

Le dernier anneau?

L'histoire des machines à collision de faisceau pour la physique des hautes énergies vue par John Rees, directeur du projet de collisionneur linéaire de Stanford. Cette machine, actuellement en construction, est la première grande installation à collisions de faisceaux qui ait abandonné la solution des anneaux.

C'est au CERN qu'on construit actuellement le plus grand de tous les anneaux de stockage à collisions de faisceaux, le LEP. Le super-collisionneur supraconducteur américain en projet aux Etats-Unis (SSC, voir p. 12) exigerait un anneau trois fois plus grand que celui de LEP. Parallèlement, les collisionneurs linéaires comme la machine en construction à Stanford sont présentés comme la solution de l'avenir. Si les collisionneurs linéaires prennent la relève, l'histoire de la conception et de la construction des anneaux de stockage à faisceaux en collision aura duré au total un peu plus de trois décennies.

Après l'invention de la technique des gradients alternés pour les synchrotrons au début des années 50, l'intensité des faisceaux des premiers synchrotrons cycliques construits selon cette méthode était limitée, parce que les particules ne pouvaient être injectées que pendant un court instant en début de cycle. Les machines à champ fixe (à courant continu) d'un type qui a été mis au point pour la première fois par les spécialistes de la Midwestern Universities Research Association (MURA), initialement sous la direction de Donald Kerst, ont permis de s'affranchir de cette limitation. Comme le principal avantage recherché était l'augmentation de l'intensité, les gens de la MURA ont employé leurs efforts à faire progresser les

techniques dont on disposait à cette époque pour l'accumulation des particules dans les machines.

Dans leurs études, Kerst et ses collègues de la MURA avaient pris conscience qu'avec les techniques d'accumulation ils pouvaient espérer atteindre des densités de faisceau suffisantes pour faire des expériences de collision et, à la Conférence internationale sur les accélérateurs organisée au CERN en 1956, Kerst faisait la première proposition de construction d'un collisionneur constitué d'une paire d'accélérateurs dont les faisceaux se heurteraient de plein fouet.

Si la MURA était le centre le plus actif, ce n'était pas le seul où des systèmes à collisions de faisceaux étaient étudiés. A cette même conférence du CERN, Gerry O'Neill (Princeton) avait fait lui aussi une communication sur des anneaux de stockage, dans laquelle il suggérait que le problème des faisceaux en collision ne devait pas nécessairement être abordé par la technique des accélérateurs projetant des faisceaux l'un contre l'autre, mais plutôt par celle d'anneaux de stockage séparés des accélérateurs qui les alimenteraient. En d'autres termes, des accélérateurs de toutes catégories pourraient être employés pour alimenter en particules deux anneaux de stockage statique où ces particules seraient accumulées et entreraient en collision.

La machine à protons de haute énergie proposée par la MURA n'a cependant jamais été construite et on ne tarda pas à s'intéresser à des collisionneurs employant des électrons, particules avec lesquelles l'accumulation est plus facile. Ce qu'il fallait, c'était une source d'électrons.

C'est alors que Stanford entra en scène. Avec son accélérateur linéaire MARK III, le Laboratoire de physique des hautes énergies de Stanford disposait d'une source idéale, si bien que O'Neill vint à Stanford avec Bernie Gittelman,

John Rees, propagandiste des collisionneurs linéaires.

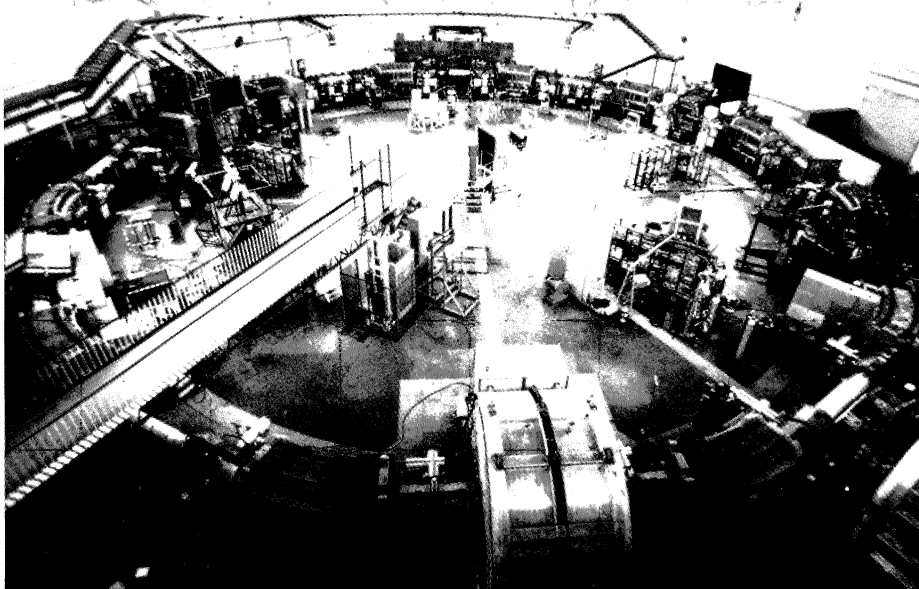


son élève, pour discuter de ces idées avec Pief Panofsky, Burt Richter et Carl Barber. L'expérience de collision de faisceaux de Princeton et Stanford fut proposée en 1958 et le travail commença la même année. On avait prévu une énergie du faisceau de 500 MeV; les anneaux avaient un rayon d'environ 1,4 mètre et fonctionnaient selon le principe de la focalisation faible.

A la même époque, l'Institut de physique nucléaire dirigé par Gersh Budker à Novosibirsk avait commencé à travailler sur une paire d'anneaux appelés VEP-1, destinés à produire des collisions d'électrons de 140 MeV.

Les scientifiques du laboratoire italien de Frascati avaient adopté, quant à eux, une approche légèrement différente. Bruno Touschek envisageait de placer un faisceau d'électrons et un faisceau de positons dans un seul et même anneau de stockage, ce qui présentait des avantages, non seulement sur le plan économique mais aussi pour la physique. Cette idée suscita un très grand enthousiasme et, en 1960, deux ans à peine après la proposition de Princeton et Stanford, l'équipe de Frascati proposa de construire une première machine de dimensions modestes, appelée ADA. Elle était destinée à prouver la viabilité de cette conception et devait être suivie par une machine bien plus importante.

ADA était une machine de 250 MeV, à focalisation faible,



Le collisionneur électron-positon ADONE de Frascati (Italie) : un exemple de la deuxième génération d'anneaux de stockage qui a donné quelques solides résultats.

En bas :

Une expérience aux anneaux de stockage à intersections du CERN, le seul collisionneur proton-proton construit à ce jour.

(Photo CERN 326.11.77)

avec un rayon de 60 centimètres seulement. Mais l'équipe avait souligné dès l'abord la nécessité de construire une machine plus importante, immédiatement baptisée ADONE (c'est-à-dire « la grande ADA » en italien), dotée si possible d'une énergie de 1,5 GeV. Ainsi, dans la période de quatre ans allant de 1956 à 1960, la première génération d'anneaux de stockage à collisions de faisceaux avait véritablement pris son essor, tandis que les protons disparaissaient temporairement de la scène.

Les constructeurs de ces machines de la première génération se sont heurtés aux problèmes que rencontrent tous les pionniers : les ennuis propres aux premières générations, les difficultés imprévues qui s'abattent sur les nouvelles machines et auxquelles les constructeurs doivent trouver des solutions — des solutions qui entrent alors dans l'héritage transmis à la génération suivante.

Après avoir surmonté une série d'obstacles techniques, les physiciens de Princeton et Stanford se sont heurtés à ce qui peut être considéré à juste titre comme la limite fondamentale, c'est-à-dire la limite faisceau-faisceau dans les anneaux de stockage à collisions. Ce phénomène s'est révélé insurmontable et il continue de limiter les performances.

ADA n'a jamais atteint la limite faisceau-faisceau, mais une limitation de base se manifesta en ce qui concerne la capacité de stockage à basse énergie, et ce fut tout d'abord le système d'injection de la machine qui restreignit ses possibilités. On installa ensuite un système plus perfectionné, mais la puissance du synchrotron de Frascati ne convenait pas, si bien que, pour finir, ADA fut installée à Orsay (France) et placée à l'ex-

trémité du linac de ce laboratoire. Elle permit alors d'accumuler une valeur de courant suffisante pour trouver une nouvelle limitation au comportement des anneaux de stockage (l'effet Touschek).

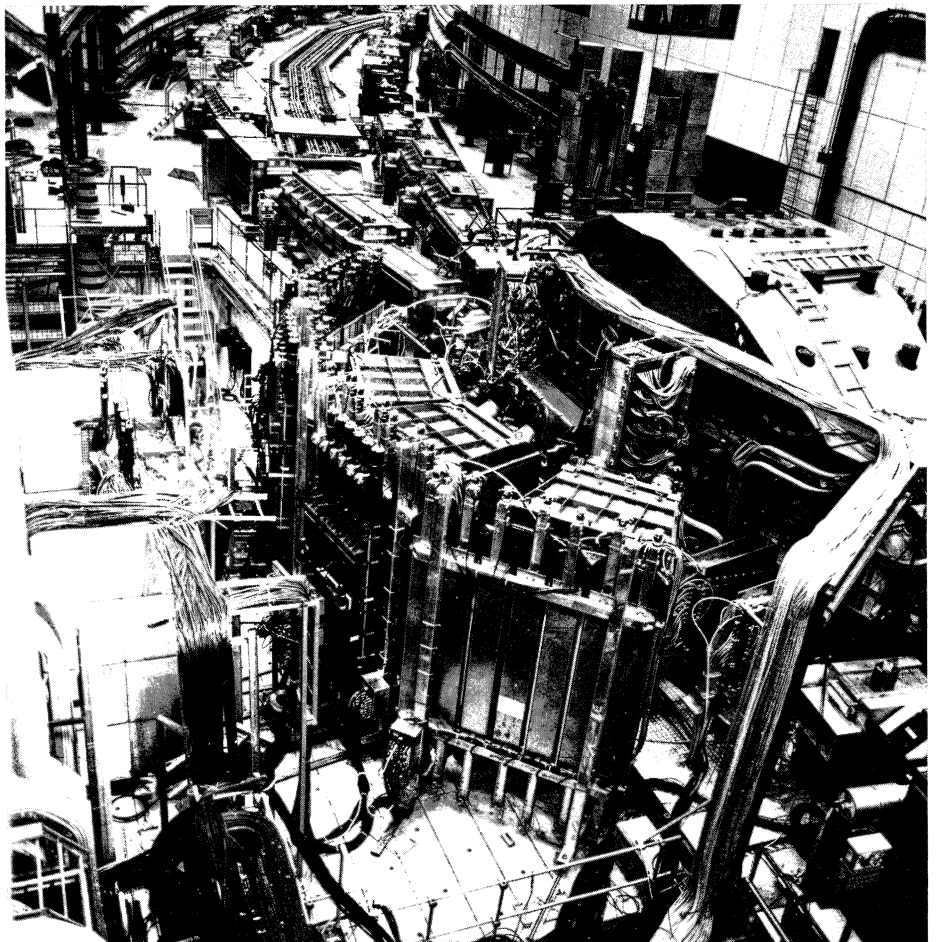
C'est en 1962 que commença la construction des machines de la seconde génération : ACO à Orsay, ADONE à Frascati et VEPP-2 à Novosibirsk.

ACO était conçue pour fonctionner avec des faisceaux dont l'énergie pouvait atteindre 500 MeV ; son rayon était de 3,5 mètres et elle employait la focalisation forte. ADONE était une machine à foca-

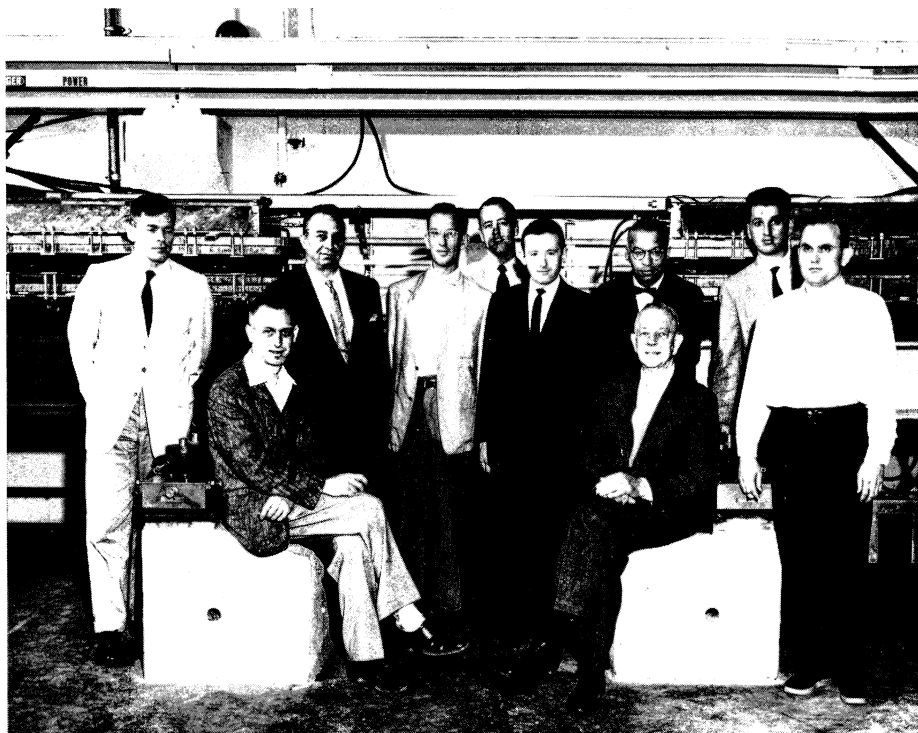
lisation forte plus grande, avec un rayon de 16,5 mètres, et fonctionnait avec des énergies allant jusqu'à 1,5 GeV. ADONE avait été étudiée de telle manière qu'elle puisse tirer parti de presque tout ce qu'on avait appris avec les machines de la première génération, et certaines de ses performances ont été remarquables (une luminosité de $6 \times 10^{29} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$).

Entre-temps, les physiciens du Cambridge Electron Accelerator (Massachusetts), qui possédaient un synchrotron, souhaitaient s'occuper eux aussi de faisceaux en collision, mais la possibilité de construire un nouvel anneau de stockage alimenté par le synchrotron leur fut refusée.

Deux d'entre eux, Ken Robinson et Gus Voss, eurent alors une idée



Cambridge (Massachusetts), 1959: le groupe qui dirigeait l'accélérateur d'électrons de Cambridge. La machine fut transformée par la suite pour réaliser des expériences de collisions de faisceaux, permettant ainsi de tester la technique de « faible valeur de bêta » qui s'est avérée si importante dans les anneaux de stockage. Assis, de gauche à droite: Thomas Collins et David Jacobus. Debout, de gauche à droite: Fred Barrington, Stanley Livingston, directeur du laboratoire, Robert Cummings, Lee Young, John Rees, William Jones, Janez Dekleva et Ken Robinson (décédé).



de génie. Ils remarquèrent qu'on pouvait améliorer les performances en modifiant les faisceaux (faible bêta) à quelques emplacements seulement, même si la machine ne pouvait fournir que de faibles valeurs de courant.

L'application de cette idée conduisit à convertir le synchrotron de Cambridge lui-même en un anneau de stockage spécial « à dérivation ». Le résultat fut une machine d'une vertigineuse complexité. Sa construction fut menée à bien de manière à permettre des expériences de collisions de faisceaux en 1973 avec une énergie maximum de 2,5 GeV par faisceau, et l'invention du système à faible bêta fut un succès.

C'est alors que vint le premier — et à ce jour le seul — système à collisions de faisceaux proton-proton, les anneaux de stockage à intersections du CERN. Construits de 1966 à 1971, les ISR ont été un grand succès en termes de physique des accélérateurs. Les objectifs fixés initialement pour l'énergie

et la luminosité, qui sont les deux paramètres les plus importants, ont été dépassés. Conçus pour une énergie maximum de 28 GeV, ils ont atteint 31,4 GeV; de même, alors qu'ils devaient produire une luminosité de $4 \times 10^{30} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$, une valeur de $10^{32} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ a été atteinte, soit la luminosité la plus élevée qui ait jamais été obtenue avec un système quelconque à collisions de faisceaux.

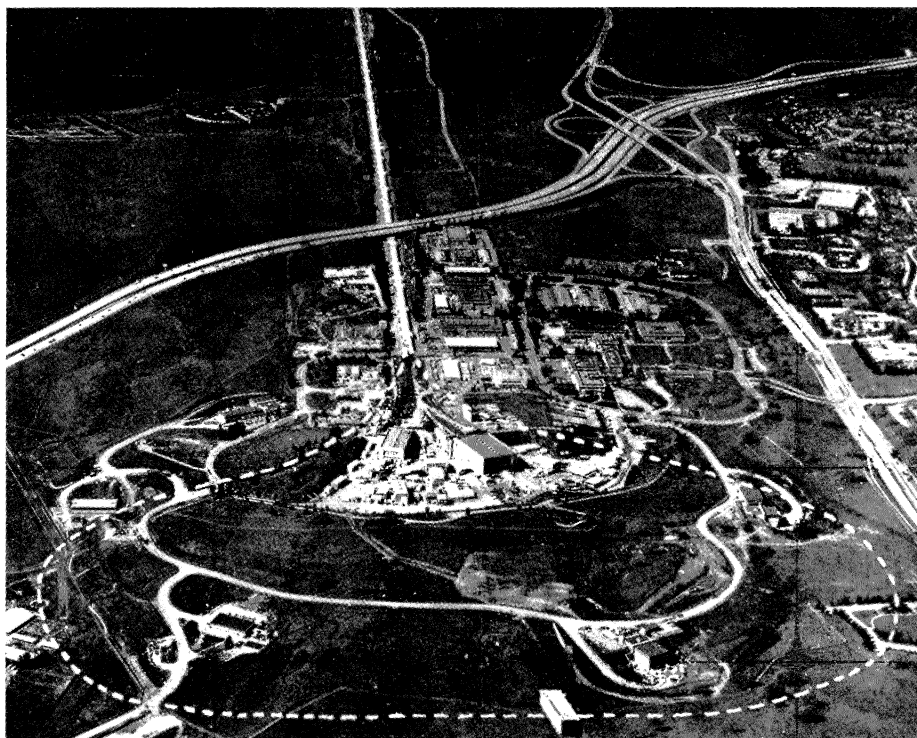
La troisième génération des anneaux de stockage à électrons a été représentée par SPEAR à Stanford, par DORIS à DESY et par VEPP-2M à Novosibirsk. Cette

génération a tiré pleinement parti de ce qu'avaient appris à si grands frais les deux premières: une bonne technique de vide, le système à faible bêta, etc. Ces progrès ont été payants, en particulier à SPEAR où une luminosité de $10^{31} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ a été atteinte à 3,7 GeV, la luminosité la plus élevée jamais obtenue par une machine quelconque à cette date (les ISR n'avaient pas encore amélioré ce chiffre).

Les machines de la quatrième génération — le CESR à Cornell, PEP à Stanford et PETRA à DESY — ont montré toute la maturité de leur technologie. Avec des techniques qui avaient déjà fait leurs preuves, l'énergie a pu être augmentée d'un ordre de grandeur et les luminosités ont été légèrement améliorées ($3 \times 10^{31} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ à PEP).

Dès l'année 1971, on avait proposé de construire un système d'anneaux pour réaliser des collisions entre des électrons et des protons. Dans un premier stade, cette idée n'était pas allée très loin, mais elle est maintenant en voie de se concrétiser avec le projet HERA à DESY.

Cet historique nous aura conduit jusqu'au LEP, une machine plusieurs milliers de fois plus grande que le premier collisionneur à électrons.



Le nouveau collisionneur linéaire de Stanford: après accélération dans le linac de 3,2 km, les faisceaux d'électrons et de positons sont amenés en collision (une seule fois) dans le hall d'expériences (au premier plan).

DL300

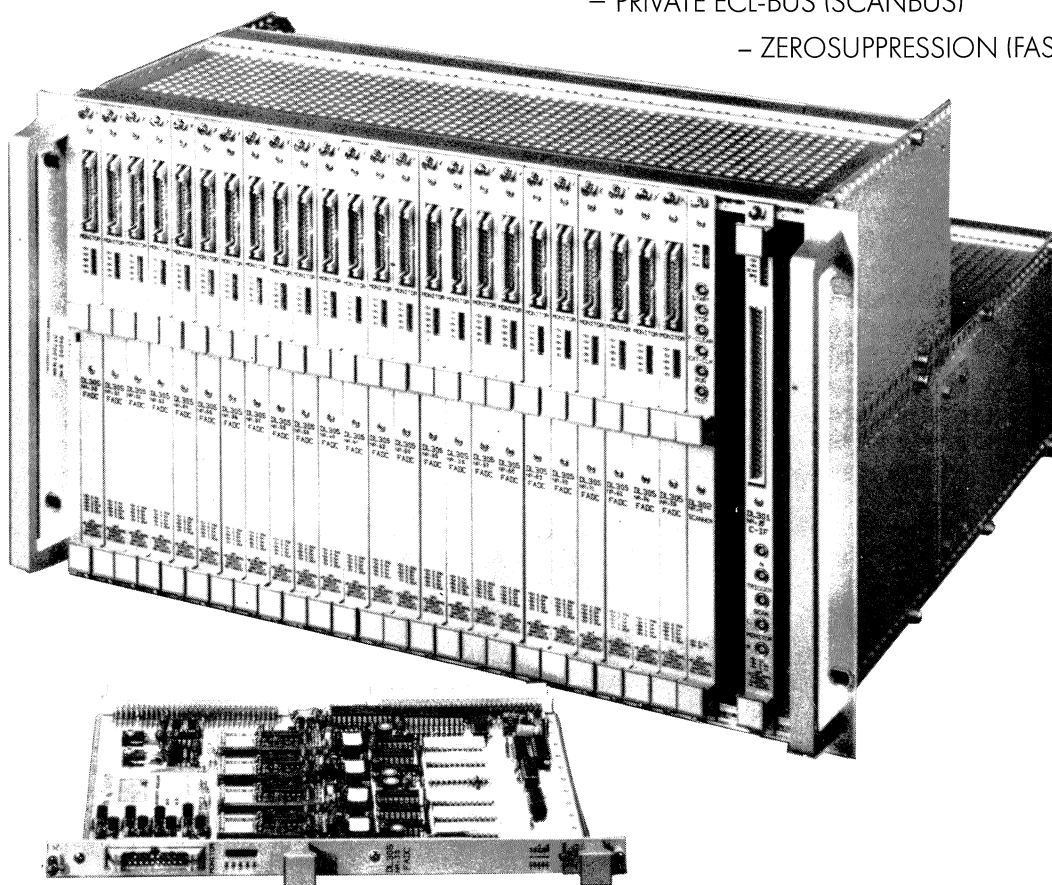
DESIGN PHYS. INST. UNIV. HEIDELBERG

– DATA ACQUISITION MODULES BASED ON HIGHSPEED
FLASH-ADC CHIPS (5010, 5200, TDC 1029)
100MHz, 6 Bit, NON LINEAR

– DESIGNED FOR MULTICHANNEL PURPOSES (> 1000)
EASY HANDLING. CALIBR. FACILITIES LOW PRICE

– PRIVATE ECL-BUS (SCANBUS)

– ZEROSUPPRESSION (FASTSCAN)



5 GROUPS OF MODULES:

- DATA ACQUISITION : FADC
- CONTROLLER : SCANNER & HITDETECTOR
- TEST & UTILITY : TESTER, MONITOR
- INTERFACE : CAMAC, VME, FASTBUS
- PROCESSING : μ P, MEMORY

Agencies

United States, Canada

LECROY RESEARCH Systems Corporation/USA
Phone: 914 425 2000 - Telex: 710 577 2832

Great Britain, Japan, Italy

Messrs. Smith + Jones, Newbury/GB
Phone: 0533 703 526

Switzerland

Messrs. ANTARES AG, Nussbaumen/CH
Phone: 056 823783 - Telex: 58703

Netherlands, Belgium

Messrs. UNITRONICS, Nieuwegien/NL
Phone: 3402 38559

Schweden

Messrs. Gunnar Peterson AB, Stockholm-Forsta/S
Phone: 08 939280 - Telex: 17944



DR. B. STRUCK

2000 TANGSTEDT / HAMBURG GERMANY
HAUPTSTR. 95 • TELEFON 04109/99 66/67
POSTFACH 11 47 • TELEX 2 180 715 TEGS