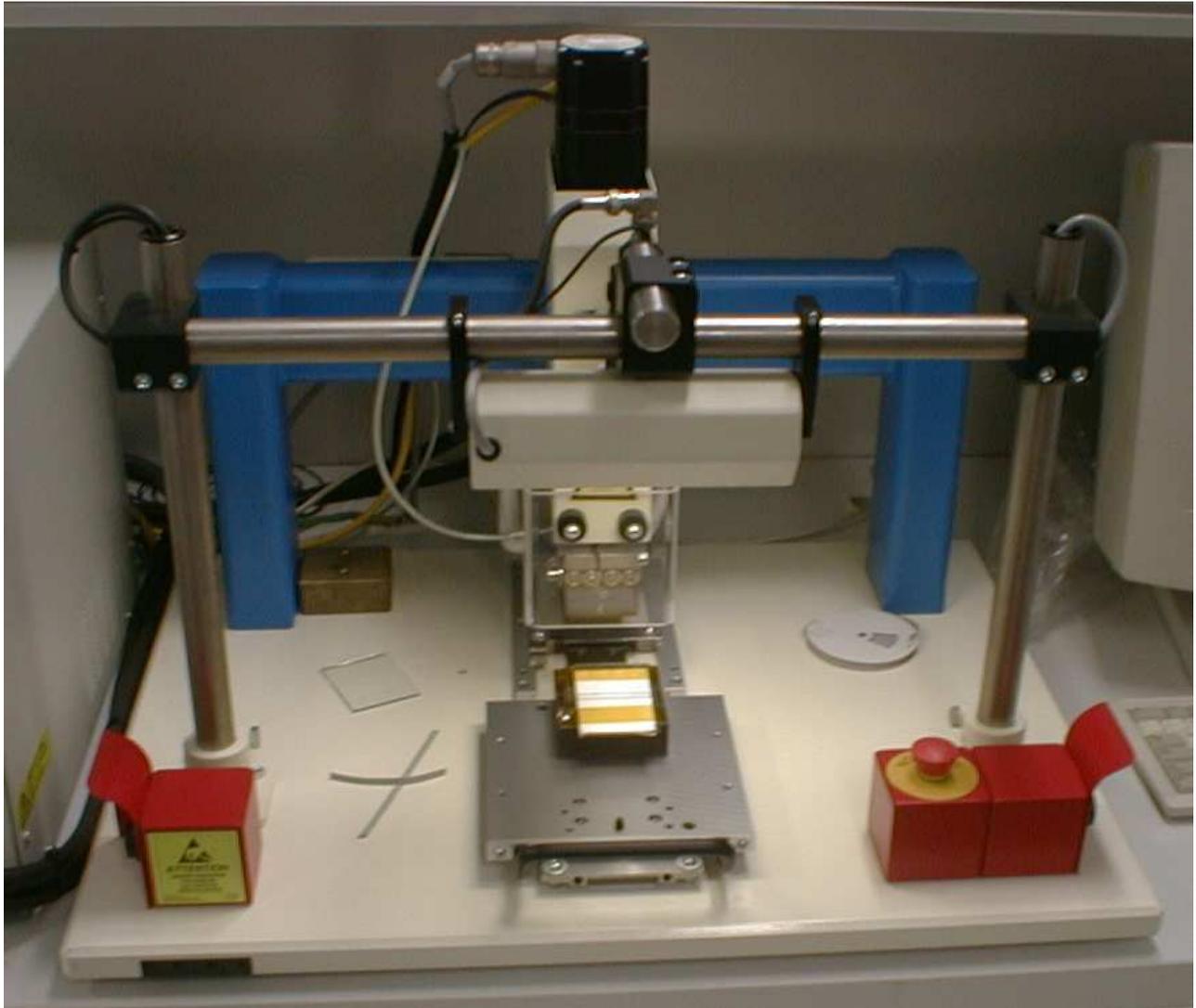


Figure 4: Thermocompresseur des laboratoires 3M.

- la série 5460 est celle qui donne les meilleurs résultats concernant la qualité de la connexion mais elle est également la technique la plus difficile des trois à mettre en place.

La bande adhésive 9703 peut être déposée à la main. Une pression de $0.1MPa$ et une température entre 15° et 70° sont suffisantes pour faire adhérer la bande; puis la connexion doit être laissée au repos pendant 24 heures.

Malheureusement, la résistance offerte par la connexion reste trop faible pour satisfaire une utilisation sur plusieurs années. Les bandes conductives 9703 sont utilisées sur les cartes mères rigides et les assemblages LCD, en général les éléments qui fonctionnent dans des environnements stables ou clos.

La bande 7303 apparait comme la solution la plus satisfaisante concernant les contraintes d'adhésion. Un thermocompresseur est cependant obligatoire pour réaliser l'opération (Fig.4). Le problème majeur de cette bande est la surface minimale de recouvrement entre les deux surfaces connectées pour qu'il y ait conduction : celle-ci doit être supérieure à $0.8mm^2$; or les pins de connexions ont une largeur de $0.5mm$ pour une longueur de $6mm$. A cela, il faut

ajouter le fait que la tête du thermocompresseur que nous avons utilisé avait une largeur de seulement $3mm$. Il faut donc placer le câble sur le padplane avec une précision de $0.1mm$. Cette étape se fait à la main et doit être répétée plusieurs centaines de fois par jour lors du processus d'industrialisation des chambres. Ce paramètre doit donc être pris en compte pour évaluer la faisabilité du projet.

La bande de la série 5460 est la plus efficace mais aussi la plus contraignante à utiliser. A température ambiante, la bande n'offre aucune adhésivité et doit donc être scotchée au support pour éviter les glissements. Pour cette série, les deux parties sont d'abord préchauffées pendant 2 à 5 secondes à une température de 80 à 125° pour une pression de quelques $0.5MPa$. Ensuite, la deuxième thermocompression intervient; à une température de 180° en moyenne sous une pression de $3.0MPa$, la bande est laissée pendant 15 à 30 secondes pour achever le processus. Ce processus semble trop compliqué à mettre en place pour une production industrielle mais offre une très bonne conductivité et la surface de recouvrement est 10 fois plus faible que celle de la série 7303, ce qui n'est donc plus un véritable problème.

3.2.3 Les câbles de connexion

Nous employons ici les câbles en kapton traditionnel utilisés dans de nombreux détecteurs, comme par exemple la TPC d'ALICE. Utiliser un seul type de câble pour plusieurs module d'ALICE constitue un gain d'argent supplémentaire. Ceux-ci ont une longueur de $6cm$ pour une largeur de $2.8cm$. Ils relient 22 pins de transmissions dans un alliage alcalin bon conducteur. Leur taille est optimisée par rapport à leur position dans le détecteur. Ils doivent être collés à plat sur les supports, puis faire un angle de 90° en ayant un rayon de courbure suffisamment grand pour ne pas casser les liaisons. Les câbles traversent ensuite $20mm$ de fibres de carbone (servant à maintenir l'intégrité de la structure) et enfin doivent être enfichés encore une fois à plat dans un connecteur de la carte mère.

3.2.4 Qualité du collage en fonction de la pression appliquée

Les spécifications données par l'entreprise 3M pour le collage des composants font intervenir trois paramètres :

- la température de collage; elle est de 135° pour la série 7303 et de 185° pour la série 5460. Il faut également introduire un refroidissement rapide des supports pour que le temps de maintien de la température soit respecté le plus fidèlement possible.
- la pression de collage; la surface de connexion que nous avons dans le cas de la TRD est de $1.5cm^2$ avec une pression de $1.44N/cm^2$. Il faut tenir compte du fait que la tête du thermocompresseur que nous avons utilisé n'était pas optimisée pour notre surface de connexion. La largeur de la tête étant inférieur à la largeur de la surface à connecter, nous avons donc dû diminuer la pression de la tête de manière à conserver les $1.44N/cm^2$.
- le temps de maintien de la tête; il est pour les deux séries de $25sec$. Il faut que la

température suit une courbe plane ou à faible variation pendant que la tête du thermocompresseur repose sur les supports.

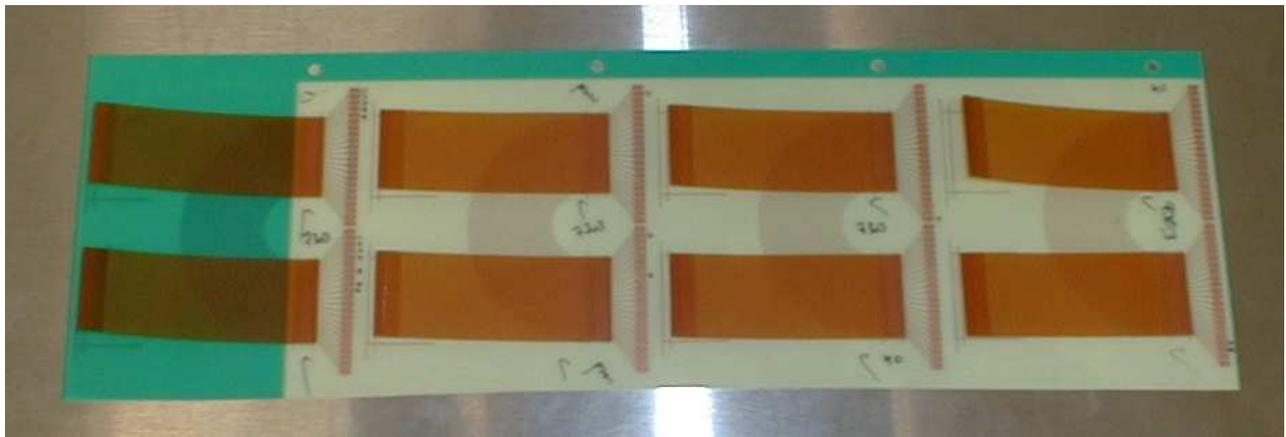


Figure 5: Padplane utilisé pour les tests de conductivités effectués aux laboratoires 3M.

3.2.5 Mesures à deux points et à quatre points de la résistance de collage

En tout 12 supports ont été préparés; chaque support comporte quatre motifs représentés dans la figure 5; chaque motif supporte deux câbles à 22 pins de connection. Deux supports ont un circuit imprimé dans du cuivre traditionnel, les 10 autres étaient un mélange de cuivre et d'or plus efficace pour cette technique de collage. C'est seulement quelques semaines après la réalisation de l'expérience dans les laboratoires de 3M que nous avons appris qu'aucune entreprise ne pouvait fournir des circuits imprimés en cuivre et or de la taille nécessaire à notre détecteur.

Les données statistiques sont établies sur les 22 pins de même numéro pour une plaque donnée, soit 8 valeurs par pins et par plaque. À cela, on retranche la valeur minimale et la valeur maximale pour tenir compte de l'incertitude de lecture apportée par l'expérimentateur.

Dans le cas de la première mesure qui a été réalisée une semaine après la soudure des câbles, la méthode était une simple mesure à deux points effectuée à l'aide d'un ohmmètre. Celle-ci bien que rapide et simple à mettre en place tient compte de toutes les résistances parasites des câbles, des fils de mesures, de l'appareillage en plus de la résistance recherchée. Pour pouvoir corriger et retrouver la valeur de la résistance de soudure, il faut également faire la même mesure dans le cas où le câble n'est pas soudé. En retranchant la nouvelle valeur moyenne au premier ensemble de mesure, on peut retrouver la moyenne statistique de la résistance de soudure mais la dispersion augmente également.

La méthode à quatre points a été utilisée deux semaines après l'expérimentation, dans les laboratoires de Darmstadt. L'outil de lecture était un voltmètre à quatre ports avec injection de courant. Nous avons placé le générateur de courant le plus près possible du câble et en parallèle le voltmètre aux mêmes emplacements. Cette méthode permet de s'affranchir de quelques résistances parasites provenant des câbles du voltmètre et du générateur de courant ainsi que

de la résistance du support. Dû à la géométrie interne du câble, nous n'avons pas pu placer le voltmètre aux bornes de la zone collée mais nous avons dû tenir compte de la présence du câble dans la mesure.

3.2.6 Mesure de la résistance des bandes conductrices

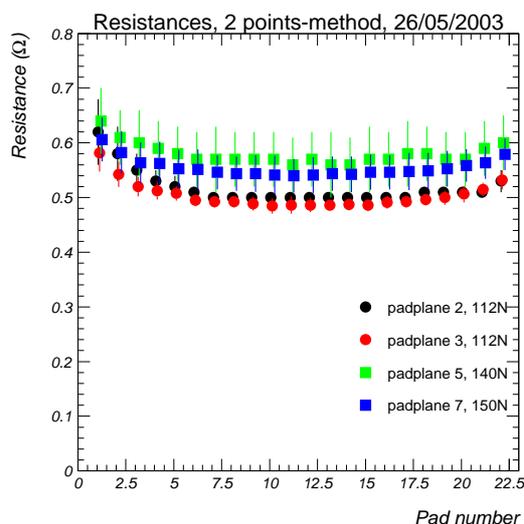


Figure 6: *Effet de la pression appliquée pendant le collage sur la qualité de ce collage et la résistance associée.*

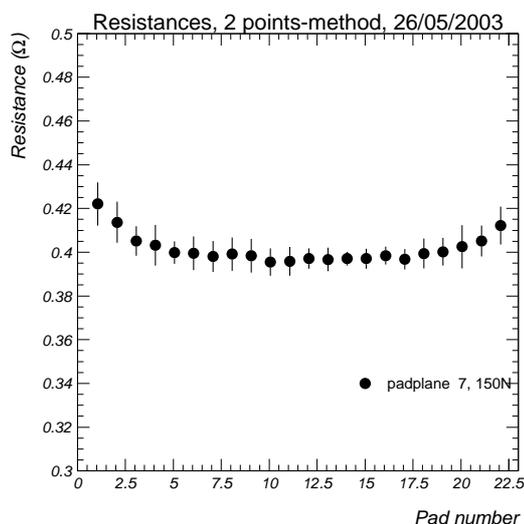


Figure 7: *Même effet que dans la figure précédente mais la méthode est à quatre points.*

La figure 6 montre les résultats de la mesure pour la méthode à deux points. On peut noter que le comportement du collage est meilleur pour une pression de 112 N. Cependant, la résistance reste négligeable dans tous les cas lorsqu'on la compare aux quelques Ohms introduits par l'électronique et les puces de préamplification du signal (PASA, preamplifier/shaper). La variation de résistance suivant la position peut sembler surprenante; cependant, lorsque l'on examine de plus près le dispositif de collage, on comprend qu'il s'agit d'un effet de bord : au milieu du câble, la chaleur se disperse en grande partie vers les pistes adjacentes, améliorant la qualité du collage tandis que sur les extrémités, une grande partie de cette chaleur apportée par le thermocompresseur est perdue. Donc, le collage est légèrement moins efficace sur les bords et la résistance témoigne de cette baisse de qualité. L'entreprise 3M prétend pouvoir mettre au point une nouvelle tête pour le thermocompresseur qui tiendra compte de cette dispersion non uniforme de la chaleur afin de corriger l'effet.

La Fig.7 montre le résultat lorsque l'on utilise la méthode à quatre points. Le comportement en cuve de la résistance est toujours présent puisqu'il est inhérent au collage lui-même.

La mesure a été effectuée deux semaines après le collage des bandes. La piste de lecture numéro 8, Fig.8, est largement plus détériorée que les autres. Il s'agit du padplane qui a été manipulé plusieurs fois pour la mise au point du montage. Ainsi, on voit que la qualité de

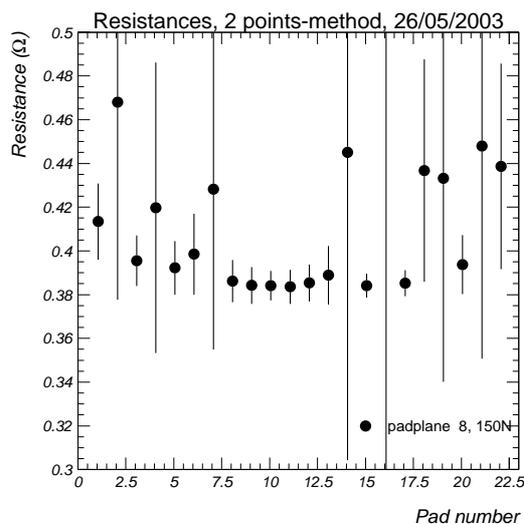


Figure 8: *Détérioration de la qualité du collage dans le cas d'une manipulation abusive du padplane.*

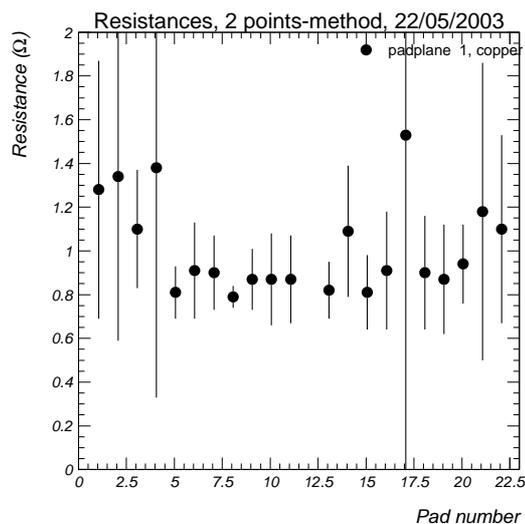


Figure 9: *Cas du circuit imprimé en cuivre.*

la résistance est fortement liée aux conditions de maintien du padplane. Dans ce cas précis, plusieurs pistes de lecture étaient deconnectées; on pouvait également constater qu'une simple pression du doigt sur le collage suffisait à reconnecter la bande ou à faire baisser de plusieurs dixièmes d'Ohms la résistance.

C'est donc un souci supplémentaire dont il faut tenir compte si on veut employer cette série. Le produit 5460 est beaucoup moins sensible au condition extérieure du fait de la très bonne qualité de maintien de son collage.

Le circuit imprimé en cuivre donne également de très mauvais résultats comme on peut le constater dans la figure 9. La compagnie 3M recommande d'utiliser des surfaces en or des deux côtés du collage. Tous les circuits imprimés testés étaient donc en alliage or-cuivre à l'exception de 2 padplanes témoins.

3.2.7 Conclusion sur l'utilisation de la colle 3M

Les différents résultats montrent que le collage est dépendant de trop de conditions environnementales pour assurer le bon maintien des connexions. Il devient par conséquent difficile de respecter le budget si des mesures de protection supplémentaires pour les câbles doivent être adoptées.

De plus, aucune compagnie à ce jour ne peut produire de padplane avec des circuits imprimés en or aux dimensions voulues. Les surfaces sont en effet trop grandes pour être traitées par les machines existantes et il est impossible de changer maintenant les pistes.

La solution du collage par les produits 3M a donc du être abandonnée. Cependant, il est à noter que pour des prochains détecteurs, ces travaux seront utiles pour juger de l'emploi de cette technologie qui assure de meilleurs résultats à faible coût par rapport à la soudure classique de

connecteur.

3.2.8 Etude sur la durée de vie du collage, évaluation par les stress thermiques et mécaniques

La technologie de collage mise au point par l'entreprise 3M est destinée à des produits ayant une espérance de vie de 3 à 5 ans. Or, les chercheurs souhaitent que le module ALICE fournisse des résultats sur une période de 15 ans environ. Il faut donc évaluer la durée de vie d'un tel collage dans les conditions de l'expérience : présence de gaz rares, particules chargées traversant le milieu, champs électromagnétiques poussés,...

L'étude du maintien du collage est effectuée en appliquant un stress aux padplanes de deux natures : thermique et mécanique.

Le stress thermique est obtenu en appliquant de grands gradients de température aux padplanes. De façon expérimentale, les supports sont placés dans un four à 50° pendant une heure puis plongés dans un réfrigérateur à une température de -20° pendant encore une heure. Ce cycle est répété dix fois de suite; après achèvement de l'opération, la résistance des connections est à nouveau mesurée et comparée à sa valeur avant ce processus.

Si la connexion est affaiblie de façon importante, cela signifie que le collage est trop sensible aux modifications environnementales et donc compromet l'expérience. Le stress ne s'applique pas de manière continue mais le gradient de température toutes les heures est suffisant pour justifier cette technique.

Pour le comportement du collage en cas de stress mécanique, nous attachons différents poids aux câbles collés aux padplanes et nous les laissons pendre pendant cinq heures. Une mesure après coup de la résistance permet encore une fois de constater le comportement des padplanes. Il faut également calculer la tension critique que l'on peut appliquer aux câbles avant que la connexion se rompe. Si le câble se déchire auparavant, c'est donc que le collage n'est pas le point faible du montage.

Suite à l'annonce de l'impossibilité d'être fourni en padplane avec des printout en cuivre mélangé or, les expériences de durée de vie ont du être abandonnées en cours de réalisation.

3.3 Solution de la compagnie Axon

3.3.1 Les câbles utilisés

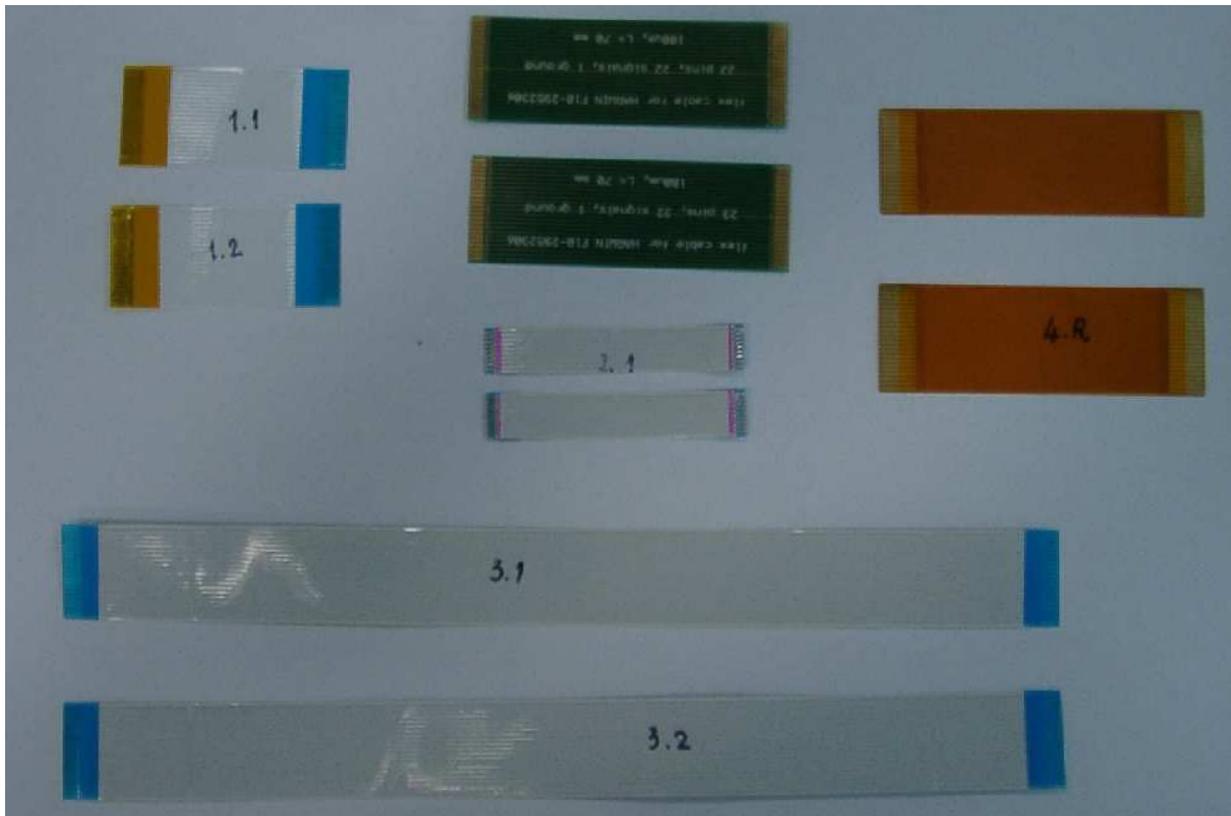


Figure 10: Câbles étudiés : le câble 4.R est en kapton, les autres sont en polyester.

Pour compléter l'étude sur les câbles proposés par la compagnie Axon nous avons fait une étude comparative sur ces nouveaux câbles en plastiques par rapport aux câbles kapton déjà utilisé dans la TPC d'ALICE.

- Les câbles 1.1 et 1.2 ont 22 bandes de contact (*strip* en anglais) avec une séparation de piste de 1 mm. La longueur totale du câble est de 50.80 mm et la partie de connexion constitue un alliage de Zinc de 6 mm de large. Ces câbles proviennent d'un échantillon offert par Axon. Les deux faces sont recouvertes de polyester tandis que les terminaisons du câble sont protégés d'un côté par une couche de polyimid et de l'autre par du polyester.
- Le câble numéro 2.1 provient de la compagnie Samtec. Il est long de 55 mm mais possède seulement 20 strips de séparation toujours 1 mm (c'est un standard pour ce type de connexion). La partie de connexion est large de 4 mm. Il est à noter que pour les besoins de l'expérience, nous avons sectionné en deux ce câble ainsi qu'un câble kapton (les connecteurs de la chambre prototype ont seulement 9 pins). Les protections sont similaires à ceux de la compagnie Axon. En fait, il se pourrait que Samtec s'approvisionne chez Axon pour ces câbles mais nous n'avons pas cherché à vérifier ce point.

- Les câbles 3.1 et 3.2 ont une longueur de 215 mm pour 20 bandes conductrices. La partie de connexion est large de 6 mm. Ces câbles proviennent également d'un échantillon de Samtec. La longueur excessive de ces câbles les rend inutilisables pour le détecteur mais fournit de précieuses données sur les propriétés électriques de ces matériaux en fonction de leur longueur.
- Le câble 4.R sert de référence. Il s'agit d'un câble kapton déjà utilisé dans les modules TPC (Time Projection Chamber) d'ALICE ainsi que pour les chambres prototypes de la TRD. Sa longueur est de 72 mm et ses 22 bandes conductrices se terminent sur 6 mm de large. Les bandes conductrices sont protégées par un composé FR4 sur les bords : il s'agit d'un sandwich de résine d'époxy et de fibre de verre. La longueur de ce câble correspondait aux nécessités de la chambre à l'époque où les connecteurs étaient utilisés. Maintenant, la longueur nécessaire est de 55 mm.

Les câbles 1.1, 1.2, 2.1, 3.1, 3.2 sont plastifiés. Les bandes conductrices sont constituées d'un alliage de Zinc.

3.3.2 Spécifications d'emploi des câbles Samtec

Les câbles 2.1, 3.1 et 3.2 constituent un échantillon envoyé par la compagnie Samtec. Ils appartiennent à la série FJ, FPC Flex câble Jumper. Le point principal dans le choix de ces câbles a été leur compatibilité avec les connecteurs ZIF FFC 1 mm qui sont utilisés sur l'électronique embarquée de la TRD. Ceci garantit la *compatibilité mécanique* des câbles sur le circuit.

La résistance maximale des conducteurs est de $0.3\Omega/m$ comme spécifiée dans l'explicatif. De même, la résistance minimale d'isolation est de $10M\Omega/km$ entre deux bandes conductrices voisines. La tension applicable pour cette série ne doit pas dépasser 300 VAC. Le dernier point important est l'intervalle de tolérance pour la température : celui-ci doit rester entre -30° et $+80^\circ$. Nous voyons tout de suite que cette limitation posera des problèmes pour la soudure des câbles sur la piste de lecture dans le cas où la température nécessaire à une telle opération est de l'ordre de $+200^\circ$.

Pour une lecture plus complète des spécifications d'emploi, le lecteur pourra consulter les pages internet [4].

3.3.3 Performances électriques

Pour cette étude, notre attention s'est portée sur les propriétés électriques qui n'étaient pas décrites dans le rapport Samtec et qui jouent un rôle important dans l'adaptabilité du câble au support. Nous avons donc laissé de côté la résistance d'insulation et la tension appliquée déjà décrites dans le rapport.

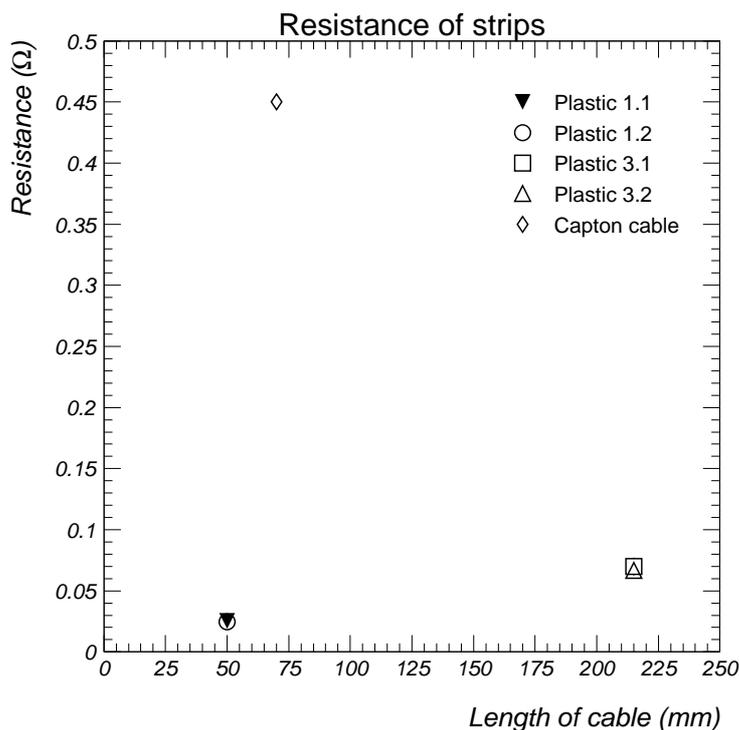


Figure 11: *Résistance d'une bande conductrice en fonction de sa longueur.*

3.3.4 Mesure de la résistance d'une bande conductrice

Nous avons utilisé un appareil de mesure à quatre points - QuadTech 1920 Precision LCR Voltmeter. Les deux bornes dispensant le courant étaient fixées à chaque terminaison du câble, de même que les deux bornes de mesure de la tension (mesure en parallèle). La grande précision de l'appareil nous permet de mettre en évidence le comportement linéaire de la résistance au sein d'une même technologie de câble comme nous pouvons le voir dans la figure 11. La résistance plus élevée du câble en kapton n'est cependant pas gênante par rapport à l'ordre de grandeur sur lequel travaillerons les chambres de lecture (plusieurs Ohms).

3.3.5 Capacitance entre deux bandes conductrices voisines

Pour cette mesure, les deux bornes liées à la tension sont disposées du même côté du câble sur deux pistes adjacentes. Les résultats montrés Fig.12 témoignent encore une fois d'un comportement linéaire. La capacitance linéaire du câble kapton est inférieure à celle des câbles polyester du fait de l'épaisseur des bandes; Dans les deux cas, la périodicité des bandes est de 1 mm mais l'épaisseur d'une ligne varie de 0.1 mm pour une ligne du câble kapton et 0.7 mm pour celle des câbles polyester. Il est donc normal que la capacitance soit plus élevée pour les câbles polyester.

3.3.6 Capacitance d'une bande relative à la masse

Ici, nous avons soudé ensemble toutes les lignes d'un même câble à l'exception d'une seule sur laquelle nous injectons le courant. La tension se lie entre cette ligne et n'importe quelle autre ligne reliée à la masse. Les mesures, visibles sur la Fig.13 montrent le même comportement que précédemment. La mesure de la capacitance relativement à la masse tient compte de tous les échanges de charges entre les lignes voisines mais aussi les lignes plus éloignées. Cela explique que la capacitance linéaire est doublée pour un même câble par rapport à la mesure faites dans le paragraphe précédent.

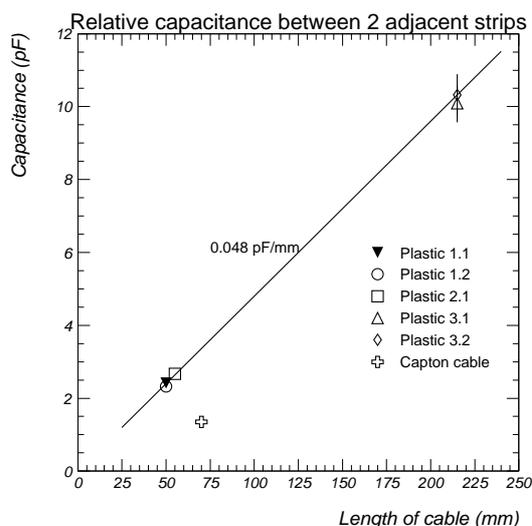


Figure 12: *Capacitance entre 2 lignes conductrices voisines.*

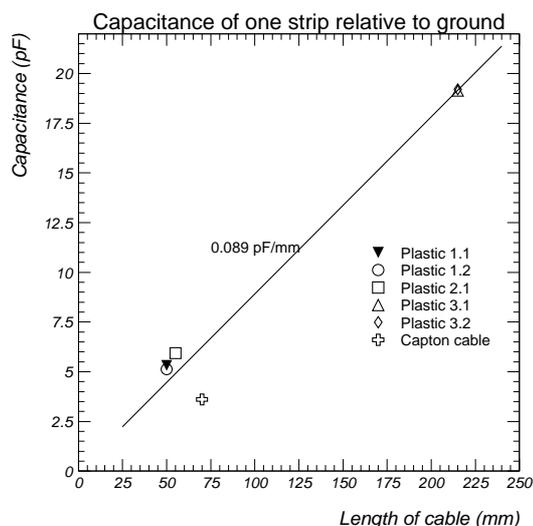


Figure 13: *Capacitance d'une ligne conductrice avec toutes les autres reliées à la masse.*

3.3.7 Réponse du signal

Afin de mesurer l'effet de l'utilisation d'un câble polyester sur la transmission du signal des pistes de lecture vers l'électronique embarquée, nous utilisons ici un petit prototype d'une chambre de lecture de la TRD construit dans les laboratoires du GSI en tenant compte des dernières mises à jour.

La figure 14 montre les différents éléments nécessaires à la mesure. La chambre prototype est à droite de l'image; les pistes de lecture sont la partie beige et on peut distinguer les connecteurs (rangées de 4) soudés à sa surface. Le câble coaxial dans le coin inférieur droit de la chambre délivre un signal au plan de cathode de la chambre, simulant ainsi un signal arrivant sur les pistes de lecture. Ce signal est produit par le générateur de forme - pulse generator HP 8200A -(au-dessus de l'oscilloscope) et l'atténuateur - video high frequency attenuator HP 355D. Les charges sautent du plan de cathode aux pistes de lecture. Les mesures auraient été inchangées si au lieu d'injecter le signal sur le plan de cathode, on avait branché le générateur directement sur les anodes : la transmission reste la même. Les charges en surface sont lues par et transmises

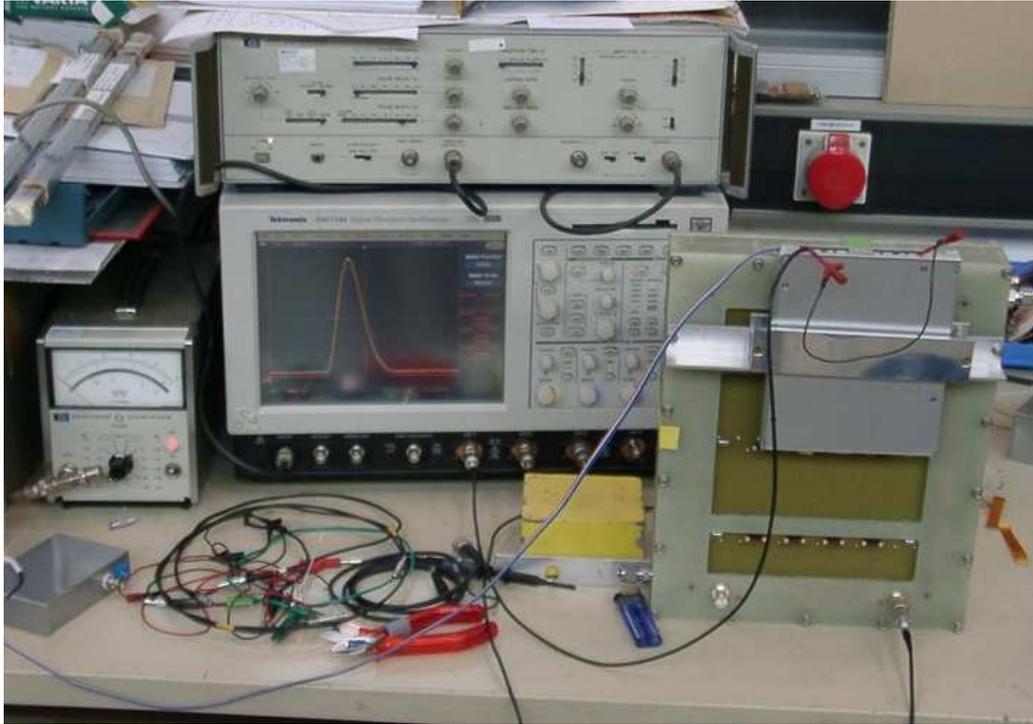


Figure 14: *Montage expérimentale pour la mesure de l'influence du câble polyester sur la transmission de signal. On peut voir : la chambre prototype à droite, le générateur de forme et l'oscilloscope numérique dans le fond, l'appareil mesurant la puissance du signal transmis à gauche. Le câble coaxiale que l'on aperçoit en bas à droite de la photo est relié au plan de cathode du détecteur et au générateur de forme à l'autre bout.*

via les pads à l'électronique et les puces de préamplification (PASA) du signal, que contient la boîte visible sur la partie supérieure du détecteur. L'information sort par la surface supérieure et est transmis à l'oscilloscope - Tektronix TDS 7104 Digital Oscilloscope.

Les Fig.15 et 16 montrent la sortie du signal pour les deux types de câbles testés (kapton et polyester 2.1). Il y a peut de différence entre les transmissions de signal et cela se confirme sur les paramètres du signal reportés dans la table 1.

3.3.8 Mesure du niveau de bruit

Nous utilisons le même montage mais la sortie des PASA n'est plus envoyée à l'oscilloscope mais à un voltmètre de puissance - HP 3400A RMS voltmeter. Celui-ci est équipé d'une résistance thermoélectrique qui transforme la puissance reçue en chaleur. La température est ensuite mesurée puis reconvertie en puissance fournie. Cette méthode est plus précise pour la mesure en puissance et la lecture reste très rapide à effectuer . La table 1 montre à la dernière colonne la puissance dégagée par les puces PASA lorsque le plan de cathode de la chambre prototype ne reçoit aucun signal. De même, la figure 17 montre la comparaison du bruit entre les deux types de câble et l'absence de câble vers les pistes de lecture. La puissance du bruit est légèrement plus élevée pour les câbles kapton encore une fois à cause de la largeur des bandes conductrices. Cependant, le niveau du bruit reste acceptable suivant le cahier des charges.

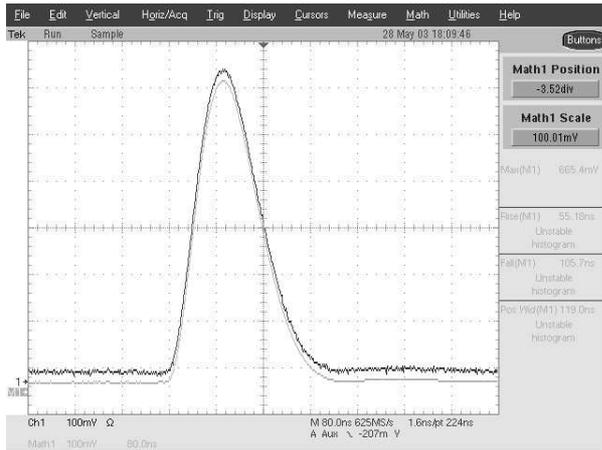


Figure 15: *Signal sortant dans le cas du câble kapton.*

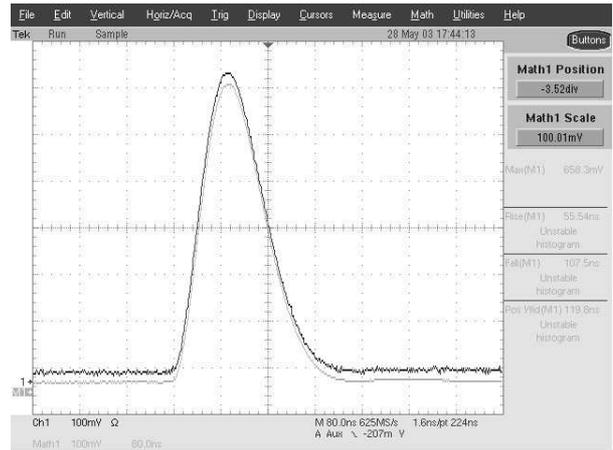


Figure 16: *Signal sortant dans le cas du câble polyester.*

cable type	Pulse height [mV]		Rise time [ns]		Fall time [ns]		FWHM time [ns]		Noise level [mV rms]	
	mean	disp.	mean	disp.	mean	disp.	mean	disp.	mean	disp.
kapton	679	10.36	53.8	0.75	108.6	1.14	117.8	0.97	0.94	0.022
plastic	673	9.35	54.3	0.70	109.6	1.43	118.7	0.75	1.03	0.022

Table 1: *Paramètres de transmission du signal suivant le type de câble employé.*

3.3.9 Conclusion pour l'adoption des câbles polyester dans la TRD

Ces différents tests montrent que nous pouvons remplacer les câbles kapton par des câbles en polyester dans la TRD sans trop de variation ni de perte d'information. Les câbles polyester sont beaucoup moins chers que les câbles kapton à l'unité : 30 centimes la pièce contre 1.4 euros pour les câbles kapton. De plus, les câbles polyesters peuvent être soudés directement sur les pistes de lecture sans utiliser de connecteur. La température de soudure dans ce cas précis est de 200° donc ne dégrade pas la chambre de lecture.

Il reste quelques points à étudier pour être sûr de la totale compatibilité des produits avec le processus de soudure :

- La température limite (+80°) du polyester nous oblige à trouver une solution pour protéger les parties en plastique du câble pendant la soudure.
- Nous ne connaissons pas encore exactement le comportement de l'alliage de Zinc qui compose les lignes conductrices aux températures de soudage lorsqu'il est en contact avec le scotch conducteur.
- La partie protectrice sur le terminaison des câbles de la série FJ n'a pas été étudiée et nous ne savons donc toujours pas quelle température ce composé peut atteindre.

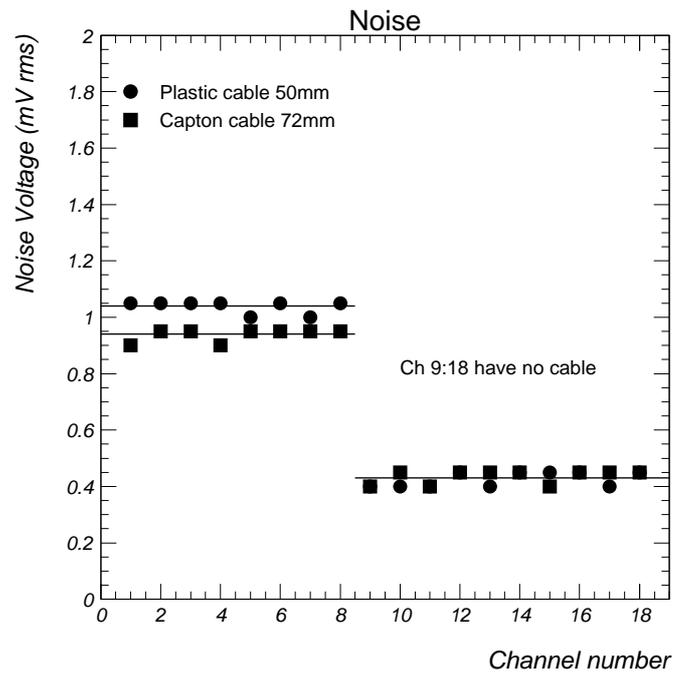


Figure 17: Niveau de bruit mesuré pour les deux types de câble. Les pistes 9 à 18 ne sont pas reliées à l'électronique et servent de référence pour la mesure. Elles montrent le niveau de bruit intrinsèque aux PASA.

Ces différentes questions demandent de nouveaux tests et nous devons maintenant passer à la soudure de ces câbles sur des pistes test afin de mesurer les derniers effets.

4 Perméabilité et problèmes liés à la fenêtre d'entrée de la chambre à dérive

4.1 Le but de l'expérience

Comme nous l'avons vu dans les chapitres précédents, la TRD se compose de deux parties : le radiateur qui est à l'origine de la radiation spécifique sur les électrons et la zone de dérive contenant le plan d'anode. Cette zone est emplie d'un mélange de Xénon et de CO₂ (85/15) sous une pression de 1 atmosphère. L'enceinte de cette boîte est en fibre de verre epoxy, renforcé par une couche d'aluminium. La fenêtre d'entrée de la zone de dérive est constituée d'une couche de Mylar aluminisé de 8 microns d'épaisseur. Cette fenêtre d'entrée sert d'une part à retenir les gaz de la chambre, et d'autre part, elle fonctionne comme cathode pour appliquer le champ de dérive à l'intérieur. La tension de dérive est de -2,1 kV au niveau du Mylar.

Dans la pratique, la couche de Mylar est construite à même le radiateur puis collée à la chambre au moment de l'installation.

Le but de ce test est de vérifier que cette fenêtre d'entrée est bien imperméable au Xenon et ce pour deux raisons : Le Xenon est un gaz qui coûte très cher : plus de 5 euros par litre. De plus, le Xenon qui fuit est remplacé en quantité égale par le gaz atmosphérique. L'oxygène est filtré avant la TRD donc n'est pas gênant. Par contre, l'azote peut pénétrer librement dans la zone de dérive et changer les propriétés du gaz. Il s'en suit que la vitesse de dérive des particules et le gain sont affectés durant la mesure. Les chercheurs essaient donc de limiter au minimum les risques de fuite.

Je suis donc chargé de tester et vérifier l'étanchéité de cette fenêtre d'entrée par rapport au Xenon. L'étude commence par une fenêtre d'entrée en bon état; puis une deuxième série de test se fera avec une couche de Mylar présentant une fissure en surface.

4.2 Le principe du chromatographe

Le chromatographe utilisé pour ce test est un appareil de la compagnie FISIONS Instruments, série GC 8000.

Un Chromatographe est composé d'une colonne de séparation des composants et d'un détecteur à la sortie de cette colonne¹⁹. Dans notre cas la colonne est un tamis moléculaire qui retient le dioxyde de carbone. Le détecteur utilisé est sensible à la conductivité thermique (TCD).

Le gaz est injecté à l'entrée de la colonne au moyen d'une seringue de faible contenance. Dans notre cas, l'étude a commencée avec des échantillons de 10 μ l et s'est poursuivie avec 0.2ml. Le composé gazeux circule à travers la colonne. Celle-ci est tapissée de petits trous qui servent à séparer les différents composants. En fonction de leur taille ainsi que d'autres paramètres, les molécules sont retardées différemment dans la colonne. Le dioxyde de carbone est quand à lui piégé par la colonne et ne peut être libéré qu'en chauffant celle-ci à 200 degrés lorsqu'il y a saturation.

Les molécules d'oxygène et d'azote ne restent pas longtemps dans la colonne; le TCD envoie un

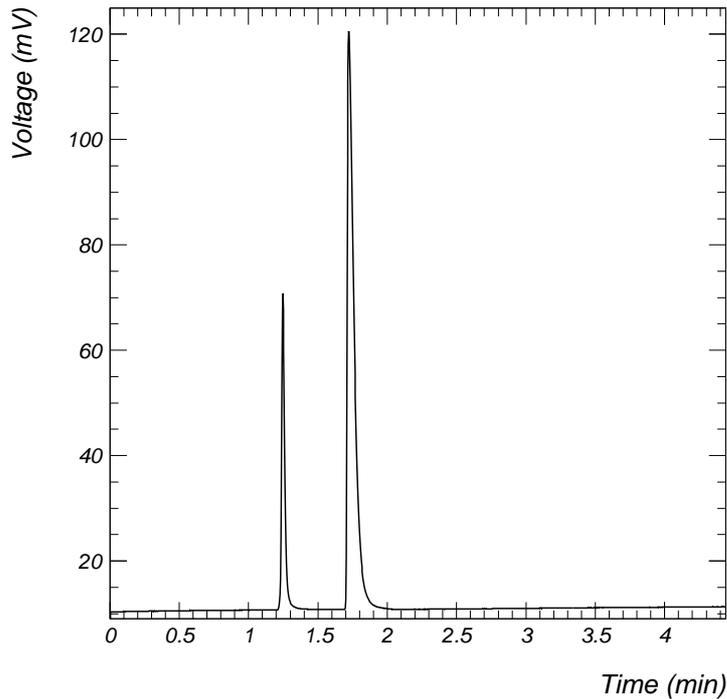


Figure 18: *Chromatogramme d'un échantillon d'air prélevé directement dans l'atmosphère. Le pic de gauche représente l'oxygène et le deuxième l'azote.*

pic de détection pour ces deux composants une à deux minutes après l'injection. Le Xenon étant plus lourd, il est retenu plus longtemps que les autres gaz. En fonction de la température de la colonne, le Xenon est détecté en moyenne 7-8 minutes après injection. La figure 18 montre un exemple d'échantillon atmosphérique. L'apparition des pics est variable suivant la température de la colonne, la vitesse à laquelle l'injection a été faite et d'autres paramètres encore qui sont tous difficiles à maîtriser. Mais l'identification de ces deux pics est facilitée lorsqu'on sait qu'ils sont souvent les deux composants les plus rapidement libérés et que leur proportion dans l'air (1 volume d'oxygène pour 4 volumes d'azote) se retrouve dans l'aire couverte par leur pic respectif.

4.3 Mise en place et déroulement des tests

Le gaz est disposé dans une enceinte en métal fermée hermétiquement. Les joints entre les parois et avec la plaque de Mylar sont considérés comme étanche. On dispose dans cette enceinte une paroi composée d'une couche de 8 microns de Mylar aluminisé, une couche de fibre de carbone qui sert à renforcer la structure et une couche de Rohacell HF71 de 8mm utilisée dans le radiateur de la TRD. Le volume inférieur de la boîte a des dimensions de 177 * 118 mm pour une hauteur de 60 mm, soit une contenance de 1,25 litres. Le volume supérieur est de quelques dizaines de millilitres. Deux valves sont soudées à la partie inférieure pour évacuer



Figure 19: Chromatogramme utilisé pour nos tests. On voit les deux colonnes à l'intérieur. Chacune mène à un détecteur différent, dans notre cas un TCD et un ECD qui n'est pas utilisé. L'injection des gaz se fait à l'aide d'une seringue sur le dessus, une entrée par colonne. Le tableau à droite de l'image permet de contrôler la pression en Helium à l'intérieur, la température de la colonne, le four servant à purifier les colonnes régulièrement.

l'atmosphère au début de l'expérience et emplir ce volume de Xénon. Le remplissage se fait par une bouteille de Xenon sous pression, connectée à un manomètre, un réducteur de pression, puis un flowmeter (contrôleur d'intensité du flux). Sur le volume supérieur est disposée une valve reliée à un septum. C'est à partir de là qu'en ouvrant la valve, on prélève un échantillon de gaz à l'aide d'une seringue. La valve est fermée dès le début du test.

Sous une pression de 1 bar, le Xenon est envoyé à travers la boîte pendant une heure et demie avec un flux de 0,5 litre par heure de manière à purger la partie inférieure des gaz atmosphériques qu'elle contient et à remplir de Xenon.

Une fois les valves fermées, on prélève un échantillon de gaz du volume supérieur une fois par semaine pendant 6 semaines. L'échantillon est immédiatement analysé par le chromatographe pour éviter les contaminations avec l'atmosphère. Le chromatogramme est enregistré sur disque dur et l'analyse des pics révèle ou non la présence de Xenon dans l'échantillon.

L'expérience est refaite une seconde fois avec cette fois-ci une couche de Mylar abimée. Pour cela, nous avons fait des entailles dans sa surface à l'aide d'une lame de couteau suisse. La largeur de la fente ne dépasse pas 0.1 mm mais devrait nous donner une appréciation de la solidité des matériaux.

On doit également faire une calibration de l'appareil pour tous les gaz à étudier. Celle-ci permet de retrouver le volume de chaque composant apparaissant dans l'échantillon. La figure 20 montre la calibration effectuée auparavant pour l'oxygène et l'azote.

La figure 21 montre où se situe le pic de Xenon dans un chromatogramme. L'échantillon vient

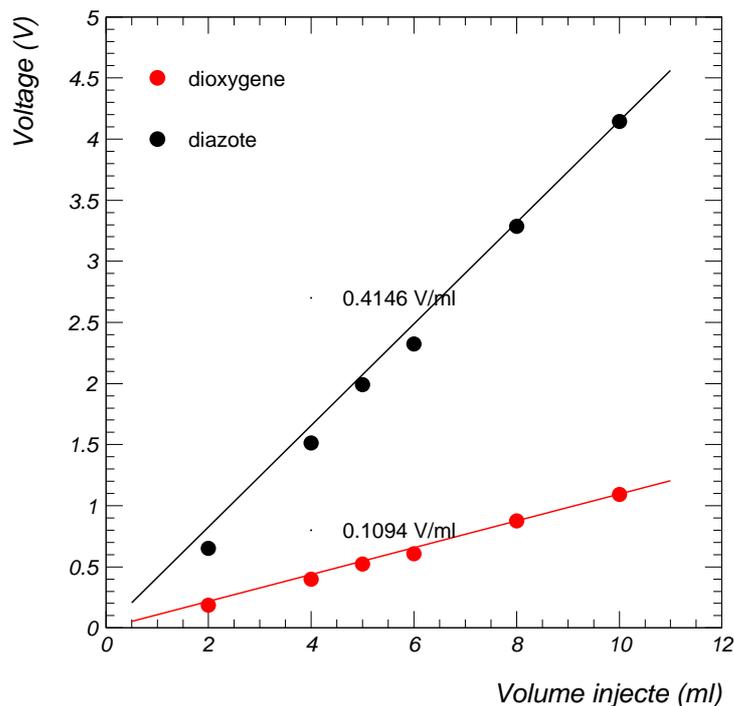


Figure 20: Dans le cas d'un calibrage pour les gaz atmosphériques, la tension observée dans le chromatogramme est proportionnelle aux volumes partiels d'oxygène et d'azote que contient l'échantillon.

directement d'une bouteille de Xenon. La présence d'un important volume d'air dans la colonne montre que la seringue n'est plus étanche. Nous avons donc du changer de matériel au cours des tests afin de garder une bonne évaluation des quantités.

4.4 Problèmes rencontrés

La compagnie qui fournissait les bouteilles de Xenon a connu des problèmes d'usinage qui a occasionné des défauts de stockage. La bouteille de Xenon utilisée pour notre test était contaminée au SF₆, un gaz fortement électropositif. Sa présence dans nos échantillons pourrait être à l'origine de certains pics étranges observés.

Les seringues ont été abimées au cours des mesures, nous obligeant à utiliser une autre de taille différente et donc à changer le volume échantillonné.

4.5 Traitement des données

Les chromatogrammes sont enregistrés puis analysés grâce au logiciel Chorm-Card de l'ordinateur. Les fichiers sont codés en ASCII et permettent une analyse classique à l'aide de tableurs comme Excel ou PAW que j'ai utilisé pour l'occasion. La première série de résultats montrent que la cellule en bonne condition est imperméable au Xenon. Les figures

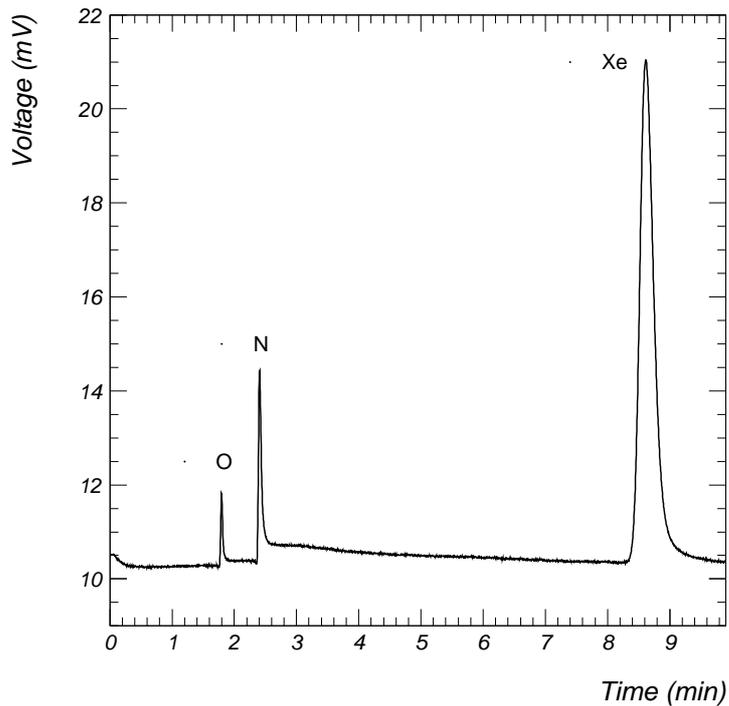


Figure 21: *Mise en présence du Xenon. L'échantillon a été prélevé directement sur une bouteille de Xenon. Le mauvais état de la seringue est mis en avant par la présence d'une grande quantité d'air dans l'échantillon.*

22 et 23 représentent l'état des échantillons une semaine puis 6 semaines après l'injection du Xenon dans la boîte; le volume supérieur de la boîte ne montre pas la présence de ce gaz dans des quantités mesurables (i.e. supérieures à quelques ppm).

Le pic que l'on observe dans la figure 22 entre les pics d'oxygène et d'azote et probablement du à la présence de vapeur dans le volume supérieur de la boîte. Un pic à la limite de la résolution du détecteur apparaît également vers 6 minutes. On pense, que celui-ci est du à une décomposition de la colle dans le volume.

Le test avec couche perforée n'a pu être achevé pour cause de matériel défaillant. Un autre test est prévu dès obtention du nouveau matériel. La mesure effectuée une semaine après le remplissage du volume montre une forte présence de Xenon dans le volume supérieur. Bien que ce résultat demande une seconde confirmation, on peut déjà considéré ces mesures comme suffisantes. Le radiateur serait très sensible à l'état de sa paroi et une inspection de ceux-ci doit être faite minutieusement avant leur assemblage. Une fissure non détectée à l'installation pourrait laisser passer une grande quantité de gaz vers le radiateur pendant l'expérience et fausser les résultats.

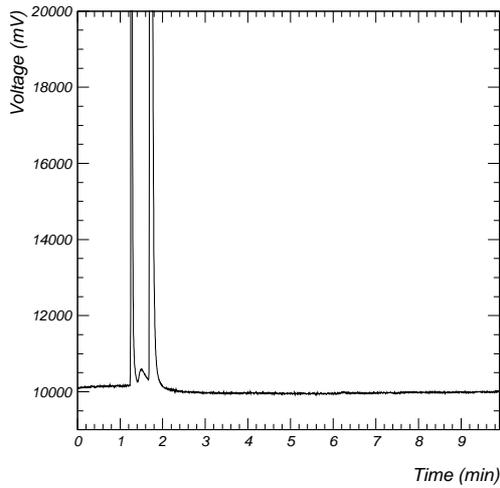


Figure 22: *Chromatogramme du volume supérieure de la boîte test une semaine après sa fermeture.*

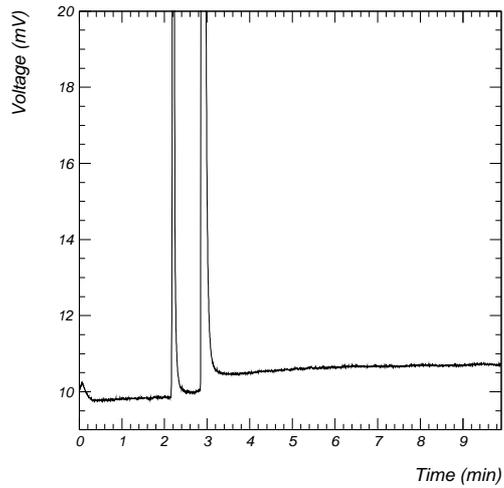


Figure 23: *Mêmes conditions que la figure précédente six semaines après la fermeture.*

4.6 Conclusion sur la fenêtre d'entrée

La couche de Mylar présente une grande sensibilité aux défauts. La feuille de fibre de carbone ne sert en aucune manière à stopper les gaz de sortir de la chambre si la couche de Mylar est abimée.

La deuxième partie de l'expérience n'a pu être achevée dans les conditions voulues, néanmoins, nous avons pu réunir suffisamment d'informations dans les premières mesures pour comprendre que l'étanchéité de la fenêtre d'entrée reste très dépendante du bon état de la couche de Mylar. Puisque l'expérience ALICE devra tourner pendant au minimum cinq années, il faudra porter une grande attention à un vieillissement prématuré des radiateurs pour ne pas avoir de fuite de Xenon hors de la TRD.

5 Test sur le CO₂ analyzer

5.1 Le problème lié à l'analyse des gaz

La chambre de la TRD est constituée d'un mélange de Xenon et de dioxyde de carbone pour avoir les bonnes propriétés de vitesse de dérive et de gain dans la TRD. La TPC est également remplie de gaz et le contrôle des pressions partielles de chacun des composants est un besoin important pour ces deux détecteurs. Des changements de composition de l'ordre d'un pour cent pourraient affecter les propriétés du détecteur et fausser grandement les mesures. L'appareil permettant de mesurer de façon continue ces quantités est un CO₂ analyzer; plus précisément dans notre cas, il s'agit d'un mesureur de conductivité thermique. Je suis donc chargé de seconder M. Chilo Garabatos dans un test visant à vérifier le bon fonctionnement de cet instrument.



Figure 24: Appareil de mesure de concentration des gaz dans un mélange binaire. Les câbles de transmissions des signaux doivent être passés à travers les valves en plastique sur les deux côtés qu'on devine sur l'image. L'entrée/sortie des gaz se fait par les deux embouts sur le bas de l'instrument.

5.2 Principe de l'analyseur de gaz

Nous utilisons un appareil de la compagnie PANAMETRICS, un XMTC Thermal Conductivity Transmitter. L'appareil permet de mesurer les concentration de gaz dans le cas d'une mixture

binaire. Nous l'utilisons ici avec une mixture de Xenon et dioxyde de carbone dans les quantités propres à la TRD.

Brièvement, l'analyseur mesure la conductivité thermique du gaz et la compare avec celle d'un gaz de référence. Pour cela, il dispose de deux thermistors scellés plongés dans un milieu de température ultra-stable : l'espace intérieur de l'instrument est gardé à 55° en permanence. Les deux thermistors sont placés juste à côté du senseur thermique.

La perte de chaleur des thermistors vers la chambre contenant l'échantillon est proportionnelle à la conductivité thermique du gaz en présence. Le gaz témoin étant l'air, toutes les conductivités thermiques des gaz étudiés sont reportés relativement à ce gaz témoin dans la table 2.

gaz	Conductivité thermique (rapportée à l'air)
Air	1
Xe	0.2
CO_2	0.63
Ar	0.7
N_2	1
Ne	1.95
He	5.75
H_2	6.95

Table 2: *Conductivité thermique de certains gaz rapportée à celle de l'air.*

Dans le cas qui nous importe, on remarque que le CO_2 possède une conductivité thermique inférieure à celle de l'air. Cependant, le XMTC permet d'analyser ces gaz en inversant à l'aide d'un jumper la polarité de l'appareil.

Pour effectuer une calibration correcte avec cet appareil, il faut donc donner deux concentrations différentes comme paramètre puis étalonner dans chacun des cas pour obtenir la correspondance des concentrations et des conductivités thermiques dans l'intervalle choisi.

5.3 Mise en place du montage

Pour fonctionner correctement, l'analyseur doit être maintenu dans une position verticale pendant toute la durée des mesures et surtout doit rester stable.

A une bouteille de Xenon, nous joignons un manomètre ainsi qu'un régulateur de pression. Un tube relie ensuite l'ensemble à un flowmeter-mélangeur mural. Nous faisons de même avec une bouteille de dioxyde de carbone. Le mélangeur permet grâce à un ensemble de valve de contrôler avec rigueur les concentrations de chacun des gaz puis d'envoyer la mixture vers la première entrée du CO_2 analyzer. La deuxième entrée de ce gaz permet l'évacuation de la mixture. L'appareil est également relié à un hygromètre et un thermomètre intérieur.

A l'intérieur de l'appareil, nous connectons deux jeux de câbles sur les puces de lecture des thermistors. Un premier set est relié à une alimentation stable +24 Volts, -24 Volts. Les sorties

sont des signaux dans le courant varie entre 4 et 20 mA. Il faut donc programmer la calibration de manière à ce que les mesures au moment des tests couvrent la bande en intensité; nous aurons ainsi la meilleure précision possible des concentrations. Le deuxième jeu de câbles est relié à un ordinateur équipé du logiciel (très archaïque) fourni avec l'appareil.

Comme il est dit dans le titre, c'est la concentration en CO_2 que nous mesurons dans la mixture et non celle de Xenon. Dans les deux cas, on constate que la polarité de l'appareil doit être inversée puisque la conductivité thermique de ces gaz est inférieure à celle de l'air.

L'indicateur du flowmeter mural est en graduation qui ne correspondent pas directement au flux envoyé pour ce gaz. Il faut donc d'abord étalonner le flowmeter pour connaître les graduations. On se sert pour cela d'un flowmeter électronique précalibré. L'étalonnage a été réalisé avec succès comme on le voit dans la table 3.

On notera aussi que la calibration n'est pas parfaite. De plus l'appareil se dérègle rapide-

graduation du flowmeter (set)	flux correspondant (ml/min)
2.3	0.6
5.6	2.15
6.0	2.40
8.0	3.20
10.0	4.20

Table 3: *Etalonnage du flowmeter mural au moyen d'un deuxième flowmeter électronique. Le gaz étudié ici est le CO_2 .*

ment avec le temps. Ainsi le dernier étalonnage des mesures fait un mois auparavant donne des fonctions de correspondance qui diffèrent des nôtres de plus de 10% dans les gammes de concentrations utilisées :

$$Flux(ml/min) = 0.4016 * set + 0.736 \quad (1)$$

il y a un mois contre

$$Flux(ml/min) = 0.463 * set - 0.444 \quad (2)$$

aujourd'hui.

La deuxième étape est l'étalonnage de l'instrument. Pour cela, nous utilisons deux concentrations différentes de notre mixture. Celles-ci représentent les bornes inférieures et supérieures de notre étalonnage. Une fois les deux tensions établies sur les thermistors, nous implémentons "en dur" directement sur l'électronique de l'instrument les valeurs en intensité auxquelles correspondent ces concentrations. L'instrument servira à contrôler le débit de CO_2 arrivant dans les détecteurs et puis on ajoutera le Xenon. Donc la concentration en CO_2 passera de l'infini à 100% puis 15% au final. Nos étalonnons à partir de 50% jusqu'à 10%.

Un point important dans le CO_2 analyzer, c'est la lenteur à laquelle le gaz arrive dans l'instrument. La figure 25 montre l'évolution du signal une fois qu'on fait varier la mixture. Ici,

la variation est effectuée au moment du lancement de l'acquisition, mais il s'écoule plusieurs minutes avant que l'instrument ne réagisse.

De plus on constate sur cette image que la stabilisation n'est pas parfaite. L'origine des fluc-

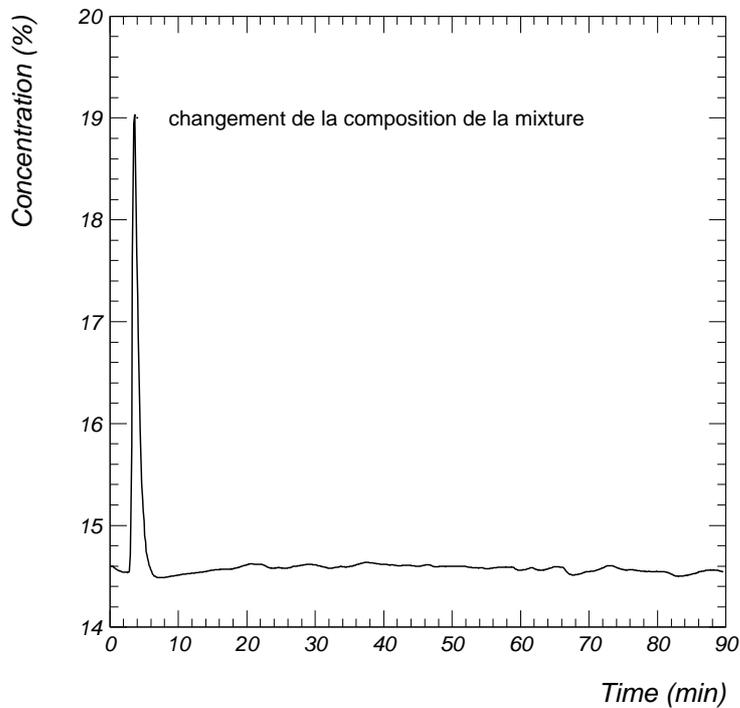


Figure 25: Evolution du signal en concentration après que l'on ai fait varier la concentraion de la mixture au temps 0. Le retard est du au parcours du gaz à travers le pipe entre les valves de contrôle et l'appareil.

tuations peut être la température extérieure à l'appareil; une autre explication pourrait être la contamination de la bouteille de Xenon par le SF6 qui peut influencer l'appareil car ce gaz est hautement électro-négatif.

5.4 Stabilité de l'appareil

Pour étudier la stabilité du CO_2 analyzer, nous avons calibré une nouvelle fois l'appareil et nous l'avons laissé tourner toute la nuit. La température extérieure a été mesurée et notée en fonction du temps. La figure 26 montre les mesures en elles-mêmes. L'expérience a commencé à 5 heures de l'après-midi; après stabilisation du mélange on constate que le signal dérive vers le haut pendant la première partie de la nuit puis redécroit au matin. C'est donc bien que l'appareil est sensible aux conditions extérieures malgré le fait que l'intérieur de l'appareil soit maintenu à température constante tout le long du test.

La figure 27 montre que l'on peut établir une corrélation entre la dérive du signal et la température extérieure. Pour utiliser cet appareil lors des prochaines mesures, il faudra tenir

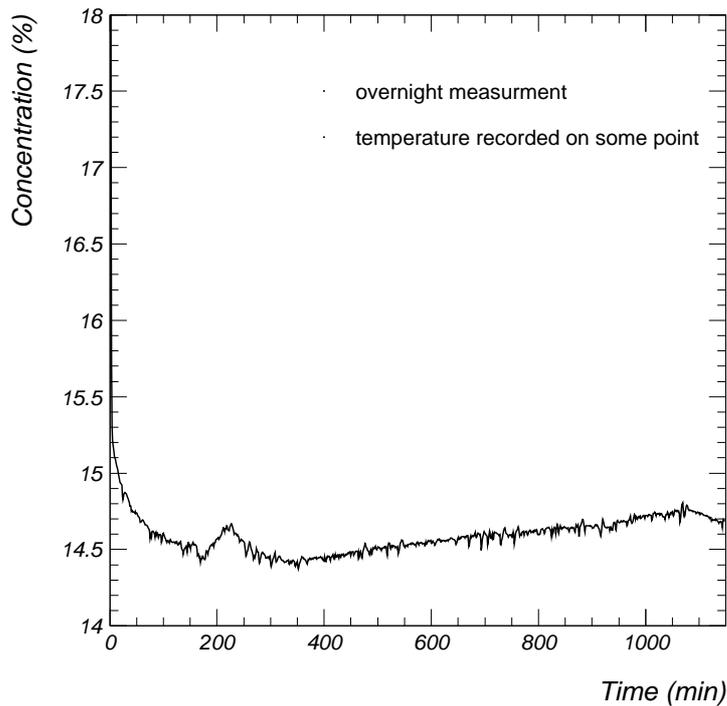


Figure 26: *Le signal dérive longtemps après que le gaz soit arrivé dans l'appareil. Il s'agit donc d'une influence extérieure; nous mettons en avant la température ambiante en laissant cette mesure s'écouler toute la nuit et en corrélant avec la mesure en température.*

compte des paramètres extérieurs pour corriger l'information pendant l'acquisition même.

5.5 Conclusion sur l'emploi du CO_2 analyzer dans les prochains tests

L'analyseur de gaz possède plusieurs gros problèmes. Le premier est cette sensibilité inattendue à la température ambiante. Comme l'appareil sera entreposée près des détecteurs lors de son emploi, nous ne pouvons pas contrôler cette donnée. Nous devons donc ajouter un appareil qui sera chargé de mesurer cette température et qui transmettra ses données au même endroit que l'analyseur. On pourra alors effectuer une correction en ligne des données.

Le deuxième problème de ce type de manipulation est que l'on doit attendre que le gaz parcourt toute la tuyauterie avant d'arriver à l'appareil et d'être mesuré. Une mesure plus en amont est pour le moment impossible du fait de l'emplacement de chaque composants. Néanmoins, il est clair que cette mesure ne nous permettra pas d'agir rapidement en cas d'emballement sur un point du circuit.

L'appareil continuera à être utilisé pour les premiers tests de TRD ainsi que pour les prochaines périodes de faisceau test.

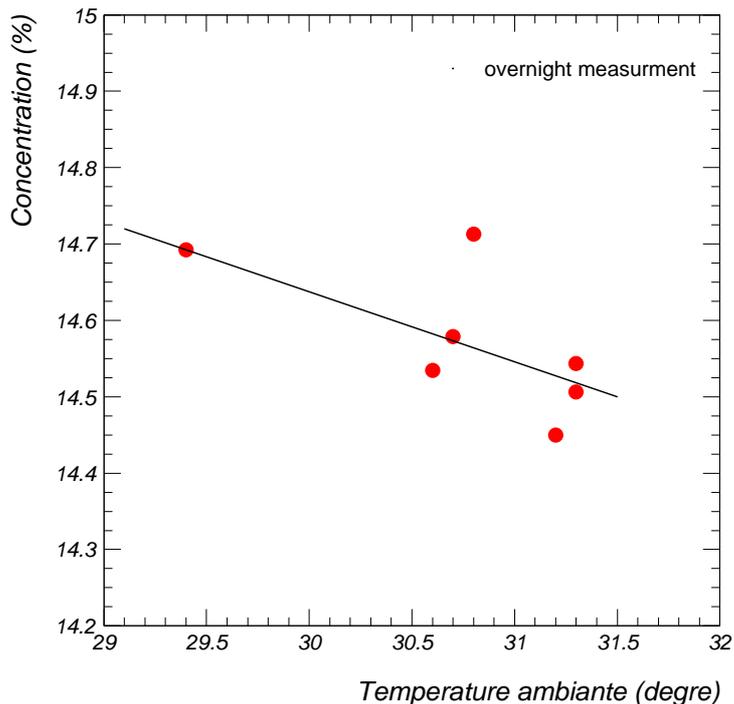


Figure 27: La figure 26 met en avant une corrélation entre température ambiante et stabilité de la mesure. Les points reprennent ces mesures et une corrélation est calculée pour des futures corrections.

6 Banque de données sur la TPC et la TRD d'ALICE

6.1 Banque de données pour l'élaboration des détecteurs

L'expérience ALICE représente un véritable challenge technologique pour sa réalisation. Plusieurs équipes européennes se sont partagées la construction des différents modules, leur assemblage, le stockage et finalement la mise en place du détecteur sur le faisceau du LHC. La TRD à elle seule est répartie sur plusieurs laboratoires, principalement en Allemagne. Ainsi, la construction des 540 chambres commencera à l'Institut de physique de l'université d'Heidelberg, puis une deuxième chaîne sera montée à Darmstadt, une autre à Francfort et peut-être une quatrième en Roumanie. Le lieu de stockage de tous ces modules n'est pas encore arrêté mais le candidat le plus probable reste Heidelberg. Il en va de même pour la TPC dont la construction en série des détecteurs a déjà débuté à Darmstadt et ailleurs.

Certains points de la construction ou de l'assemblage de ces modules sont encore appelés à changer par la suite. Dans ces conditions, le besoin d'une banque de données contenant toutes les informations nécessaires à toutes les étapes de la production se fait ressentir. Une décision a donc été donnée de commencer à établir une telle base qui sera commune pour les deux détecteurs sus-mentionnés dans le titre.

Je suis chargé de travailler sur l'usinage et l'assemblage des radiateurs de la TRD. Les données

concernant ces tables existent mais je n'en disposerai qu'en Septembre. C'est pourquoi je ne m'étendrai pas trop sur le sujet.

6.2 Constitution d'une banque de données commune

Pour ce faire, nous avons rassemblé une équipe comprenant des chercheurs de chaque laboratoire associé à ce travail et également une équipe d'informaticiens du laboratoire de Warsaw.

En effet, le groupe Warsaw a déjà mis au point une table pour une TPC d'une autre expérience. De par les bons rapports qui unissent ces différents laboratoires, le groupe Warsaw a proposé de démarrer cette nouvelle banque de données en partant de la leur. De plus leur informaticiens sont à même de nous faire éviter de trop nombreuses erreurs au début.

Il est donc décidé que la base sera stockée sur un serveur Oracle. Cet outil est compatible avec une grande variété de logiciels permettant de créer et de remplir de telles banque de données. Pour les besoins informatiques (un peu obscures parfois) du GSI, la création de ma partie de la banque de données se fera avec TOAD sous une interface Windows NT.

La première partie de mon travail consiste donc à configurer un ordinateur pour accepter TOAD ainsi qu'une interface client pour Oracle. L'interface serveur pour Oracle se fera sur un autre ordinateur du GSI qui sera connecté sur le website du GSI et dont très peu de personnes auront accès. Ainsi, une fois la mise au point de l'architecture de la banque de données terminée, chaque utilisateur pourra consulter librement les données et avec les autorisations adéquates, les différents groupes de travail pourront même remplir ces tables au fur et à mesure à l'aide d'un simple navigateur.

La gestion des droits de lecture et d'écriture sur cette table et surtout la séparation de la banque de données en une pluralité d'entrées permet une meilleur gestion des bases et également une plus grande sécurité. On évite les risques qu'un groupe stocke des tables ou des données au mauvais endroit et efface une partie du reste à laquelle il ne devrait pas avoir accès.

6.3 Données relative aux radiateurs

Ma partie consiste à regrouper les informations relatives au radiateur de la TRD, à sa constitution et aux stockages de ces radiateurs. La partie sur le stockage ne sera pas traitée ici par manque d'informations et parce que le projet continuera en Septembre après la rédaction de ce rapport.

La première table traite du radiateur : On lui attribue un numéro d'identification compris entre 0 et 540. Sa description est donnée par le nombre de colonnes et de lignes qu'il comprendra. En effet, comme on l'a vu dans les parties précédentes, seul la surface de la chambre TRD change avec son emplacement dans le supermodule. Enfin, le nombre de matériaux utilisés ainsi que leur type sont stockés.

Une deuxième table sur les matériaux contient la liste de tous les matériaux disponibles, le type de colle utilisé, le facteur d'humidité au moment de la production ainsi que la température. Enfin, la date de production est enregistrée également.

La troisième table concerne les matériaux stockés : le producteur, le type de matériaux qu'il fournit ainsi que la date à laquelle le stock a été délivré.

Une quatrième table concerne les études sur l'absorption des rayons X par la chambre, pour étudier les propriétés du radiateur.

La table 4 donne un rappel du regroupement des données.

Radiateur	définition
ID	numéro d'identification
LxCy	surface du radiateur
Mat-num	nombre de matériaux utilisés
Matériaux	définition
Mat-lis	liste de tous les matériaux utilisés
Glu	type de colle employée
Temp	température au moment de la production
Hum	humidité au moment de la production
Pro-dat	date de production
Provenance	définition
Mat-sto	type de matériaux stockés
Prod	expéditeur (lien vers un carnet d'adresse)
Del-dat	date de livraison des matériaux
Données X-ray	définition
non défini	on défini

Table 4: *Les différents éléments à prendre en compte dans l'établissement d'une banque de données sur les radiateurs.*

6.4 Etat d'avancement de la base de données

Les tables sont prêtes à être remplies. Les définitions ont été acceptées par le groupe et seules les nomenclatures seront à rectifier une fois qu'une décision définitive aura été donnée en ce sens. Pour le moment, le dictionnaire relatif à notre base de données n'étant pas encore terminé, chacun choisit librement le nom des variables qu'il crée, ce qui n'est pas sans donner quelques soucis.

Une fois le dictionnaire confirmé et les données envoyées, je passerai à la dernière étape qui consiste à translater les tableaux créés sous Excel vers le serveur client Oracle.

7 Conclusion

7.1 Les stages en Allemagne

Contrairement à ce qu'on s'attend en France, un stage en laboratoire en Allemagne ne propose pas de sujet préétabli au début. C'est seulement une fois le stagiaire installé et après avoir rencontré l'équipe que l'on commence à réfléchir sur le travail à faire.

De cet état de fait, il a résulté que mon sujet tenait bien du détecteur TRD, mais sur plusieurs aspects à la fois. J'ai été amené à travailler sur plusieurs parties bien distinctes du détecteur au cours de ces 6 mois :

- électronique et mécanique avec les câbles de liaison des pistes de lecture.
- étude des gaz et des perméabilités avec la fenêtre d'entrée de la zone de dérive.
- thermoélectrique et étude d'un analyseur de gaz.
- enfin, travail sur les bases de données sur lesquelles je n'avais jamais travaillé auparavant.

J'ai donc pu travailler sur plusieurs approches différentes et voir plusieurs étapes de la fabrication d'un détecteur ainsi qu'une bonne partie des problèmes liés à un si grand projet.

7.2 Problèmes rencontrés et bilan personnel

Mon stage s'est déroulé sans trop de problème. La langue allemande m'étant totalement inconnue (même après six mois de stage au GSI), il a parfois été difficile de faire avancer certaines expériences mais nous sommes toujours parvenu à trouver la solution.

Le riche environnement informatique dans lequel j'ai fait mon stage utilisait un OS Linux avec tous les outils de traitement et d'analyse associés. L'emploi de Paw, Latex, Bash a été beaucoup moins pénible que je le prévoyais grâce aux prises en main faites pendant le DEA et à l'ENSPS. L'ambiance dans les laboratoires du GSI et de l'Institut de Physique Nucléaire de Heidelberg a largement contribué au bon déroulement de mon stage et je tiens encore une fois à remercier toute l'équipe KP1.

References

- [1] website : <http://www.gsi.de/>
- [2] B. Alessandro, P. Aurenche and Co., ALICE INT. NOTE, ALICE Physics, A Theoretical Overview
- [3] A. Andronic and Co. Elsevier Preprint (11 May 2003)
- [4] website : www.samtec.com?FJ
- [5] K.J. Eskola, K. Kajantie, P.V. Ruuskanen, Phys. Lett. B332 (1994) 191.
- [6] G.Charpak, Nature 270 (1977) 479.