Remarques Finales

Michel Della Negra

Remise du prix André Lagarrigue 2014

LAL 14 Décembre 2015

Ecole Polytechnique Paris 1961-1963

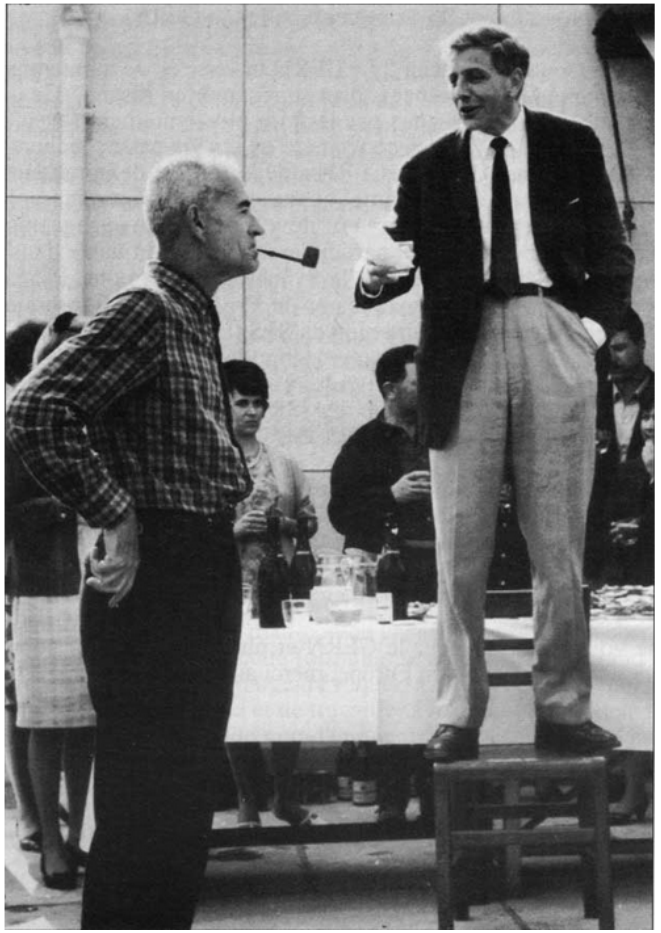
COURS DE PHYSIQUE

ELEMENTS DE MECANIQUE QUANTIQUE

PHYSIQUE ATOMIQUE

Rédigé par :

André ASTIER, Maître de Conférences,
Bernard GREGORY, Professeur,
André LAGARRIGUE, Maître de Conférences,
Louis LEPRINCE-RINGUET, Professeur,
Francis MULLER, Maître de Conférences



Je suis entré à l'école polytechnique en 1961. L'enseignement de la physique venait d'être rénové par Louis Leprince Ringuet et Bernard Grégory, tous deux professeurs et assistés par André Astier, André Lagarrigue et Francis Muller, maitres de conférence. Ce fut mon premier contact avec le monde mystérieux des particules élémentaires et de la mécanique quantique. Ce fut la confirmation de ma décision de faire de la recherche à la sortie de l'école.

Collège de France 1964-1969

Leprince était aussi professeur au Collège de France. Il avait créé un laboratoire de physique des particules à l'école polytechnique et au Collège de France comprenant une cinquantaine de physiciens impliqués dans des expériences de chambres à bulle au CERN. Leprince avait su attirer quelques collaborateurs prestigieux, futurs leaders de la physique mondiale des particules: **Bernard Grégory, André Lagarrigue , …**

En 1964 je fus affecté au groupe **d'André Astier** au CDF qui étudiait depuis 1961 les annihilations d'antiprotons à l'arrêt dans la chambre à bulle à hydrogène de 81cm au CERN. Le groupe comprenait un dizaine de physiciens: Ch. d'Andlau, P. Baillon, J. Cohen-Ganouna, C. Defoix, L. Dobrzynski, C. Ghesquière, P. Rivet, J. Siaud plus une armée de "scanning girls".

Entre 1961 et 1965 un total de 1.55 million d'annihilations ont été photographiées et analysées. Les photos étaient scannées pour la présence de V0s dus à la désintégration $K_1^0 \to \pi^+\pi^-$

De nouvelles résonances mésoniques ont été établies dans les systèmes $K\overline{K}, K\pi\pi \; et \; K\overline{K}\pi$:

delta(980), C(1240), D(1285), E(1420).

Dans les années 60 on classait les mésons dans des octets de SU(3) selon le modèle des "quarks" (Gell-Mann, Zweig (1964)). Les "quarks" n'étaient que des degrés internes de symétrie dans l'espace des "saveurs": isospin, étrangeté

Avec trois quarks $q = u, d, s$ et antiquarks $\overline{q} = \overline{u}, \overline{d}, \overline{s}$, on construisait tous les mésons comme des systèmes $q\overline{q}$:

$$3 \otimes \overline{3} = 8 + 1$$

Thèse 1967

Etude des annihilations d'antiprotons à l'arrêt en trois corps du type $\bar{p}p \rightarrow K\bar{K}\pi$

Mon mentor était Paul Baillon. C'est lui qui m'a initié à toutes les techniques d'analyse utilisées pour ma thèse.



Francis Perrin, Louis Leprince-Ringuet

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES
DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ES SCIENCES PHYSIQUES

PAR

Michel DELLA NEGRA

BIBLIOTHECA BERNENSIS 1968

1re THESE. - Etude des annihilations d'antiprotons à l'arrêt en trois corps du type : $\bar{p}\ p \rightarrow K\bar{K}\pi$.

2e THESE. - PROPOSITIONS DONNEES PAR LA FACULTE.

L'aplatissement du soleil et la relativité générale.

Soutenues le 23 Juin 1967 devant la Commission d'examen.

MM. PERRIN — *Président.*
LEHMANN
LEPRINCE - RINGUET — *Examinateurs.*
ASTIER



Pierre Lehmann

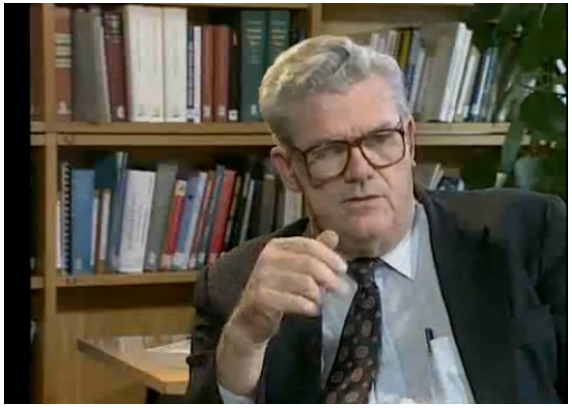


André Astier

Un jury prestigieux!

SLAC 1970-1972

Après la thèse, c'était une tradition du laboratoire LLR de partir aux USA. J'ai choisi d'aller à SLAC où une nouvelle physique était en train de naître. Il y avait deux groupes a SLAC:



R. Taylor (Nobel 1990)

Le groupe A (Dick Taylor) dans une expérience fameuse en collaboration avec MIT (SLAC-MIT 1969) venait de découvrir la structure du proton en constituants ponctuels.

Le groupe B: Joe Ballam venait de construire une chambre à bulle à cyclage rapide de 40 inches dont la prise de photos pouvait être déclenchée par des détecteurs électroniques appropriés.



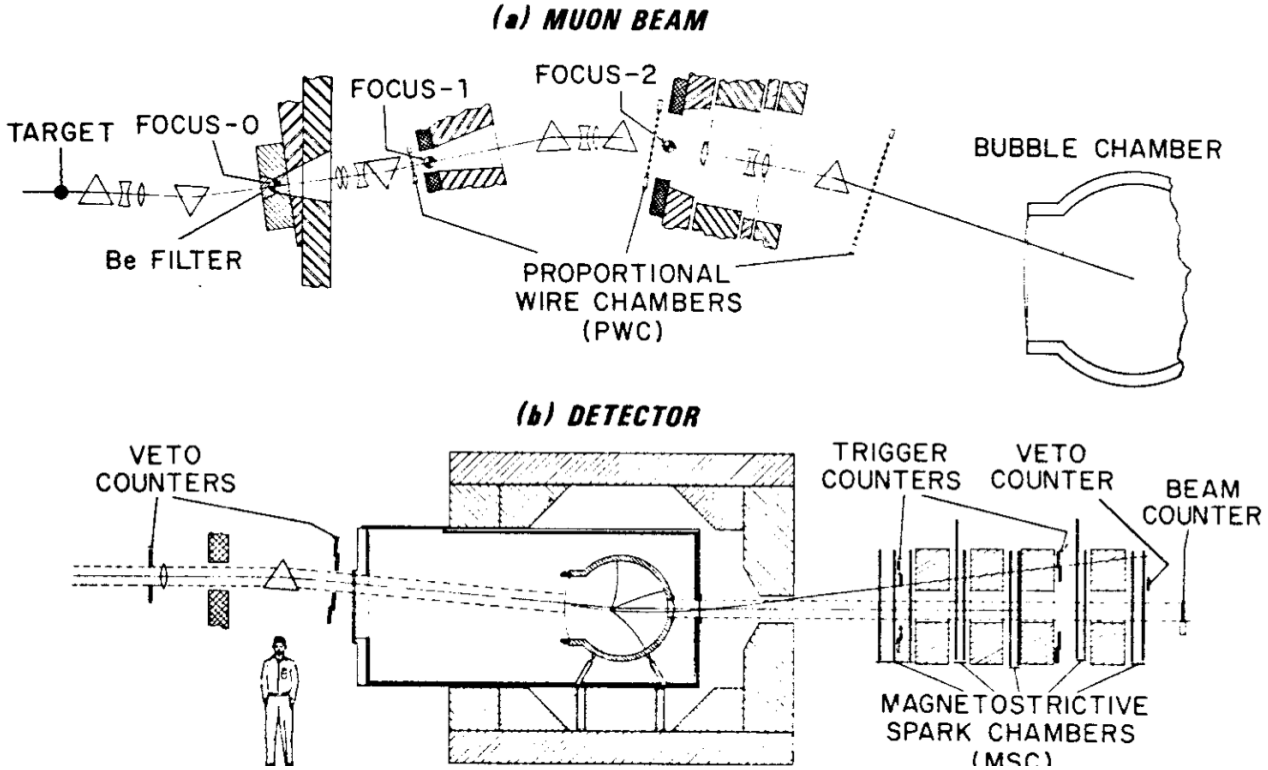
Joe Ballam

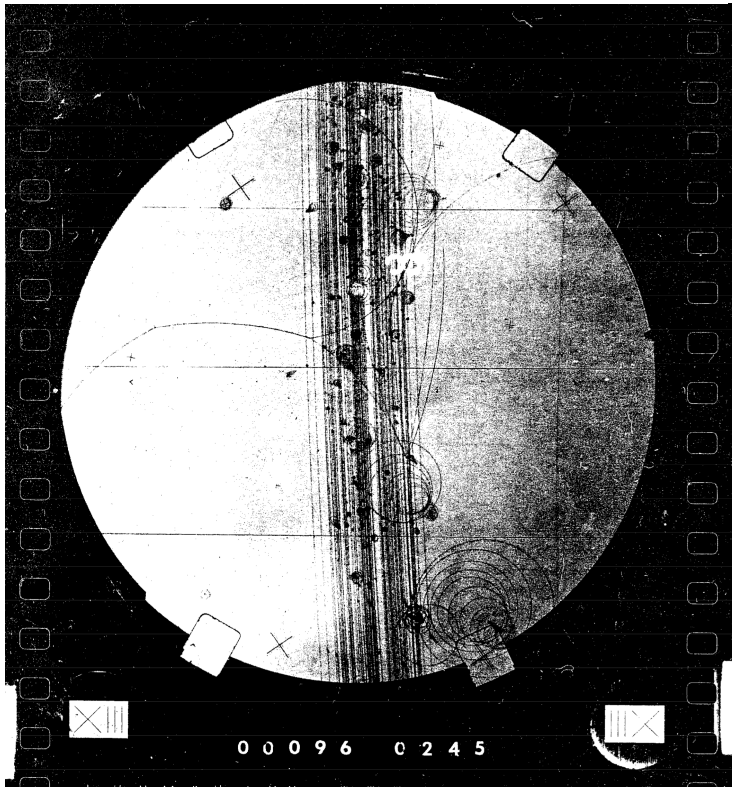
Quand j'arrivais à SLAC **Elliott Bloom** (groupe A) venait de proposer, en collaboration avec le groupe B, une expérience (BC42) ayant pour but d'observer pour la première fois les états finaux produits dans la diffusion profondément inélastique de muons de 16 GeV/c, en utilisant la chambre à bulle à cyclage rapide comme détecteur 4π non biaisé.

Je décidai de joindre BC42.

BC42

J. Ballam, E. D. Bloom, J. T. Carroll, G. B. Chadwick, R. L. A. Cottrell+,
M. Della Negra++, H. DeStaebler, L. K. Gershwin+++, L. P. Keller,
M. D. Mestayer, K. C. Moffeit, C. Y. Prescott, S. Stein





J'ai beaucoup appris durant mon séjour à SLAC:

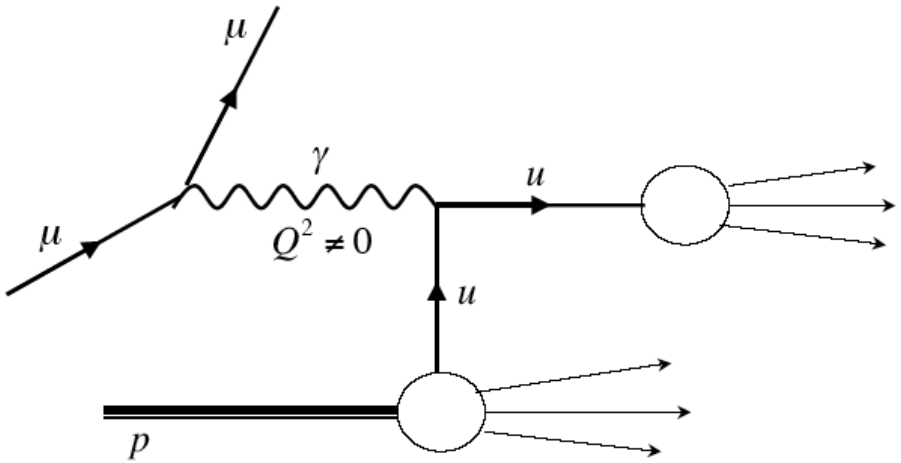
- Le style américain de faire de la physique.
- Conception et construction d'un faisceau de muon à partir de zéro, TRANSPORT (K. Brown et al.)
- Optimisation du blindage pour réduire le halo de muons à l'aide d'un programme de Monte Carlo.
- Monitoring du halo sur PDP-8L avec des chambres
- Reconstruction des muons dans le télescope muon équipé de chambres à étincelles.

Structure des évènements “deep inelastic” dans BC42

Nous avons obtenu 4000 évènements muon inélastiques dans 94000 photos déclenchées correspondants à 30 millions d'expansions de la chambre à bulle à 10 expansions par seconde et 100 muons par expansion.

C'était fantastique de regarder pour la première fois des évènements complets produits dans des collisions profondément inélastiques. Nous n'avons pas observé de partons à l'état libre! Le modèle des parton-quarks était en cours d'élaboration. Nous n'avons pas réalisé que les hadrons produits vers l'avant étaient en fait les fragments du quark up frappé par le photon virtuel "pointlike".

Pourtant nous avions bien observé un excès de charge positive en avant du photon virtuel comparé à la photoproduction normale ainsi qu’on l'attend pour la fragmentation d'un quark up de charge +2/3.





Un papier visionnaire: BBK (1971)

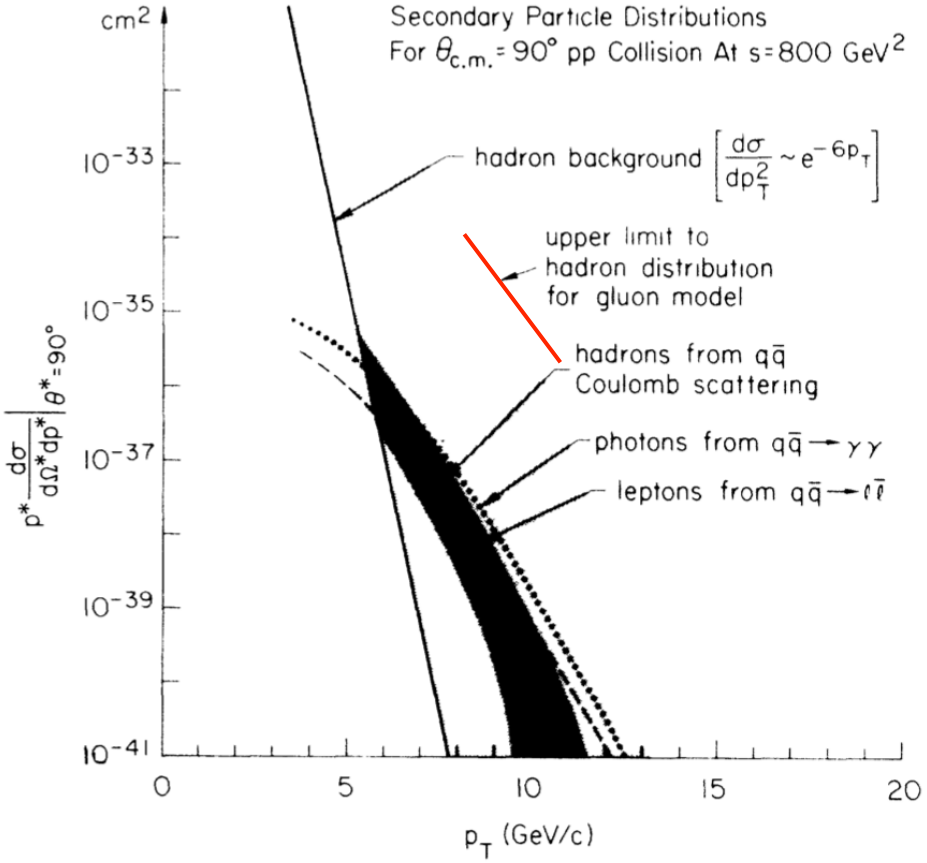
Inclusive Processes at High Transverse Momentum*

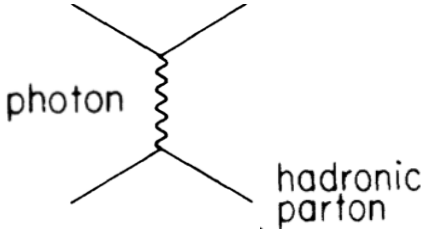
S. M. Berman, J. D. Bjorken, and J. B. Kogut†
Stanford Linear Accelerator Center, Stanford University, Stanford, California 94305

(Received 5 August 1971)

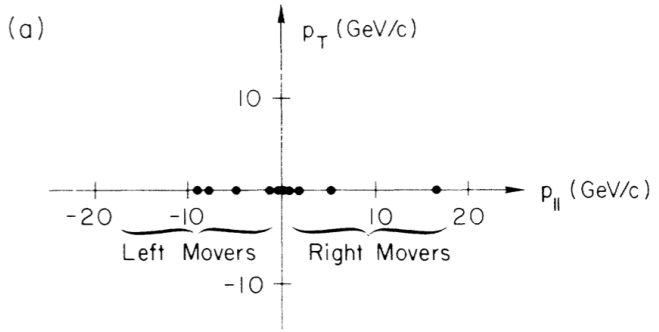
J. Bjorken 2015 EPS prize

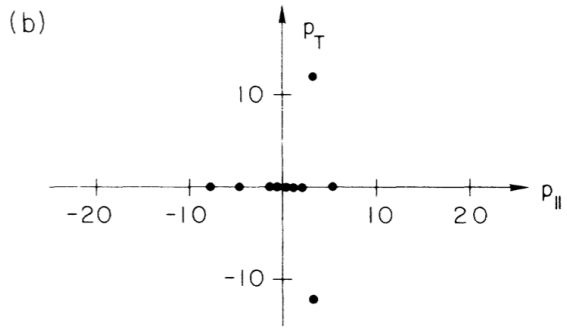
BBK, Phys. Rev. D4 (1971) 3388



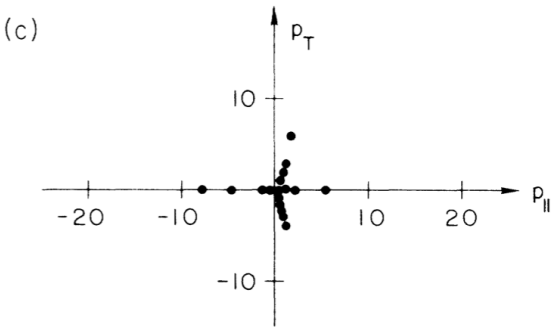


"The electromagnetic process must be present…"





"Hard hadron-hadron collisions…"



"We speculate on the possibility of **strong, nonelectromagnetic** deep-inelastic processes…"

CERN Intersecting Storage Rings, ISR

Le premier collisionneur hadronique proton-proton, approuvé en 1965. Premières collisions en Janv. 1971.

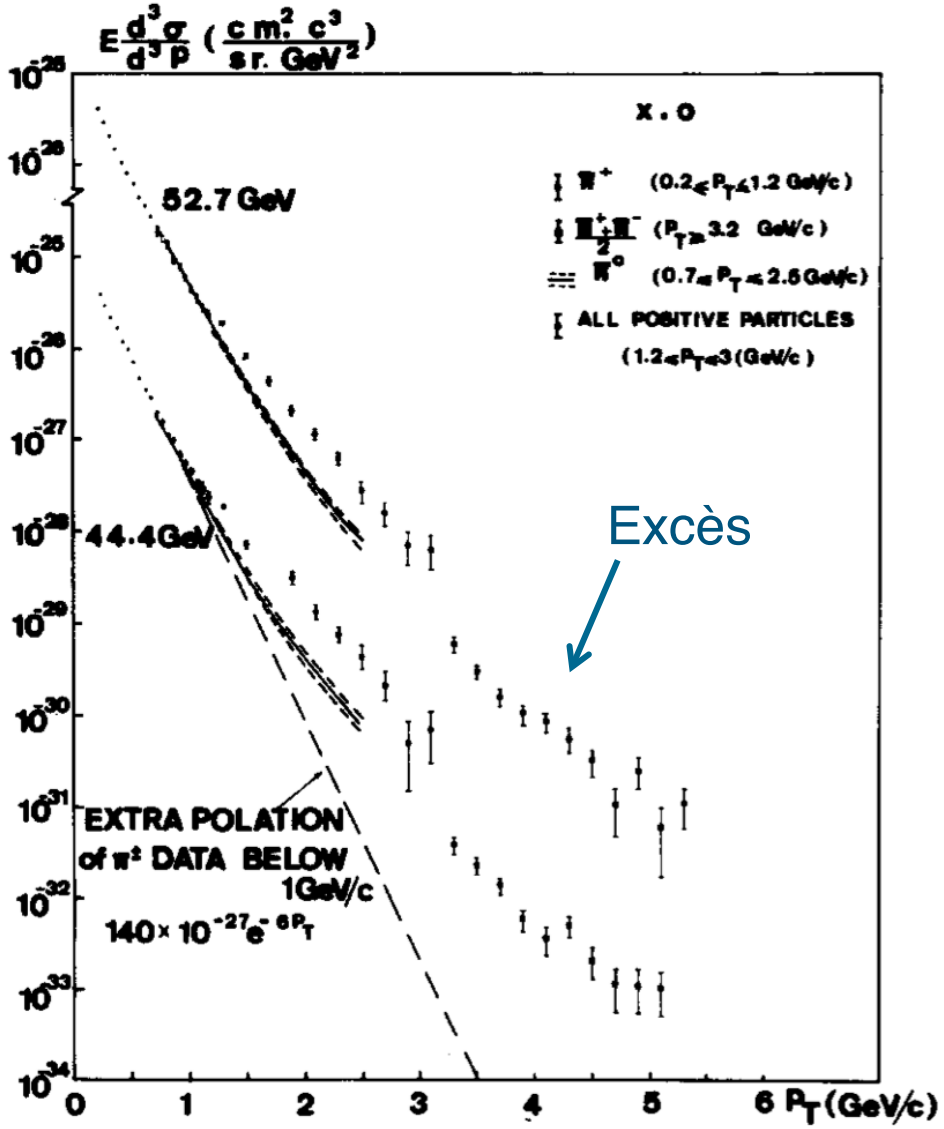
$\sqrt{s}$ = 23, 30, 44, 53, 62 GeV, L~ $10^{31}cm^{-2}s^{-1}$

Les prédictions de BBK se sont trouvées réalisées dès 1973 aux ISR du CERN.

Trois collaborations (BS, SS, CCR) avaient installé des spectromètres à 90 degrés par rapport à la ligne de collision proton-proton. Toutes les trois ont observé un excès de production à grand moment transverse, suggérant des collisions dures entre partons à la BBK.

Après SLAC, suivant le conseil amical de Dick Taylor, je décidais d'aller au CERN pour participer à la physique des ISR.

SS (1973)
M. Banner et al.



Moment transverse, p_T (GeV)

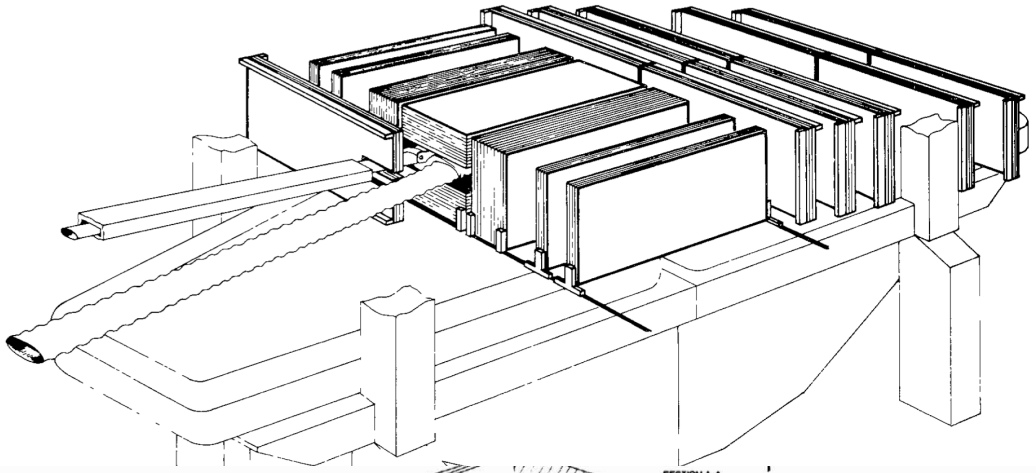
Une “chambre à bulle électronique” pour le SFM aux ISR

PROPORTIONAL CHAMBERS FOR A 50 000-WIRE DETECTOR

NIM, 1974

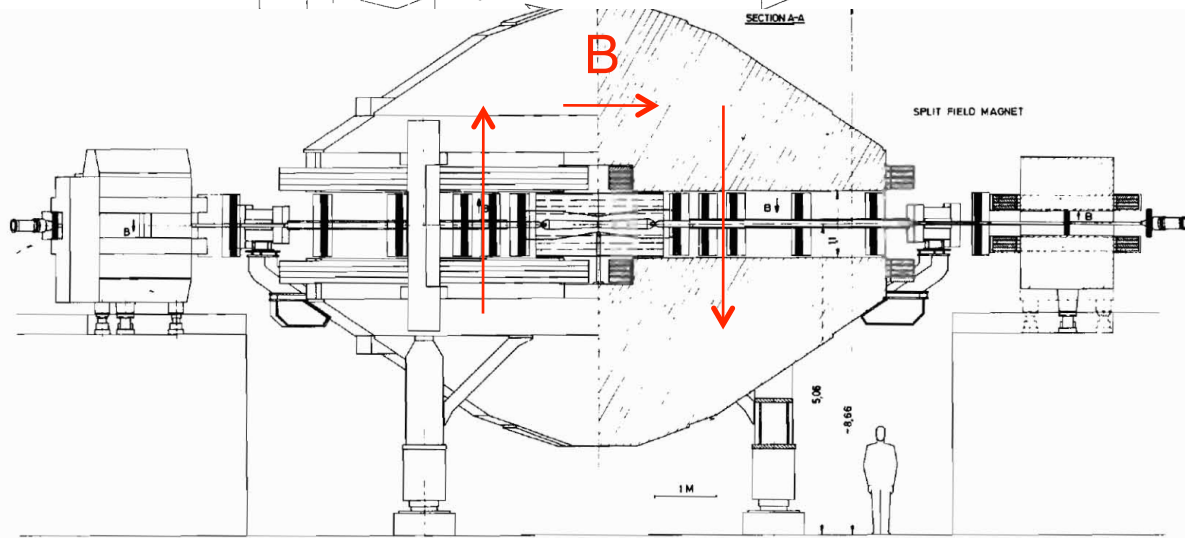
R. BOUCLIER, G. CHARPAK, E. CHESI, L. DUMPS, H. G FISCHER, H. J. HILKE, P G. INNOCENTI, G. MAURIN, A MINTEN, L. NAUMANN, F PIUZ, J. C SANTIARD and O ULLALAND*

CERN, Geneva, Switzerland





G. Charpak (Nobel 1992)



Split Field Magnet (SFM)

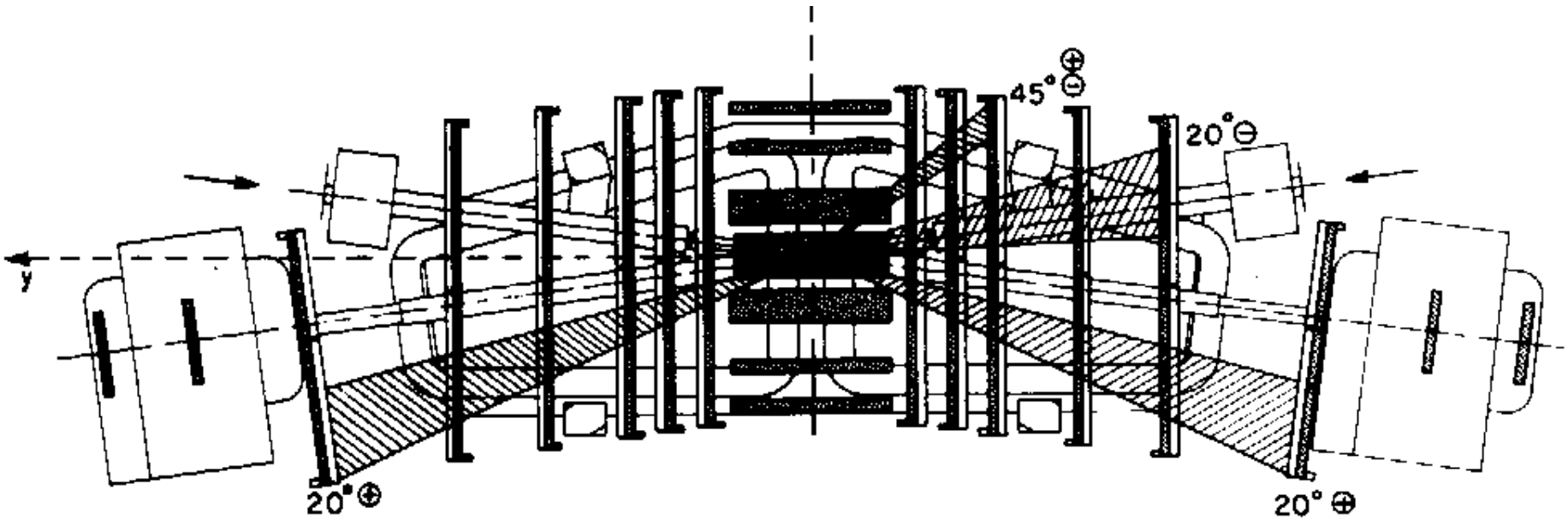
De retour en Europe en 1973, je décidais de joindre le groupe SFMD comme visiteur du CdF. Marcel Froissart avait repris la chaire et le laboratoire de LLR au CdF.

La collaboration CCHK , SFM ISR(1973-1977)

Une collaboration CERN-Collège de France-Heidelberg-Karlsruhe (CCHK) s'est formée proposant d'étudier pour la première fois la structure des évènements contenant une particule à grand p_T émise à 20^0 ou 45^0 . Allions-nous observer les jets de parton à la BBK?

CERN-Collège de France-Heidelberg-Karlsruhe (CCHK) Collaboration

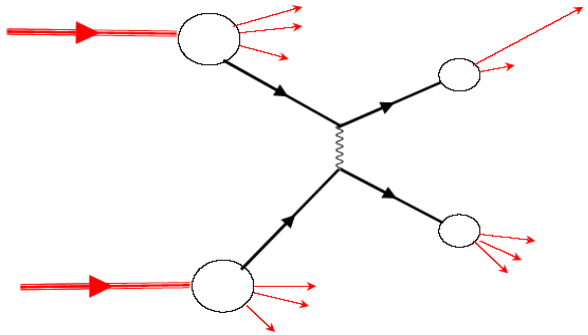
M. DELLA NEGRA [1], D. DRIJARD, H.G. FISCHER [2],
G. FONTAINE, H. FREHSE, P. FRENKIEL, C. GHESQUIÈRE,
R GOKIELI [3], P. HANKE, W. HOFMANN, P G. INNOCENTI,
W. ISENBECK, E.E. KLUGE, V. KORBEL [4], D. LINGLIN [1],
A MINTEN, A. NORTON, A. PUTZER, G. SAJOT, R. SOSNOWSKI [5],
S. STEIN, J. STIEWE, H.D. WAHL and D WEGENER



CCHK, NP B127 (1977)1

OBSERVATION OF JET STRUCTURE IN HIGH p_T EVENTS AT THE ISR AND THE IMPORTANCE OF PARTON TRANSVERSE MOMENTUM

Bien avant ISAJET et PYTHIA, D. Drijard et G. Fischer ont écrit le premier générateur MONTE CARLO d'évènements à grand p_T résultant de collisions dures entre partons avec échange d'un gluon vecteur. Un ingrédient essentiel était de donner aux partons incidents un petit moment transverse. D'où le titre du papier. Les corrélations observées entre particules de grand p_T dans un même évènement étaient celles attendues pour une structure à deux jets. En plus le moment transverse des partons donnait une dépendance approchée en p_T^{-8} pour les distributions inclusives de hadrons en accord avec les observations des ISR (BS, SS et CCR).



Jet côté trigger, biaisé par la demande $p_T > 2$ GeV

Jet opposé non biaisé

- Les jets sont présents, mais ils ne sont pas réellement visibles évènement par évènement.
- Pour "voir" ces jets, il faudrait des p_T beaucoup plus grands et donc un collisionneur à plus haute énergie.
- Un trigger calorimétrique serait préférable pour éviter le biais du trigger sur une seule particule à grand p_T.

UA1 (1977-1989)

En 1976 Carlo Rubbia faisait remarquer que le SPS pouvait être transformé en un collisionneur proton-antiproton capable d'atteindre une énergie dans le centre de masse de 2x270 GeV et une luminosité de ~ $10^{30}cm^{-2}s^{-1}$.

Cela souleva un intérêt considérable dans la communauté car l'observation directe des bosons intermédiaires W et Z devenait possible.

Trois groupes de travail se sont mis en place:

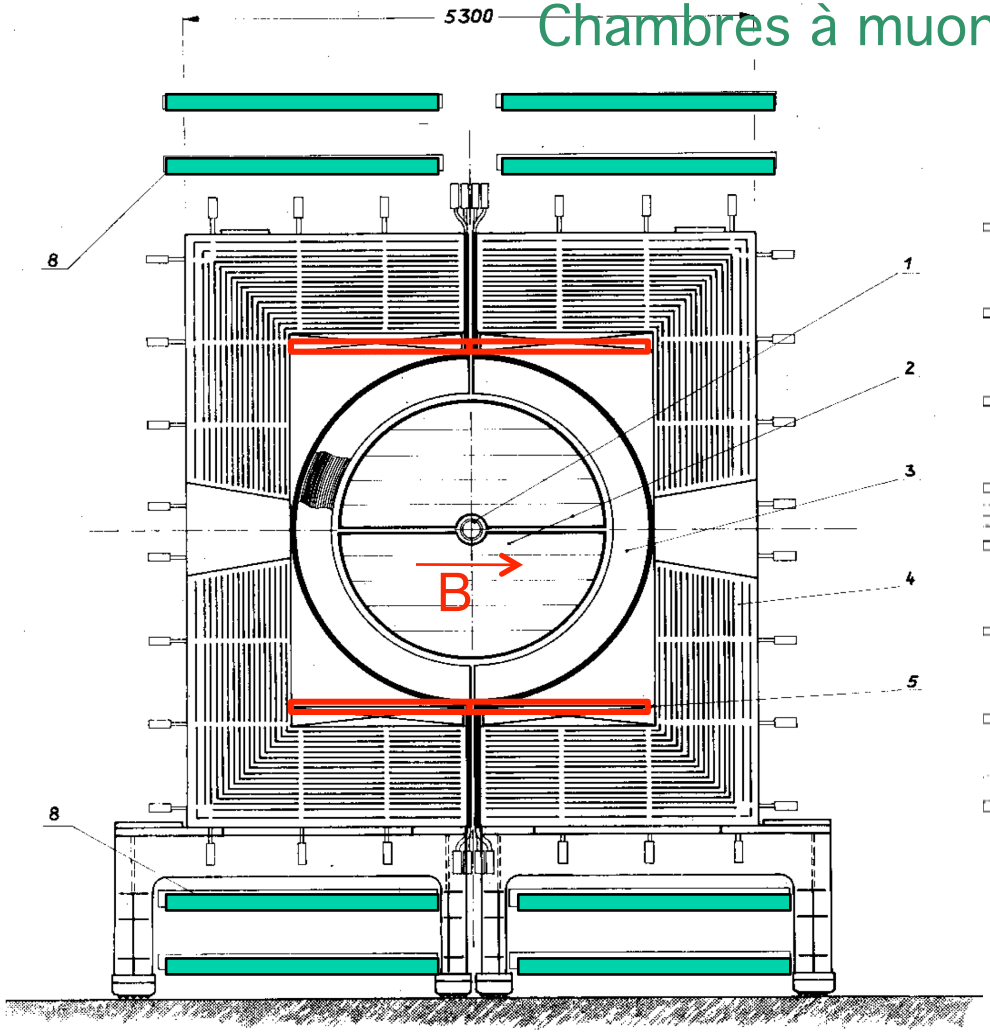
1) la source antiproton
2) Initial cooling experiment (ICE): Simon van der Meer
3) Un grand détecteur d'usage général: Carlo Rubbia

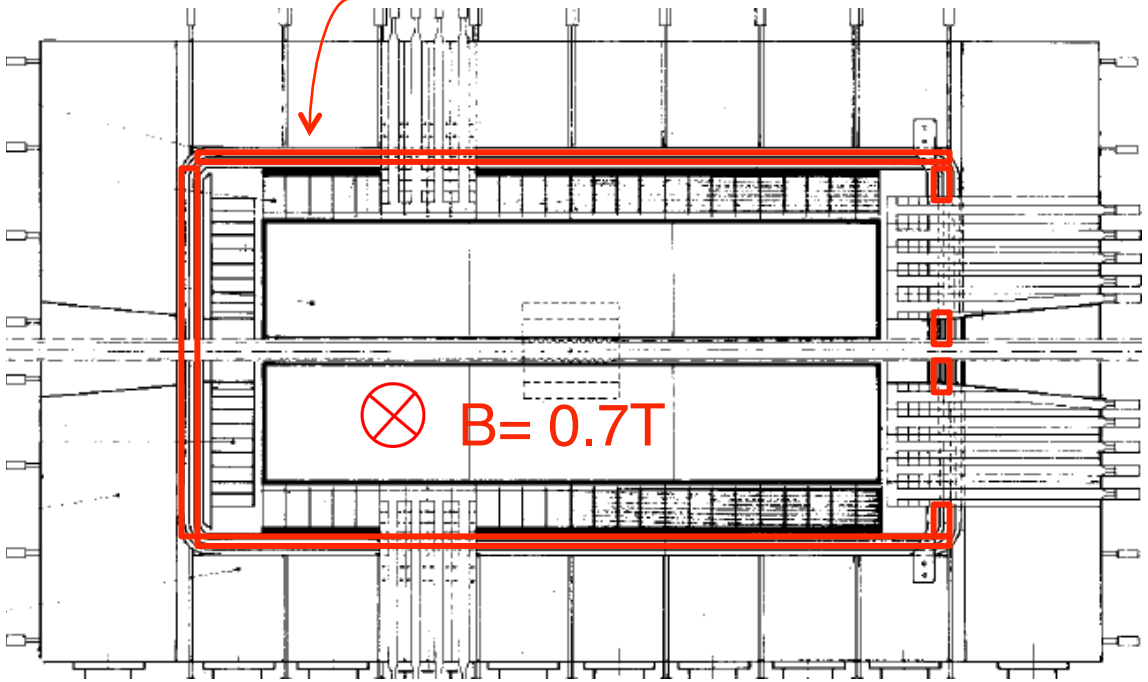
En 1977 je rejoignais le LAPP, un nouveau laboratoire créé par Marcel Vivargent à Annecy. Avec B. Aubert, J. Colas, D. Linglin et d'autres nous avons formé un groupe ayant pour but de collaborer avec Carlo sur la conception du meilleur détecteur possible.

Mes anciens collègues du CdF étaient aussi impliqués: L. Dobrzynski, G. Fontaine, C. Ghesquière.

UA1 Design (1977)

Le groupe de conception (environ 25 physiciens) dirigé par Carlo se réunît pendant 6 mois environ. Le but était de soumettre une proposition en Janvier 1978. Environ 50 notes p pbar ont été produites. Dès Noël le dessin d'un détecteur 4π était terminé.





Détecteur central: grande chambre à dérive
Détecteur e/γ à l'intérieur de la bobine
Calorimètre "Hermétique"

UA1 Proposal (1978)

A 4π SOLID ANGLE DETECTOR FOR THE SPS USED AS A PROTON-ANTIPROTON COLLIDER AT A CENTRE OF MASS ENERGY OF 540 GeV

CERN/SPSC/78-06
SPSC/P92
30 January 1978

A. Astbury[8], B. Aubert[2], A. Benvenuti[4], D. Bugg[6], A. Bussière[2], Ph. Catz[2], S. Cittolin[4], D. Cline*)[4], M. Corden[3], J. Colas[2], M. Della Negra[2], L. Dobrzynski[5], J. Dowell[3], K. Eggert[1], E. Eisenhandler[6], B. Equer[5], H. Faissner[1], G. Fontaine[5], S.Y. Fung[7], J. Garvey[3], C. Ghesquière[5], W.R. Gibson[6], A. Grant[4], T. Hansl[1], H. Hoffmann[4], R.J. Homer[3], M. Jobes[3], P. Kalmus[6], I. Kenyon[3], A. Kernan[7], F. Lacava**)[4], J.Ph. Laugier[9], A. Leveque[9], D. Linglin[2], J. Mallet[9], T. McMahon[3], F. Muller[4], A. Norton[4], R.T. Poe[7], E. Radermacher[1], H. Reithler[1], A. Robertson[8], C. Rubbia†)[4], B. Sadoulet[4], G. Salvini**)[4], T. Shah[8], C. Sutton[8], M. Spiro[9], K. Sumorok[3], P. Watkins[3], J. Wilson[3], R. Wilson***)[4]

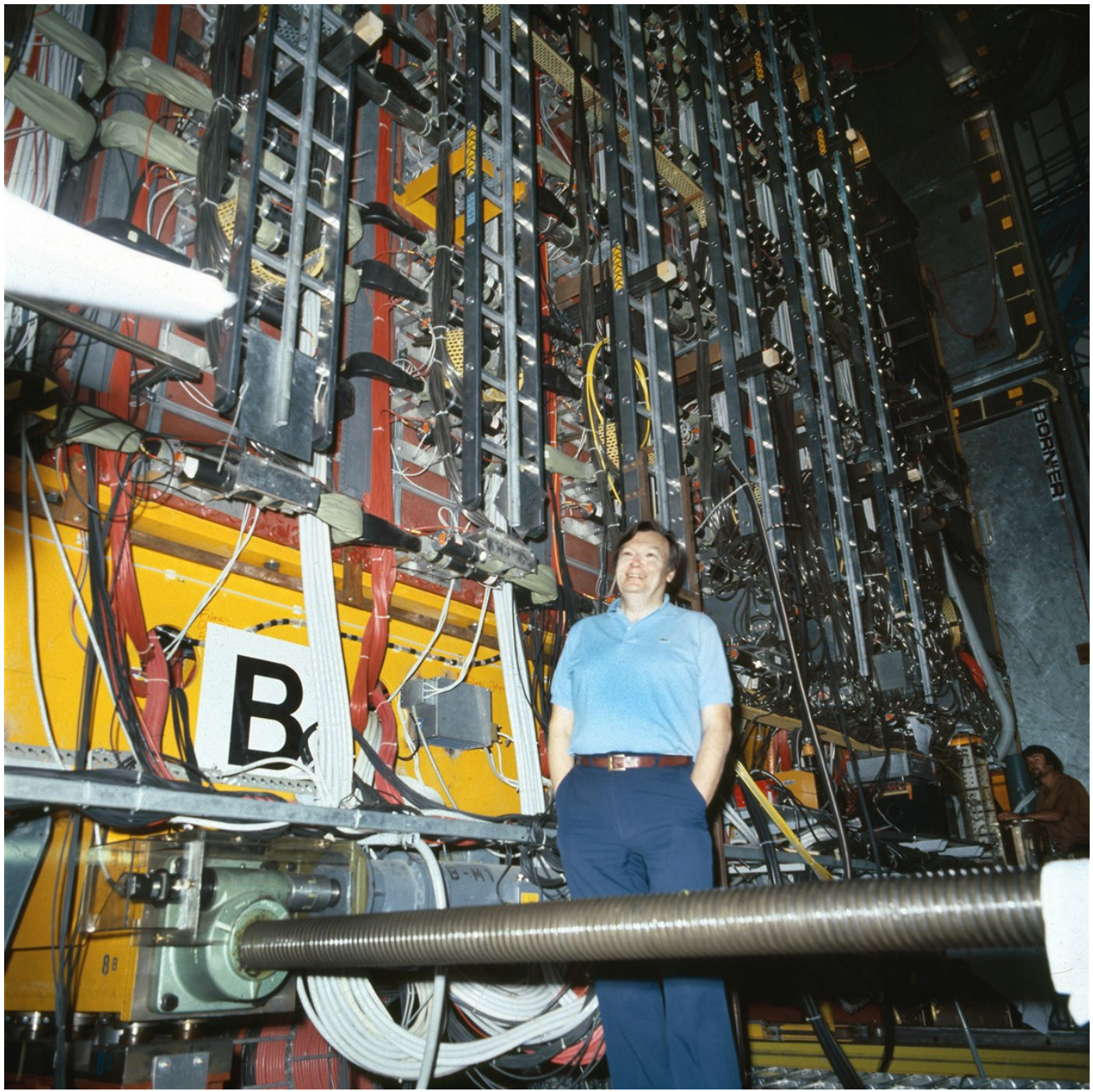
(Aachen-Annecy-Birmingham-CERN-College de France-Queen Mary College-Riverside-Rutherford-Saclay Collaboration)

52 auteurs,
9 laboratoires

- CERN: Aimant, détecteur central, acquisition des données
- France(Saclay, LAPP, CdF): Détecteur e/gamma (gondoles et Bouchons) et calorimètre vers l'avant
- UK(Rutherford, QMC, Birmingham): Calorimètre hadronique et trigger
- Allemagne (Aachen): Chambres à muons

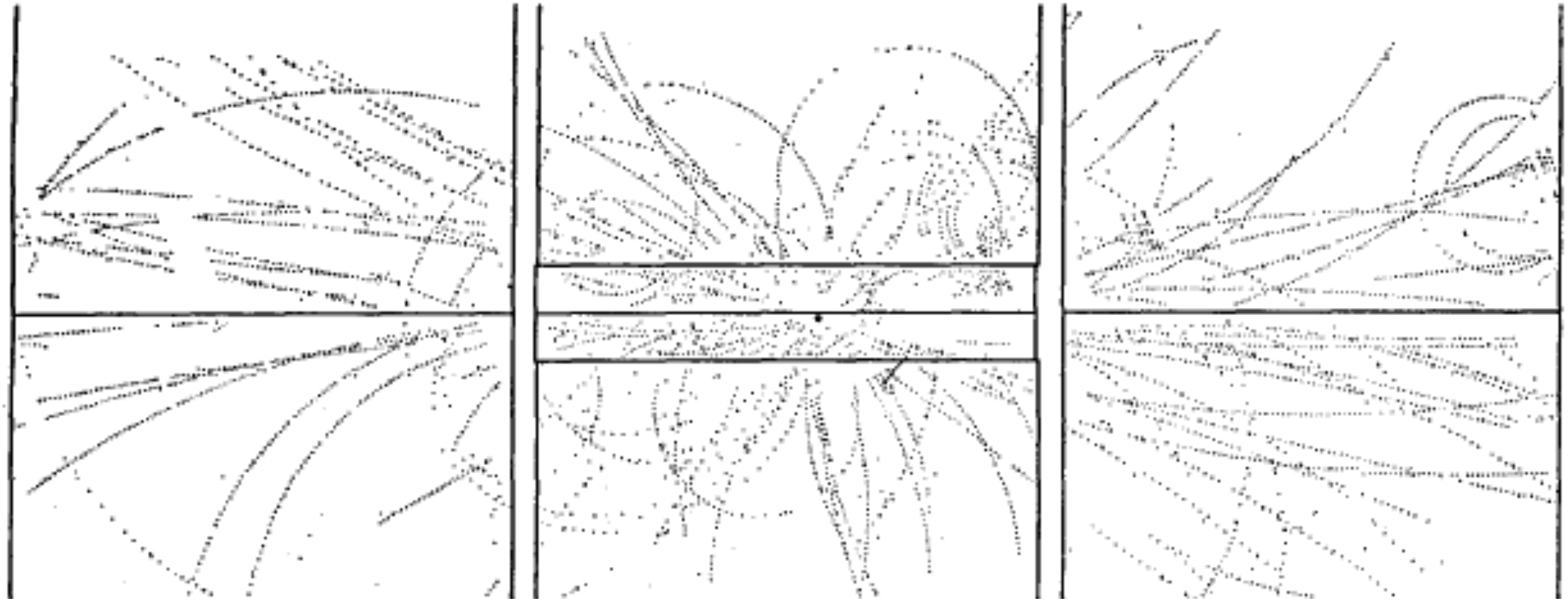
Le Détecteur UA1 (1981)

UA1 était construit en moins de 4 ans!



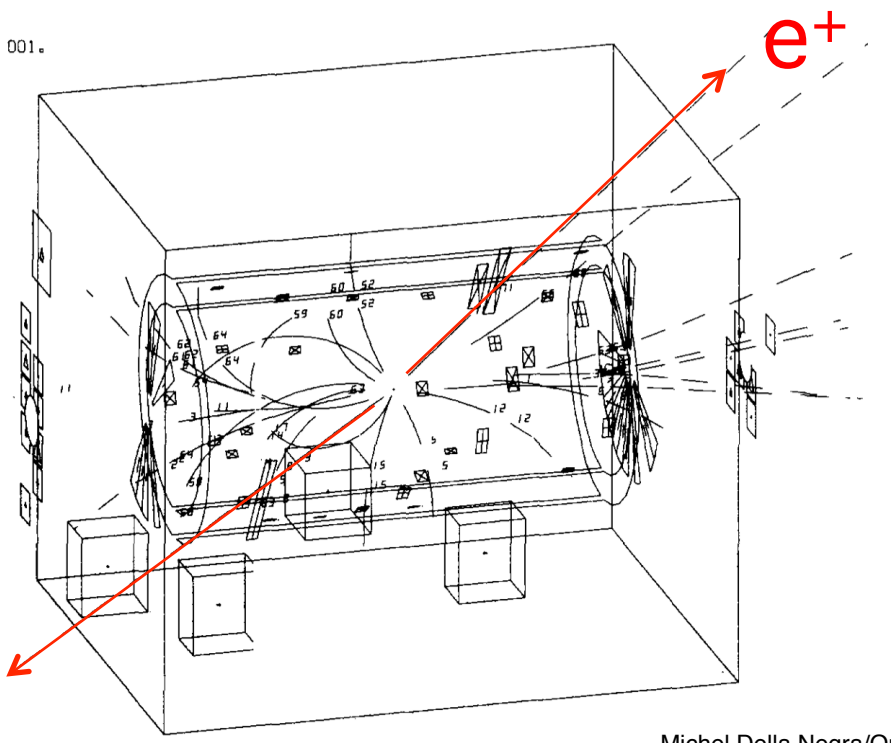
Premières collisions à 540 GeV observées en Oct. 1981!

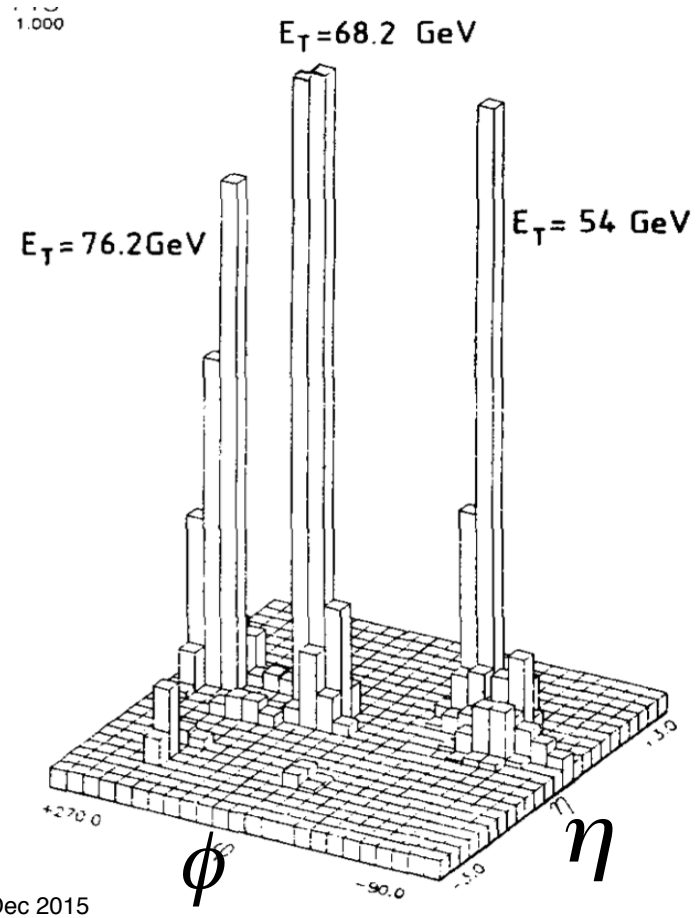
J'ai eu l'honneur de présenter pour UA1 les premières observations dans l'auditorium principal du CERN en Décembre 1981. La chambre à streamer UA5 présentait également ses premiers résultats. La chambre à streamer d'UA5 était installée dans la caverne d'UA2. L'installation d'UA2 avait été retardée, jusqu'à ce que UA5 finisse de prendre ses photos des premières collisions. Le détecteur central d'UA1 était une véritable merveille délivrant des "photographies numérisées" de la qualité d'une photo de chambre à bulle.



Le plaisir de développer de nouveaux outils de physique

- Calorimètres finement segmentés, mesure des flux d'énergie
- Vecteurs énergie, énergie transverse manquante.
- Algorithmes de reconstruction des jets: cônes en $\Delta R = \left(\Delta\eta^2 + \Delta\phi^2\right)^{1/2} = 0.5$
- L'identification des électrons en combinant la reconstruction des traces dans le détecteur central avec les dépôts dans les calorimètres. Le développement de variables d'isolation pour éliminer les jets simulant des électrons.
- L'identification des muons dans les jets.
- Le "Megatek" permettant de visualiser en 3D les évènements intéressants





Résultats spectaculaires



Carlo Rubbia



Simon van der Meer

La découverte des bosons intermédiaires W et Z en 1983, confirmée par UA2, a donné le prix Nobel en 1984 à Carlo et Simon.

En plus des bosons W et Z une collection impressionnante de résultats jetant les base du "modèle standard"

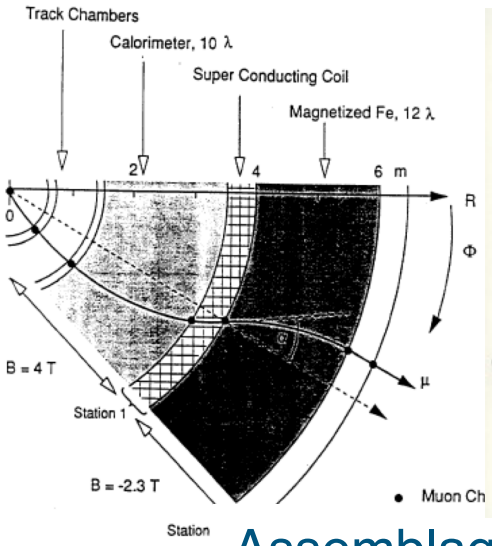
-La physique des jets et les tests expérimentaux de QCD: Distribution angulaire, distribution en p_T, production de 3 jets.

-La physique du quark b avec les muons dans les jets: la première évidence de $B^0\overline{B}^0 mixing$, la production différentielle de quark b prédite par QCD, avec le gluon splitting $g \rightarrow b\overline{b}$

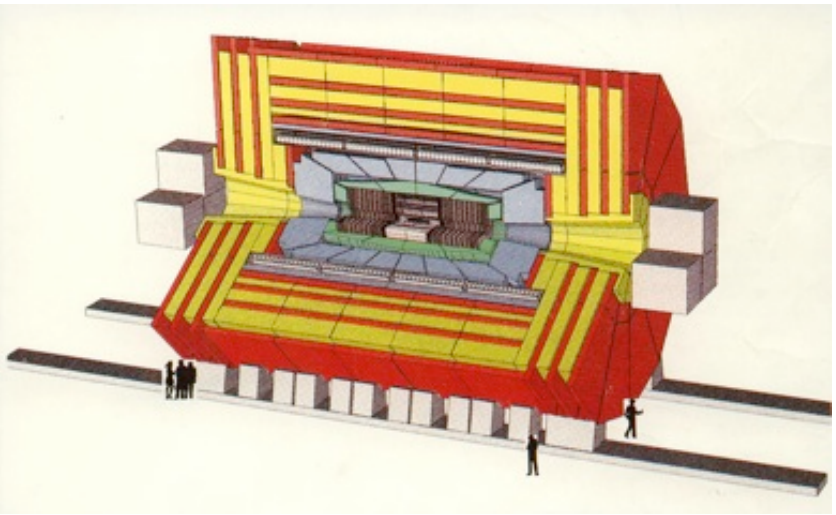
Merci du fond du cœur à Carlo et Simon pour cette incroyable aventure en physique!

CMS 1990-2015: 25 années inoubliables!

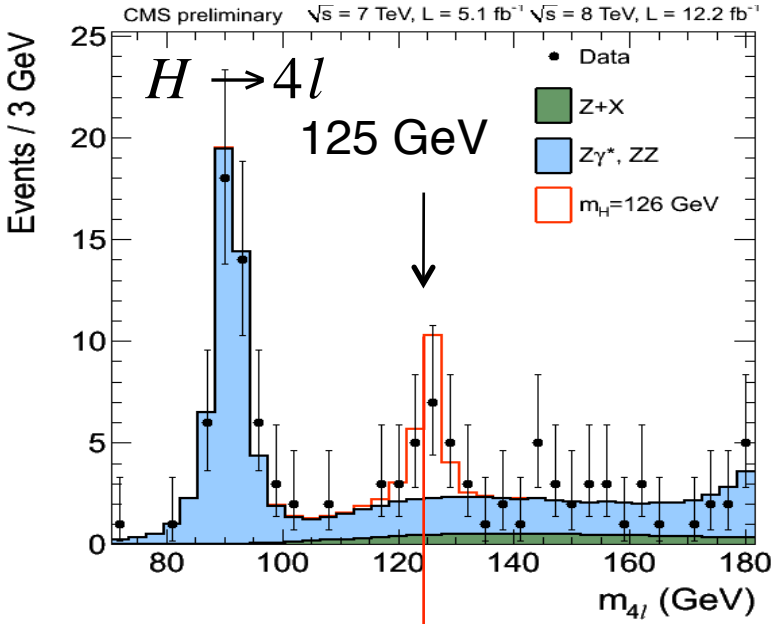
Aachen 1990



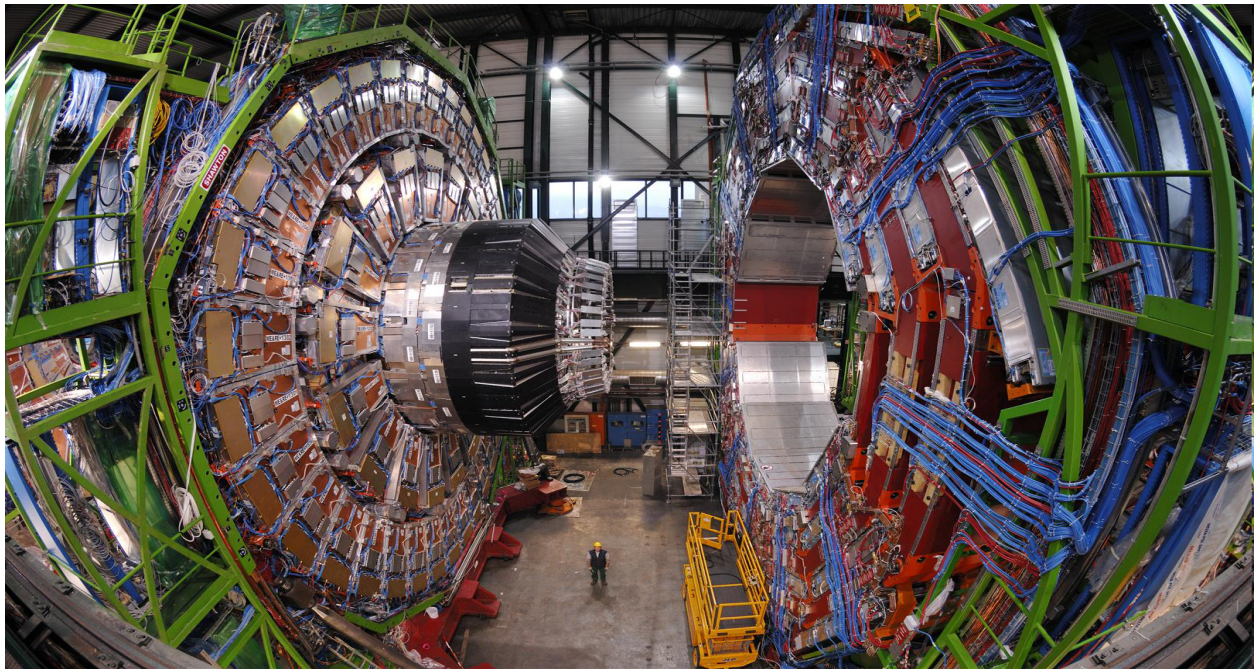
Lettre d'intention 1992

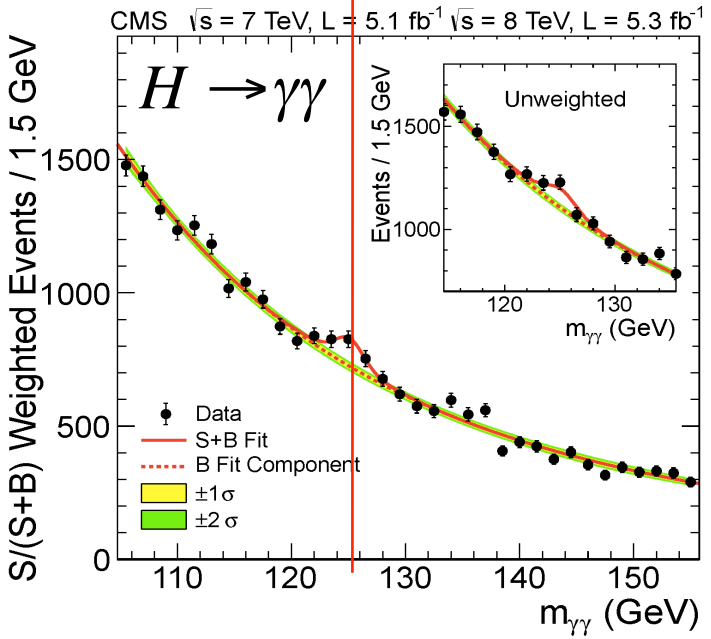


La découverte du Higgs en 2012



Assemblage de CMS en surface 2006





Le projet CMS

Le succès du projet CMS n'aurait pas été possible sans:

- Le support du CERN, des états membres et de toutes les agences de financement.
- L'enthousiasme de toute une collaboration, qui comprend à ce jour 3500 personnes, techniciens, ingénieurs, physiciens, incluant 850 étudiants préparant une thèse, venant de 182 laboratoires et 42 nations différentes.
- En particulier je voudrais souligner la contribution française fondamentale à travers l'IN2P3 et le CEA de Saclay à la construction puis à l'exploitation du calorimètre à cristaux (LLR Paris, IPN Lyon, Saclay) et du détecteur central tout silicium (IPN Lyon, Strasbourg).

Finalement je voudrais remercier tout particulièrement quelques personnes pour leur contribution remarquable à CMS

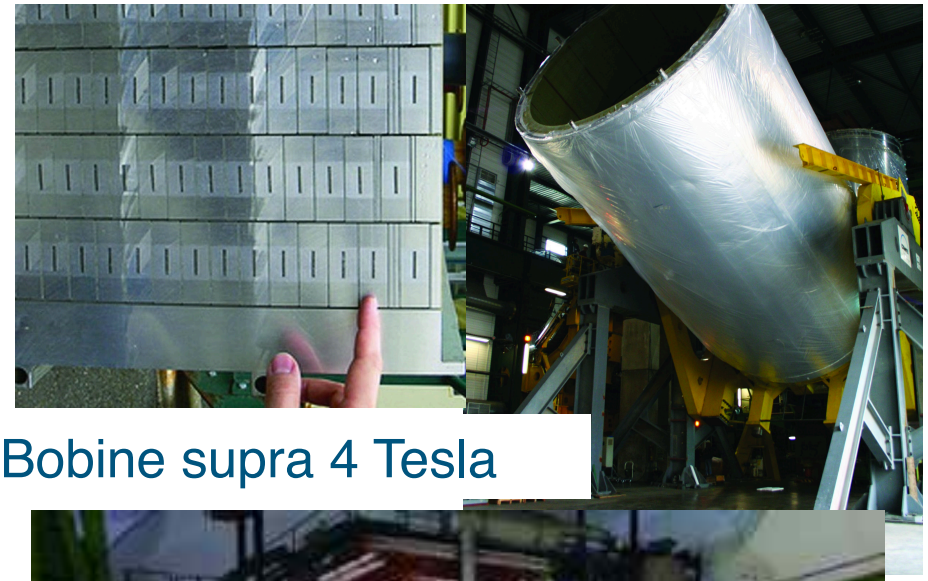
Jim Virdee

Jim et moi avons travaillé sur CMS depuis le début. Depuis la lettre d'intention en 1992 jusqu'à la fin de la construction en 2006 nous avons surmonté ensemble tous les obstacles pendant 14 ans.
Jim avait un intérêt particulier pour équiper CMS d'un détecteur de photons de haute précision optimisé pour la découverte du Higgs en deux photons. Notre choix s'est porté sur un calorimètre ambitieux à cristaux de tungstate de plomb ($PbWO_4$).
Une des responsabilités de Jim a été de suivre pendant 10 ans la production des 80,000 cristaux de tungstate de plomb dans une usine située au nord de Moscou à Bogoroditsk, à raison de 1200 cristaux par mois. le dernier cristal a été délivré le 3 Mars 2008.
Jim a pris le relai comme "spokesman" de CMS de 2007 à 2009.



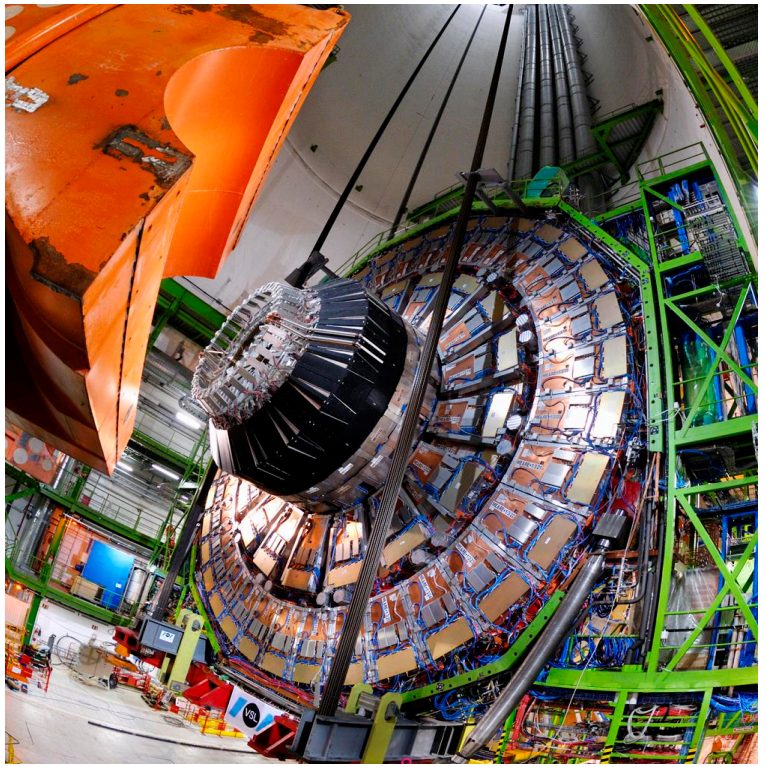
Alain Hervé: coordinateur technique et responsable de l'aimant (1990-2006)

Direction d'un bureau de dessinateurs et d'ingénieurs, responsable de l'intégration au CERN des différents morceaux de détecteur construits dans les différents laboratoires de la Collaboration.



Bobine supra 4 Tesla





Descente des modules de CMS en 2007.

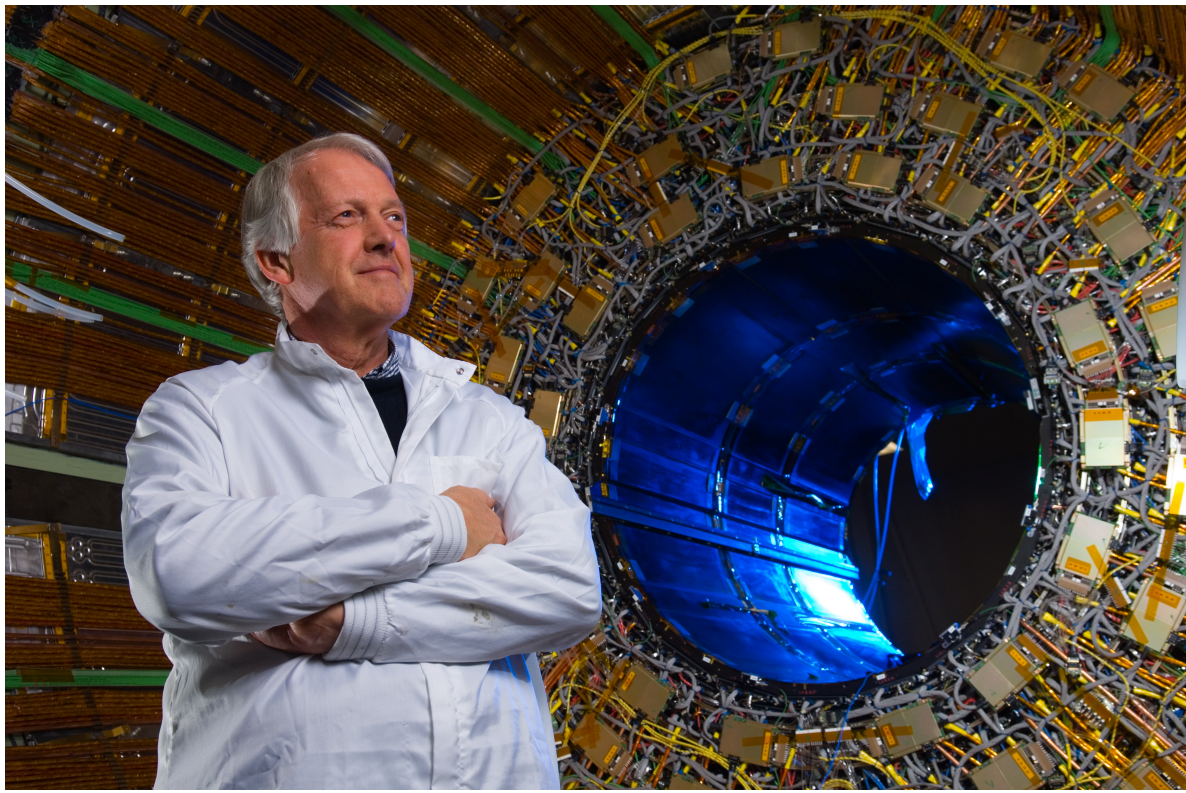


Découpage de CMS en 15 modules indépendants. Ce découpage modulaire a permis d'assembler CMS et de tester l'aimant en surface en 2006, en attendant que la caverne souterraine soit prête.

M

Peter Sharp

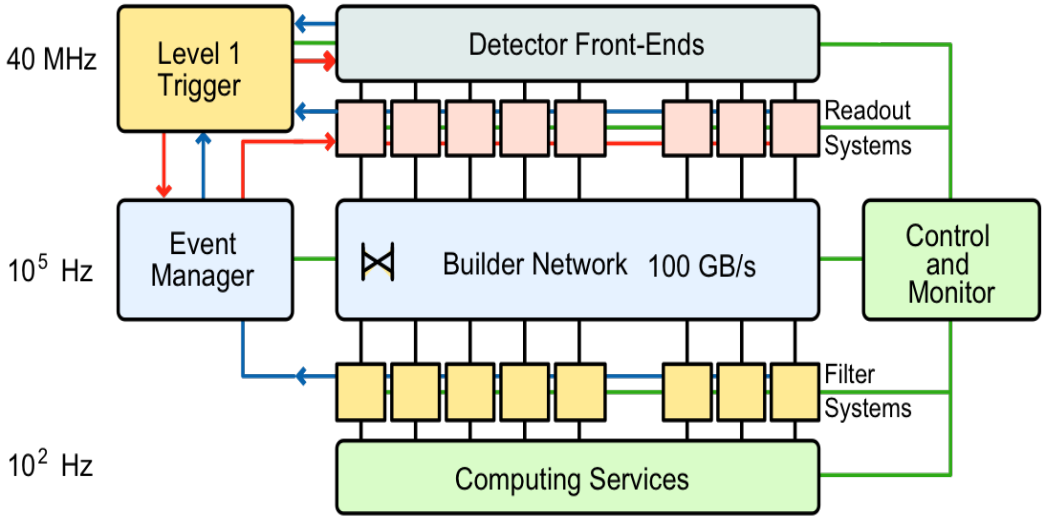
Peter Sharp a commencé comme coordinateur de l'électronique dans CMS. Nous lui devons le développement d'une électronique durcie résistante aux radiations basé sur une technologie industrielle 0.25 microns et aussi la redéfinition de l'électronique frontale du calorimètre à cristaux, basée sur cette technologie 0.25 microns.



Puis Peter a été nommé chef du projet détecteur central de traces tout silicium pour la phase finale d'intégration au CERN, le test complet en surface avec des cosmiques, puis l'installation dans la caverne.

Malheureusement Peter nous a quitté en 2011. Peter était un "manager" exceptionnel pour qui rien n'était impossible. C'était aussi une personnalité très attachante mélangeant charme, intégrité et générosité. Peter nous manque énormément

Sergio Cittolin



Architecture du système DAQ de CMS



L'acquisition des données au LHC est une tâche formidable. Il faut analyser les millions de signaux venant du détecteur 40 millions de fois par seconde pour n'enregistrer de manière permanente qu'une centaine d'évènements par seconde correspondant à des collisions dures à grand moment transverse. Dès 1992 Sergio proposait une architecture très simple avec seulement deux niveaux de décision.
Son pari était que dans les dix années à venir, l'industrie des télécommunication développerait les composantes nécessaires pour le transport des données au taux de 100 Gigaoctets par seconde. De plus la loi de Moore (la performance des microprocesseurs double tous les 18 mois), prédisait qu'une ferme de 1000 processeurs du commerce travaillant en parallèle suffirait pour le deuxième niveau de sélection à 100 évènement par seconde. Merci Sergio pour ce pari brillamment réussi.

LHC, CMS et ATLAS



La conception et le succès du LHC:
Lyn Evans



Peter Jenni et la collaboration ATLAS : une compétition amicale

Combined Measurement of the Higgs Boson Mass in pp Collisions at √s= 7 and 8 TeV with the ATLAS and CMS Experiments
Physical Review Letters 114, 191803 (2015)

mH = 125.09 ± 0.24 GeV

Merci

Je suis très touché et reconnaissant au jury du prix Lagarrigue pour m'avoir décerné ce prix prestigieux.
Je remercie Achille Stocchi et le comité local pour l'organisation de cette cérémonie au LAL.
Je remercie la société française de physique représentée par Mr Alain Fontaine.
Avant tout je voudrais remercier tous les précédents orateurs, qui ont su trouver le temps dans leur agenda très chargé et qui ont accepté de venir évoquer tous les épisodes passionnants de physique que nous avons vécu ensemble.
Finalement je voudrais remercier mes amis pour leur présence à cette cérémonie, ma famille et tout particulièrement ma femme Catherine pour son soutien durant toutes ces années.