30 Juillet 1997

Proposition de Participation à la Phase II de l'Expérience DØ à Fermilab

Institut des Sciences Nucléaires Grenoble
Marie Laure Andrieux[1].

Centre de Physique des Particules Marseille
Alain Bonissent, Marie Claude Cousinou[1], Paschal Coyle[1], Anne Ealet[1], François Etienne, Dominique Fouchez[1] Elemer Nagy, François Touchard[1].

Laboratoire de l'Accélérateur Linéaire Orsay
Philip Bambade[1], Laurent Duflot, Jean François Grivaz[1], Michel Jaffré, Pierre Pétroff.

Laboratoire de Physique Nucléaire et des Hautes Energies Paris 6 et 7
Ursula Bassler, Gregorio Bernardi, Didier Lacour, Philippe Schwemling[1].

Résumé

Nous proposons de participer à la phase II de l'expérience DØ à Fermilab. Cette participation permettrait à des groupes français[2] de collaborer à un programme unique de physique vers l'an 2000. Elle porterait essentiellement sur la préparation à l'analyse et sur l'analyse elle-même, sur les thèmes de la physique du top, la recherche de nouvelles particules au delà du modèle Standard et la physique de la beauté. Elle serait aussi une bonne préparation à la physique au LHC. Elle bénificierait de la collaboration avec un groupe du DAPNIA/SPP Saclay[3].

[1]Contribution envisagée à partir de l'an 2000

[2]La participation des signataires ci-dessus ne prendra effet qu'après l'accord de leurs instituts respectifs

[3]B. Bloch-Devaux, P. Bonamy, P. Le Du, C. Guyot, J.F. Laporte, L. Chevalier, A. Pluquet, M. Virchaux, A. Zylberstejn.

Sommaire

1 Introduction

Le collisionneur TeVatron à Fermilab sera une des machines de pointe des prochaines années, jusqu'au démarrage du LHC.

La forte augmentation de la luminosité, ainsi qu'un programme ambitieux d'amélioration des détecteurs, permettront de faire une physique hadronique orientée vers plusieurs domaines complémentaires :

- Etude détaillée des propriétés du quark **top**,
- Mesures de précision dans le domaine électrofaible,
- Recherches directes de nouvelles particules (SUSY, leptoquarks),
- Tests de QCD aux ordres supérieurs,
- Physique du B et mesures des paramètres de la matrice de CKM.

Nous voulons, par cette *Proposition de Participation à la Phase II de l'Expérience DØ à Fermilab*, manifester notre intérêt pour un programme de physique très riche.

Dans la deuxième section, les principaux éléments de l'amélioration sont décrits brièvement ainsi que les principaux résultats de physique.

Dans la troisième section nous donnons les raisons de notre choix pour DØ plutôt que CDF.

Les principaux thèmes de notre participation sont exposés dans la quatrième section.

Enfin, nos demandes à l'IN_2P_3 sont présentées dans la sixième section.

2 Principaux éléments de l'amélioration

Le bilan des runs précédents ainsi que les conditions de fonctionnement du TeVatron, sont donnés en annexe A.

Un programme d'amélioration de la machine [1] (programme "**Main Injector**") est activement poursuivi. La première période de prise de données (Run II) devrait commencer fin 1999. Son objectif est l'accumulation pour 2002 d'au moins 2 fb^{-1}, par expérience, soit environ 20 fois plus d'événements que lors de la première phase (voir annexe B). La luminosité instantanée atteindra 2×10^{32} cm^{-2} s^{-1} avec un temps entre croisement de 396 ns. Les deux collaborations, CDF et DØ ont donc entrepris un programme d'amélioration très important de leur dispositif expérimental afin de l'adapter aux nouvelles conditions d'expérimentation.

2.1 Amélioration du détecteur DØ

Le détecteur, conçu pour une luminosité de 10^{30} cm^{-2} s^{-1} et un temps entre les croisements de l'ordre de 3 μs, comporte des éléments qui ne peuvent fonctionner sous ces nouvelles conditions, et sont en cours de remplacement [2].

Les principales modifications du dispositif expérimental sont résumées ci-dessous (figure 1) :

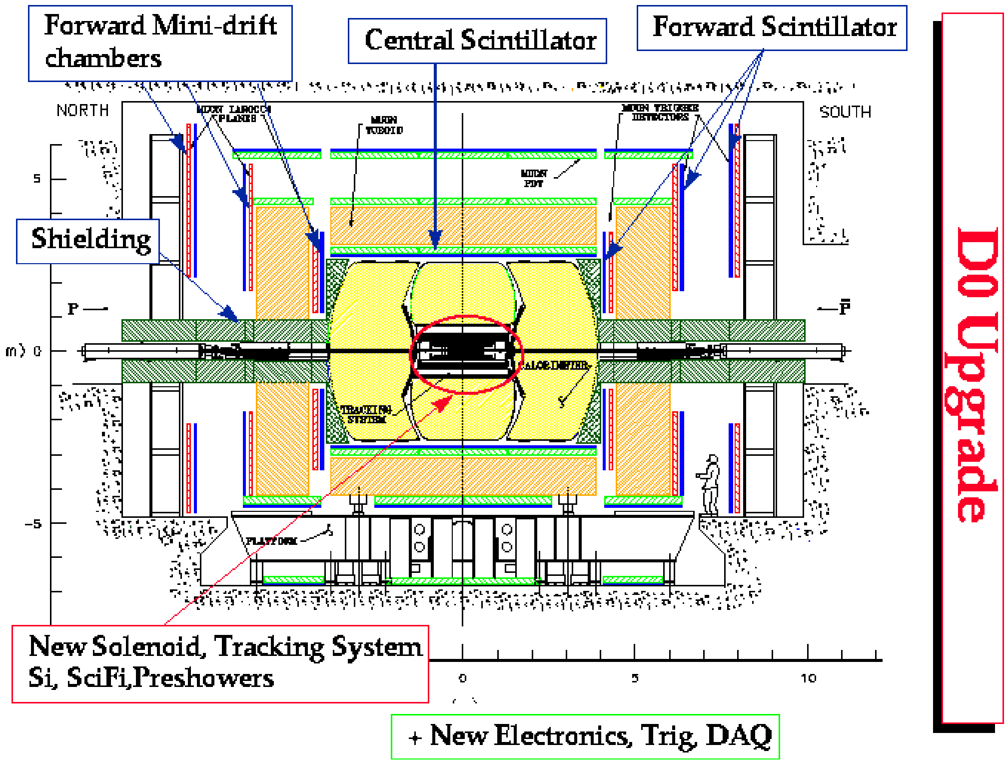

Figure 1: Le détecteur de DØ. Les principales modifications sont indiquées dans les cartouches.

- Détecteur central de traces remplacé par un spectromètre magnétique comprenant les éléments suivants (figure 2) :
  - Un aimant solénoïdal de 2 T, long de 2.5 m dont la bobine est située entre R=53 et 71 cm,
  - Un détecteur de microvertex au silicium ($\simeq$ 800 000 canaux) en forme de cylindres et de disques,
  - Un détecteur à fibres scintillantes (74 000 fibres de ø 830 μm),
  - Un détecteur de pied de gerbes central, placé entre la bobine du solénoïde et le calorimètre, fabriqué à partir de bandes de scintillateurs (6 000 voies),
  - Un détecteur de pied de gerbes avant-arrière (16 000 voies),
  - Une nouvelle électronique frontale utilisant le circuit spécifique SVXII et, pour la lecture des éléments scintillants, des VLPC[1].
- Remplacement de l'électronique du calorimètre: préamplificateurs, formeurs, pipe-line analogique de 4 μs.

[1] *Visible Light Photo Counter.*

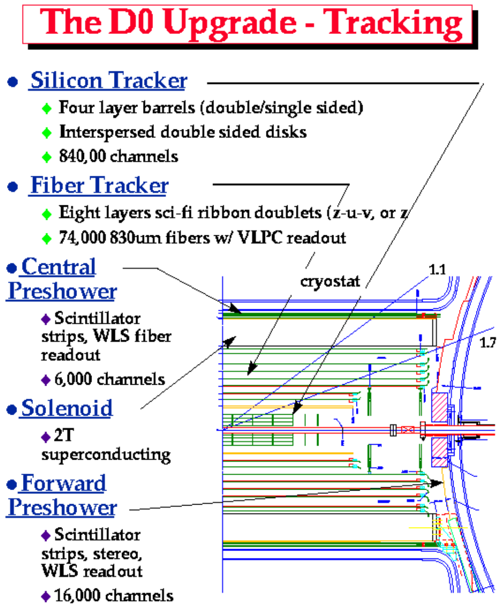

Figure 2: Détecteur de vertex de DØ.

- Amélioration du détecteur de muons :
  - Remplacement de l'électronique frontale,
  - Remplacement des chambres avant-arrière,
  - Installation de scintillateurs dans la région centrale et vers l'avant pour aider au déclenchement sur les muons,
  - Installation de blindage supplémentaire,
  - Pipe-line analogique de 4 μs pour accomoder des croisements toutes les $\simeq 400$ ns.
- Système de déclenchement profondément remanié permettant d'écrire 20 événements/s sur bande.
- Système d'acquisition des données avec la même architecture mais remplacement de la ferme d'ordinateurs ($\simeq$ 20 000 MIPS, 250 10^6 événements par an).

Ajoutons que ces modifications du dispositif expérimental s'accompagnent d'une complète réécriture des logiciels d'acquisition, de reconstruction et d'analyse, pour lesquels une conception orientée objet a été retenue.

2.2 Performances attendues

Les points forts du détecteur au Run I (bonne couverture angulaire pour les électrons et les muons, calorimétrie finement segmentée) sont conservés. Parmi les nouvelles performances notons :

- Une excellente couverture du nouveau détecteur de traces central jusqu'à $|\eta| = 3$.

- Une bonne acceptance aux muons jusqu'à $|\eta|$=2. La mesure de leurs impulsions est effectuée jusqu'à 1.5 GeV/c. Le seuil de déclenchement est $\simeq$ 6 GeV/c pour un muon et $\simeq$ 1.5 GeV/c pour une paire de muons.
- La mesure et l'identification des électrons sont améliorées par rapport au Run I, grâce à la détermination du rapport E/P et au détecteur de pied de gerbes.
- La précision sur le paramètre d'impact est de $\simeq$ 20 μm pour des particules d'impulsion $\geq$ 10 GeV/c.

Ces performances placent DØ en bonne position [3] pour l'étude de la physique à grand P_t et lui donneront accès à la physique du **b** pour laquelle la détection du vertex secondaire est primordiale [4]. La physique du **top**, notamment, bénéficiera de cette amélioration.

2.3 Principaux sujets de physique

Les sujets de physique au TeVatron resumés ci-dessous sont classés en cinq grandes catégories : **top**, électrofaible, au delà du Modèle Standard, **b**, QCD.

A moins d'indication contraire, les résultats [3] sont donnés avec une luminosité intégrée de 2 fb^{-1}, soit une année à 2 10^{32} cm^{-2} s^{-1}.

2.3.1 Physique du top

Le TeVatron sera jusqu'en 2005 la seule machine où l'étude du **top** sera poursuivie.

	m_{top} (GeV)	$\sigma(t\bar{t})$ (pb)
CDF	176.8 ± 4.4(stat) ± 4.8(syst)	7.5 ± 1.8
DØ	172.0 ± 5.1(stat) ± 5.5(syst)	5.5 ± 1.8

Table 1: Mesures du quark **top** dans le Run I

Les résultats obtenus lors du Run I par les deux expériences sont présentés dans la table 1 [7]. Ceux ci sont comparables, malgré l'absence de champ magnétique et de détecteur de microvertex dans DØ.

L'efficacité d'étiquetage des **b** bénéficie de l'abaissement du seuil en P_t des leptons et de la mesure d'un vertex déplacé. Son efficacité est $\geq 80\%$ dans un événement $\mathbf{t\bar{t}}$. Cette efficacité est $\geq 50\%$ avec seulement la mesure du vertex déplacé.

Ces améliorations, combinées à l'augmentation de la luminosité permettront notamment :

- Une détermination de $\sigma(t\bar{t})$ avec une précision de 10%.
- Une précision sur la masse du **top** estimée à $\delta(M_t) \leq 4$ GeV/c^2. L'incertitude sur M_t est due à la statistique (0.7%), à la calibration en énergie (1.5%) et à la simulation par Monte Carlo de la contribution des gluons rayonnés ($\simeq 1\%$).
- Des tests du modèle Standard avec le **top** :
  - Les rapports d'embranchements BR($\mathbf{t} \rightarrow$ e) et BR($\mathbf{t} \rightarrow \mu$) seront mesurés à 15% près.
  - La mesure de BR($\mathbf{t} \rightarrow \mathbf{b}$) donnera une valeur de $|V_{tb}|$ avec une incertitude de 3%.
  - A partir de la distribution de la désintégration angulaire des leptons, la mesure de $BR(\mathbf{t} \rightarrow W_L)$ sera obtenue avec une erreur de 3%.
- La mesure de la section efficace de production de **top** seul
- La recherche de physique nouvelle dans la voie $\mathbf{t\bar{t}}$:
  - Si le Higgs chargé, H^+, existe avec une masse $M_{H^+} < M_t$, la désintégration du $\mathbf{t} \rightarrow H^+\mathbf{b}$ donnera un excès de τ par rapport aux electrons et aux muons.
  - Un nouvelle physique peut apparaitre sous la forme d'une résonance $\mathbf{t\bar{t}}$.

2.3.2 Physique électrofaible

Une des mesures principales effectuées au TeVatron concerne la masse du $W^{\pm}$. La meilleure précision a été obtenue par DØ : $M_{W^{\pm}} = 80.44 \pm 0.11$ GeV/c^2 [8].

La précision de la mesure sera ≤ 40 MeV/c^2, compte tenu de l'amélioration du détecteur, de l'augmentation de la statistique et de l'affinement de la calibration.

L'erreur sur la masse du W, à partir des mesures combinées de LEP II et du TeVatron devrait être ≤ 35 MeV/c^2. Cette erreur, combinée avec l'incertitude sur la masse du **top**, permettra de déterminer, dans le cadre du Modèle Standard, la masse du boson de Higgs avec une précision $\delta m_{H^\circ}/m_{H^\circ} \simeq 80\%$. La figure 3 montre l'amélioration prévue par rapport à la prévision de LEP et SLC et au résultat de DØ lors du run I.

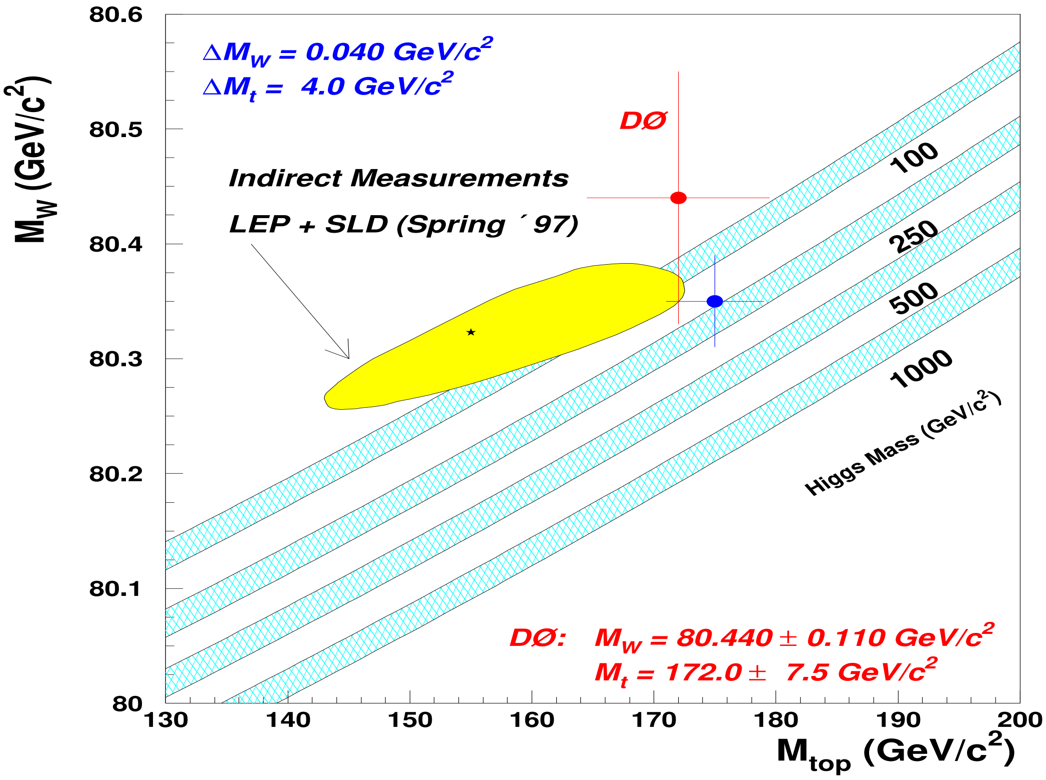

Figure 3: Prédiction sur la masse du Higgs dans le Modèle Standard: Situation actuelle avec la mesure de DØ et prédiction du Run II (la valeur moyenne est placée arbitrairement).

La physique électrofaible au TeVatron est particulièrement riche et permet un grand nombre d'études différentes. Citons en exemple:

- La mesure de l'asymétrie avant-arrière de charge des W. Celle-ci permet de tester les fonctions de structure du proton et la mesure des rapports de densités de partons u(x)/d(x).
- La mesure des couplages à 3 bosons.

2.3.3 Au delà du Modèle Standard

La recherche de particules, prédites par les modèles supersymétriques, étendra et complètera les programmes en cours au LEP et à HERA. Cette recherche sera

Signal	Section efficace dans le domaine de masse accessible	Domaine de masse accessible avec 1 fb^{-1}
W'	0.5 - 0.0001 x σ_W	$\simeq 1$ TeV/c^2
Z'	0.1 - 0.001 x σ_Z	$\simeq 1$ TeV/c^2
Leptoquarks	1.0 - 100 pb	$\simeq 240$ GeV/c^2
paires de $\tilde{q}$ et de $\tilde{g}$	5 - 1000 pb	$\simeq 220 - 320$ GeV/c^2
paires de Gaugino	0.5 - 10 pb	$\simeq 150$ GeV/c^2
q*	0.1 - 100 pb	$\simeq 800$ GeV/c^2

Table 2: Domaines de masse accessibles pour la découverte de nouvelles particules, en supposant, suivant les cas, la détection d'au moins 10 événements, ou une signification statistique d'au moins 10 σ par rapport au bruit de fond (voir le texte).

une bonne préparation au LHC. Par la suite, le TeVatron et HERA seront les seuls accélérateurs où une telle recherche sera menée entre 2000 et 2005.

Dans la table 2 sont résumées les sections efficaces de production des différentes particules recherchées, et les performances attendues avec une luminosité intégrée de 1 fb^{-1}. Le potentiel de découverte est exprimé en terme de domaines de masse accessibles, en supposant, suivant les cas, la détection d'au moins 10 événements, ou une signification statistique d'au moins 10 σ par rapport au bruit de fond. Le potentiel de découverte de particules exotiques, telles que les W', Z', q*, leptoquarks, etc.. est présenté dans cette table, ainsi que celui des particules supersymétriques.

Dans le cadre du Modèle SuperSymétrique Minimal (MSSM), une fraction appréciable de l'espace des paramètres pour les charginos ($\chi^{\pm}$), les neutralinos (χ^0), les squarks ($\tilde{q}$) et les gluinos ($\tilde{g}$) sera explorée.

Nous examinerons, ci-dessous, deux canaux particulièrement prometteurs[2], au TeVatron.

– **Recherche de Gauginos :** Le canal qui permettra peut-être le plus facilement de découvrir la Supersymétrie au TeVatron est l'état final à trois leptons + E_T^{Miss}, produits de désintégration d'une paire chargino-neutralino $\chi_1^{\pm}$ - χ_2^0 .

Le détecteur DØ est particulièrement adapté pour cette recherche, avec un déclenchement efficace sur les leptons à partir de $\simeq 10$ GeV/c d'impulsion transverse, un déclenchement sur plusieurs leptons incluant un seuil sur les muons aussi bas que $\simeq 1.5$ GeV/c, une acceptance en pseudorapidité importante pour les leptons et une bonne résolution en E_T^{Miss}.

A LEP-2, des paires de charginos $\chi_1^{\pm}$ - $\chi_2^{\mp}$ sont produites et facilement détectables jusqu'à pratiquement la limite cinématique, sur l'essentiel de l'espace des paramètres. En l'an 2000, s'ils n'ont pas été découverts avant, LEP-2 mettra une limite inférieure à leur masse proche de 100 GeV/c^2. Avec une luminosité intégrée de 1 fb^{-1}, le domaine de masse accessible, au TeVatron, pour la découverte de paires chargino-neutralino dans le canal à trois leptons + E_T^{Miss} s'étend jusqu'à $\simeq 150$ GeV/c^2 (en demandant au moins 10 événements).

[2]La recherche d'autres canaux extrêmement intéressants comme les stops légers, les squarks avec violation de la R-parité (ou les leptoquarks) n'est pas décrite ici, faute de place.

– **Recherche de squarks et de gluinos :** La limite inférieure, donnée par CDF et DØ, est de 230 GeV/c^2 sur la masse des squarks et des gluinos (en supposant $m_{\tilde{g}} = m_{\tilde{q}}$)[3], ce qui interdit donc de les produire à LEP-2.

Cette recherche demande une bonne résolution en E$_T^{Miss}$ pour des valeurs de E$_T^{Miss}$ aussi basse que $\simeq$ 40 GeV/c^2 . Le détecteur DØ est donc là aussi bien placé. Avec une luminosité intégrée de 1 fb^{-1}, le domaine de masse accessible à la découverte, en demandant au moins 10 σ de signification statistique par rapport au bruit de fond, se situe entre environ 220 et 320 GeV/c^2 (sans faire l'hypothèse de l'égalité des masses entre squarks et gluinos).

2.3.4 Physique des quarks b

Avec la luminosité prévue, 10^{11} hadrons beaux seront produits par an. Ce taux assurera un vaste programme de physique du **b** [5], dont une partie n'est pas accessible aux collisionneurs $\mathbf{e}^+$ $\mathbf{e}^-$ fonctionnant à l'énergie du Υ^{4s}.

– **Oscillations du** B$_s$ **:** Une étude récente a montré que les contraintes actuelles sur le triangle d'unitarité autorisent un domaine de 15.2±5.5 ps^{-1} pour Δm_s. La limite actuelle, basée sur les mesures du LEP, est $\Delta m_s > 10$ ps^{-1}. En utilisant le lepton du méson B partenaire pour étiqueter l'état initial, DØ sera sensible à des valeurs de $\Delta m_s \approx 17$. Une telle mesure est impossible au Υ^{4s}, où le B$_s$, trop lourd, n'est pas produit.

– $\Delta\Gamma$ **du** B$_s$ **:** Par analogie avec le système des K^0, on s'attend à une différence significative dans les durées de vie des mésons B$_s$ lourd et léger. En utilisant les événements B$_s \to J/\psi\phi$, on pourrait accéder à cette mesure.

– **Violation de CP :**

Dans le cadre du modèle standard, on s'attend à un effet assez important ($sin(2\beta) \approx 0.6$). Des études préliminaires montrent qu'avec 1 fb^{-1}, environ 500 événements de type B $\to J/\psi K_s^0$, seront entièrement reconstruits et identifiés. L'erreur $\delta(sin2\beta)$ sera ≈ 0.16, avec les muons seuls. La mise en oeuvre d'un trigger sur vertex déplacés et l'utilisation des électrons permettraient de réduire cette erreur par un facteur $\simeq 2$.

Plusieurs expériences (BABAR, BELLE, HERA-B) sont prévues spécialement pour la mise en évidence de la violation de CP dans le système des **B** aux environs de l'an 2000. Les expériences au TeVatron seront compétitives dans ce domaine.

– **Spectroscopie :** La production intense de mésons B au TeVatron permettra l'observation directe de nouvelles particules. Par exemple, la détermination des modes de désintégration et de la durée de vie du B_c est particulièrement intéressante, car il présente la propriété unique de comporter deux quarks lourds.

– **Modes Rare :** Dans le cadre du modèle standard, on estime à $\approx 6 \times 10^{-6}$ le rapport de branchement B $\to X_{s,d}\ell^+\ell^-$ (non résonants). Celui-ci, de même que le mode B $\to X_{s,d}\gamma$, est très sensibles à la physique au-delà du modèle standard. La meilleure limite expérimentale provient actuellement de DØ. Elle est seulement cinq fois plus élevée que la prédiction du modèle Standard. On peut donc s'attendre à ce que le Run II permette la première mise en évidence de ces modes.

[3] Sans cette supposition, la limite est autour de 170 GeV/c^2.

2.3.5 QCD

Les tests de QCD au TeVatron sont nombreux et variés. Rappelons quelques uns des tests clés qui seront effectués lors du Run II :

- La détermination des fonctions de structure avec une statistique élevée (grande acceptance en rapidité, $|\eta| \leq 4$) et une meilleure connaissance des erreurs systématiques, grâce à l'amélioration de la calibration du calorimètre *in situ*. La mesure des sections efficaces de production de jets, W, Z, γ permettra des tests précis des calculs de QCD à l'ordre α_s^3.
- La mesure des sections efficaces d'événements W+jets et Z+jets permettront des tests de calcul de "resommation" des gluons pour la mesure de α_s.
- L'étude des processus de Drell-Yan bénéficiera de l'augmentation importante de luminosité du Run II.
- L'étude des corrélations entre jets à grands intervalles de rapidité et de processus diffractifs rares sera poursuivie.
- Les études sur les jets s'affineront :
  - La structures des jets sera étudiée en détail.
  - la séparation statistique des jets de gluons et jets de quarks sera affinée.
- Les modèles de sous-structure des quarks seront testés à grand P_t.

3 Comparaison CDF/DØ

L'ampleur des modifications est comparable pour les deux détecteurs: nouveau détecteur interne complet pour les deux expériences, nouveaux calorimètres bouchon et amélioration de la couverture des chambres à muons pour CDF, introduction d'un solenoïde, d'un détecteur de pied de gerbe et remplacement des chambres à muons vers l'avant pour DØ.

3.1 Le détecteur de traces interne

La plus grande taille de la cavité permet une meilleure résolution en impulsion pour CDF (résolution sur la masse du $J/\psi \rightarrow \mu\mu$ deux fois meilleure). Cet avantage peut se révéler utile dans certains cas (rejet du fond pour $B \rightarrow J/\psi K_s^0$, masse du W dans le canal muon), mais n'est pas décisif pour la plupart des canaux de physique à grand P_t. Le détecteur interne de DØ est simple, avec une couverture jusqu'à $|\eta| = 3$ pour la reconstruction et 2.5 pour l'étiquetage des B ($|\eta| = 2$ pour CDF). Malgré le plus faible nombre de points de mesure disponibles, les simulations montrent que la robustesse de la reconnaissance de traces à grand P_t (≥ 1.5 GeV/c) reste bonne (efficacité $\geq 90\%$ dans la region centrale) pour DØ, jusqu'à la plus haute luminosité envisagée pour le run II.

3.2 Calorimétrie

Le calorimétre à argon liquide de DØ présente des avantages évidents de granularité, linéarité et stabilité dans le temps, même à haute luminosité. Pour le Run I, DØ s'est montré à son avantage pour les mesures dans lesquelles la qualité du calorimètre est prépondérante (ex : mesure de la masse du W en électron). Son homogéneité et son herméticité sont garantes de bonnes performances pour la mesure de l'énergie manquante, certainement meilleure que celle de CDF. Cet avantage peut se revéler décisif dans la recherche de nouvelle physique et minimise aussi les risques de fausse découverte. En outre une partie des signataires est impliquée dans la construction du calorimètre à argon liquide du détecteur ATLAS. C'est une motivation supplémentaire pour étudier le comportement en situation d'un calorimètre qui présente de nombreux points communs avec celui en projet d'ATLAS.

3.3 Le détecteur de muons

Le spectromètre toroïdal à muons de DØ n'a pas son équivalent dans CDF. Il assure une bonne identification des muons, soit au niveau du déclenchement (le déclenchement sur les muons de DØ semble beaucoup plus performant en terme de pureté et de seuil en impulsion que celui de CDF) soit au niveau de la reconstruction hors ligne (redondance détecteur interne/spectromètre). Le système de chambres à muons est quasi-hermétique jusqu'à $|\eta| = 2$ et conduit à un spectromètre à muons beaucoup plus simple dans sa géométrie que celui de CDF et certainement plus facile à maîtriser. On peut aussi souligner la parenté avec le spectromètre à muons d'ATLAS dont pourraient profiter les signataires engagés aussi sur ATLAS.

3.4 Déclenchement sur un vertex secondaire

La collaboration CDF a prévu un déclenchement au niveau II sur un vertex secondaire pour augmenter la statistique des B sur bandes. Le gain ainsi obtenu serait d'un facteur deux sur la mesure de $\sin(2\beta)$. Il n'est pas évident que le gain soit le même pour DØ, car l'acceptance est meilleure pour le déclenchement des muons et pour l'identification des **b**. Une étude est actuellement en cours afin d'évaluer l'intérêt d'un tel déclenchement. Si cette étude était positive, un système de déclenchement, identique à celui de CDF, serait alors mis en œuvre.

En conclusion, les deux détecteurs sont assez équivalents pour la plupart des sujets de physique (top, physique des W/Z). Cependant DØ a un avantage sensible pour la physique des jets et la recherche de phénomènes nouveaux grâce à la qualité de son calorimètre, à l'homogénéité, et à l'herméticité de toutes les parties du détecteur. CDF a un avantage dans certains modes exclusifs de physique du **b** grâce à son système de déclenchement sur un vertex secondaire et sa meilleure résolution en impulsion.

4 Participation

Notre participation s'orientera vers deux domaines qui reflètent le degré d'expérience des différents groupes français. Ces deux domaines concernent la calorimétrie et le détecteur de traces.

En calorimétrie notre effort portera sur :

- la calibration en ligne et hors ligne,
- la simulation,
- les programmes de reconstruction pour l'analyse.

La participation sur le détecteur de traces portera sur :

- les algorithmes de reconstruction,
- la recherche de vertex secondaires pour l'étiquetage des **b**,
- l'étude de la faisabilité d'un déclenchement sur un vertex secondaire.

Un noyau de physiciens expérimentés s'engagera dans l'expérience dès 1998. Une participation à l'analyse des données du Run I est envisagée à court terme afin de se familiariser avec le calorimètre.

La participation française se renforcera progressivement à partir de l'an 2000. Ce renfort viendra d'une part de personnes jusqu'alors engagées dans les expériences LEP, HERA ou cibles fixes, d'autre part de personnes, engagées dans une expérience au LHC, mais souhaitant participer à une analyse de données prises sur collisionneur hadronique.

4.1 Calorimètre

La réduction du temps de collection de la charge demande une amélioration de la calibration en ligne. La présence d'un champ magnétique ouvre de nouvelles perspectives de calibration hors ligne, d'identification et de reconstruction mixte traces-cellules du calorimètre.

Nous désirons contribuer à la calibration en ligne et à la détermination de l'échelle d'énergie électromagnétique et hadronique avec les données réelles. Nous travaillerons aussi sur les algorithmes de reconstruction et d'identification afin d'être en bonne place pour faire l'analyse.

4.1.1 Calibration Electronique

L'augmentation de la fréquence de croisement des paquets a rendu nécessaire un changement d'électronique entre le Run I et le Run II. La constante de temps des formeurs est passée de 3 μs à 400 ns, un temps voisin du temps de dérive des électrons d'ionisation. Si la constante de temps est grande devant le temps de dérive, il importe seulement, pour la calibration, que la charge injectée soit égale à la charge déposée dans l'argon. Dans le cas d'une constante de temps de l'ordre du temps de dérive, comme c'est le cas pour le Run II, la forme du signal est aussi importante, car seulement une partie de la charge est intégrée.

Une tension de calibration est injectée au niveau du préamplificateur à travers une résistance de calibration. Le courant se divise entre préampli et câble dans le rapport des impédances. Par suite le signal de calibration est différent du signal physique et dépend de paramètres tels que la résistance du câble, la capacité de la cellule de lecture, le temps de propagation du signal et l'impédance d'entrée du préampli.

Nous proposons dans un premier temps d'étudier par simulation l'influence des différents paramètres. A partir de cette étude, nous proposerons des améliorations qui seront réalisées par une collaboration Orsay/Paris/Stony Brook.

4.1.2 Calibration avec les données

L'augmentation de la statistique, ainsi que la connaissance de l'impulsion des traces chargées permettront une amélioration sensible de la calibration.

L'échelle électromagnétique qui est à la base de toutes les mesures d'énergie dans l'expérience est obtenue, essentiellement, par la mesure du Z° se désintégrant en e^+e^-, ramenée à la masse du Z° obtenue au LEP. L'énergie hadronique des jets est obtenue à partir de la calibration électromagnétique en utilisant des événements "photon isolé" + jet. Les corrections effectuées sont de l'ordre de 10 % à 18 % pour des jets au delà de 20 GeV, avec une erreur de 2.5 % entre 20 GeV et 300 GeV et de 5 % en dehors de cet intervalle. Nous proposons d'améliorer la calibration, grâce à une plus grande statistique et à une meilleure calibration électromagnétique. Ce travail assurera une calibration absolue au delà de 150 GeV pour la partie hadronique centrale et 350 GeV pour les parties hadroniques bouchon. Cette amélioration sera particulièrement sensible dans la mesure des sections efficaces de jet à grand P_t. Les jets de basse énergie ($<$ 20 GeV) qui ne sont pas mesurés très précisément à l'heure actuelle seront également étudiés à l'aide de l'impulsion des traces chargées.

4.1.3 Reconstruction

Nous proposons d'implanter dans DØ des techniques analogues à celles développées dans H1 et dans ATLAS :

- Contribution à l'identification des électrons et des photons.
- Développement d'un logiciel associant traces et cellules pour améliorer la reconstruction d'un état hadronique final de relativement basse énergie.

4.2 Le détecteur de traces

4.2.1 algorithmes de reconstruction de traces

La collaboration DØ disposera pour la première fois d'un détecteur de vertex au silicium et d'un champ magnétique. Les algorithmes développés pour le Run I ne prévoyaient pas cette éventualité. Un important travail est en cours au niveau du programme de reconstruction, pour tirer le meilleur profit de ces nouveaux dispositifs.

Les physiciens français ont acquis une bonne expérience sur les algorithmes de reconstruction de traces et la recherche de vertex secondaires, principalement auprès des détecteurs de microvertex du LEP. Nous devrons adapter ce savoir-faire à une nouvelle topologie d'événements et de détecteur. Les connaissances acquises nous seront utiles lors de la phase d'analyse des données. Elles seront de plus indispensables pour l'étude du système de déclenchement sur les vertex déplacés, décrite ci-dessous. Les physiciens de Saclay (DAPNIA) et Marseille (CPPM) souhaitent collaborer, dans le cadre du groupe *reconstruction de traces* de la collaboration DØ.

4.2.2 Etude d'un déclenchement sur vertex secondaire

Les mésons B, produits en grande quantité au TeVatron dans les événements de type QCD, sont sélectionnés avec une faible efficacité par les déclenchements habituels. Il convient de modifier la stratégie du système de déclenchement afin de retenir les événements de ce type sans saturer le système d'acquisition.

Pour cela, il est nécessaire d'identifier en ligne les événements comprenant un vertex distinct du vertex primaire. Dans un premier temps, nous comptons participer à l'étude en cours sur la faisabilité d'un tel système de déclenchement pour DØ.

Il s'agit d'un travail non négligeable pour lequel la collaboration DØ souhaiterait avoir un renfort. Au cas où l'étude préliminaire s'avérerait positive, nous comptons participer à la mise en œuvre du dispositif final, en collaboration avec d'autres instituts. La participation à ce projet nous donnera la maitrise des erreurs systématiques qui y seront associées. Nous serons alors particulièrement bien placés pour effectuer l'analyse des données conduisant à la mise en évidence de la violation de CP dans le secteur des mésons B.

4.3 Simulation et Analyse

Compte-tenu du peu de temps disponible d'ici au démarrage de l'expérience, un effort est nécessaire dès maintenant. Nous nous proposons de contribuer à cet effort, de manière ciblée, principalement au niveau de :

- l'installation de programmes de simulation au $CCIN_2P_3$ et la production d'événements Monte-Carlo,
- la participation à l'élaboration d'algorithmes de reconstruction (calorimètre et détecteur de traces),
- la préparation de l'analyse des données dans les domaines parmi les plus pertinents, particulièrement, la recherche de signatures de nouvelle physique, la physique du **top** et l'étude du **b**.

Dans l'ensemble de ces activités, l'effort doit être défini, organisé, et coordonné de manière à permettre aux groupes français d'avoir une contribution visible et reconnue dès le début du Run II. Ci-dessous nous détaillons chacunes des activités prévues, et mentionnons quelques considérations pratiques importantes.

4.3.1 Simulations Monte-Carlo

Le $CCIN_2P_3$ de Lyon fonctionne comme un des principaux centres de production de simulations Monte-Carlo pour plusieurs expériences au CERN ou à DESY. Par ailleurs, une bonne partie des simulations Monte-Carlo pour le Run I a été faite dans des centres extérieurs à Fermilab. Il ne sera pas difficile, compte-tenu de l'expérience existant déjà au $CCIN_2P_3$ et dans notre communauté, d'installer les versions successives de la simulation de DØ et d'y effectuer au moins une partie des productions qui seront nécessaires.

Une telle tâche, en grande partie technique, sera certainement appréciée par la collaboration en tant que contribution d'intérêt général.

4.3.2 Développement de Logiciels de Reconstruction

Bien que le développement des logiciels de simulation des différents composants de DØ représente un travail particulièrement critique, compte-tenu du nombre d'éléments prévus entièrement nouveaux ou modifiés, il sera sans doute difficile d'envisager une contribution dans ce domaine dans la mesure où nous ne sommes pas partie prenante dans la conception et la construction des appareillages.

Par contre, compte-tenu de l'expérience acquise par plusieurs d'entre-nous sur des expériences actuelles ou futures, il sera certainement possible de prendre en charge l'étude et le codage d'un certain nombre de logiciels de reconstruction, dans les domaines du calorimètre et du détecteur de traces.

Une telle activité devrait pouvoir se faire localement dans nos instituts, à condition qu'une collaboration étroite s'établisse avec les équipes basées à Fermilab, nécessitant des contacts assez fréquents, directs et par vidéo-conférence[4]. Par ailleurs, il sera important d'installer localement des versions de développement de ces logiciels, voire une version complète du programme de reconstruction et d'analyse , afin de pouvoir travailler dans nos instituts sans être trop tributaire de la liaison par réseau Europe-USA.

La collaboration DØ a, comme CDF, BABAR, ATLAS et CMS, choisi d'utiliser le langage OO/C^{++} pour l'ensemble de ses logiciels, aussi bien au niveau de l'acquisition que des programmes de reconstruction et d'analyse. Une aide en informatique sera certainement nécessaire pour définir un cadre général et des règles. Dans un premier temps, une véritable formation sera indispensable à plusieurs d'entre-nous[5]. L'expérience acquise dans le cadre d'un tel travail ne pourra qu'être profitable aux expériences LHC.

4.3.3 Préparation à l'Analyse

La préparation à l'analyse, ainsi que l'analyse des données elle-même constituent la base de notre projet de participation. Il est important, en particulier de pouvoir former des étudiants en thèse, de constituer des groupes structurés travaillant autant que possible dans nos instituts. Deux schémas sont envisageables:

- **Pôle Européen de Traitement et d'Analyse au $CCIN_2P_3$ de Lyon**

[4] Il faut noter qu'une telle manière de travailler nécessitera une certaine évolution dans les habitudes de la collaboration DØ, qui concentre traditionnellement l'ensemble du travail d'analyse et de développement de ses logiciels à Fermilab, sur les calculateurs de Fermilab. On pourra certainement s'inspirer de l'expérience de la collaboration BABAR dans ce domaine.

[5] Des stages ont déjà été organisés par l'IN2P3 dans le cadre de la Formation Permanente.

Il est possible d'envisager, à terme, que les DST soient dupliquées et traitées au Centre de Calcul de Lyon, comme cela est prévu dans le cadre de la collaboration BABAR. Une version complète de la chaîne d'analyse serait ainsi installée et régulièrement mise à jour à Lyon, afin de permettre un travail efficace en Europe. Cependant, contrairement à BABAR, où une large fraction de la collaboration est européenne, les effectifs français qui prévoient à ce jour de rejoindre DØ représentent moins de 10 % de la collaboration. Compte-tenu de l'effort logistique important que représente la gestion d'un pôle de traitement et d'analyse délocalisé, il serait plus efficace de prévoir travailler dans le cadre de la chaîne de traitement et d'analyse centralisée à Fermilab.

Cette option sera réexaminée quand la participation française se renforcera en l'an 2000. Par ailleurs, des progrès rapides dans la gestion de l'informatique et des réseaux permettront peut-être à l'avenir d'organiser un traitement délocalisé des données avec plus de facilité.

- **Analyse Centralisée à Fermilab** :

  Pendant la dernière phase de préparation des analyses, et pendant les prises de données elles-même, les programmes de reconstruction et d'analyse seront fréquemment remaniés et améliorés. Dans ces conditions, il nous apparait efficace d'utiliser la chaîne d'analyse au Centre de Calcul de Fermilab, afin de bénéficier de l'environnement le mieux tenu à jour, aussi bien au niveau des données (réelles et simulées) que des versions des programmes et des librairies. Cette version sera utilisée à partir de nos instituts, à travers le réseau, pour produire des *ntuples* relativement détaillés pouvant ensuite être rapatriés, pour analyse, au $CCIN_2P_3$ et dans les instituts.

  Afin d'assurer un lien efficace entre Fermilab et nos instituts, il est important que plusieurs membres de la collaboration française (IN2P3 et DAPNIA) soient basés à Fermilab pour des périodes prolongées (de l'ordre d'une annnée). Le rôle de ces membres, outre bien-sûr leur participation au travail dans les différentes tâches nécessaires au fonctionnement de l'expérience et au dépouillement des données, sera de constituer sur place un groupe assez puissant pour faciliter le travail d'analyse dans les instituts français.

Comme dans le cas du travail de développement de logiciels de reconstruction, une participation importante et reconnue aux analyses du Run II nécessitera de nombreux contacts, aussi bien directs que par vidéo-conférence, avec les équipes basées à Fermilab. A cette fin, les groupes français devront travailler avec un fort esprit d'équipe, afin de permettre des participations fréquentes, mais par roulement, aux différentes réunions de travail à Fermilab.

Finalement, soulignons l'importance qu'il y aura à accroître assez rapidement la capacité de la liaison par réseau Europe-USA. Cette demande est commune avec celle de l'expérience BABAR.

4.4 Sujets d'Analyse

L'objectif principal de la participation française dans DØ est de participer activement à l'analyse des données du Run II. En attendant l'arrivée de ces données, et parallèlement à la préparation de ces analyses, nous souhaitons nous engager sur la fin de l'analyse du Run I. Cet effort sera limité et permettra de nous familiariser avec le détecteur.

4.4.1 Analyse des données du Run I

- **Masse du** $W^{\pm}$
  Parmi les paramètres électrofaibles, la détermination de la masse du boson $W^{\pm}$ revêt une importance particulière.

  A la suite d'une proposition de la collaboration DØ, nous souhaitons participer, à la mesure de la masse du W dans les parties avant et arrière du calorimètre. Ce travail nous permettra également de tester les techniques actuelles de calibration hors-ligne du calorimètre dont seule l'électronique a été modifiée pour le Run II. Cette analyse permettrait d'améliorer la précision sur la mesure de la masse de l'ordre de 20%.

- **Au delà du Modèle Standard**
  La collaboration DØ n'a pas encore analysé toutes les données prises au cours du Run I. Dans les canaux physiques au-delà du Modèle Standard, citons par exemple la violation de la R-parité dans le cadre du modèle SUGRA. Des thèses communes DØ-ATLAS seraient envisageables, avec comme sujets conjoints la détermination des limites d'exclusions dans l'espace paramétrique par DØ et les limites qui pourraient être atteintes par ATLAS. De telles études pourraient être reprises et étendues plus tard en utilisant les données du Run II.

4.4.2 Analyse des données du Run II

Nous voudrions apporter une contribution dans les 3 grands thèmes suivants :

- La physique du **top**,
- La recherche de nouvelles particules, en particulier supersymétriques,
- La physique du **b**.

Le détecteur DØ est particulièrement bien adapté pour l'étude des deux premiers thèmes sur lesquels la majorité des physiciens français a l'intention de travailler. Ces thèmes de physique seront la chasse-gardée du TeVatron de l'an 2000 jusqu'au démarrage du LHC.

La physique du **b**, assez peu explorée lors du run I à cause de l'absence de détecteurs appropriés, connaitra un grand intérêt avec l'amélioration. L'expérience de certains d'entre nous dans ce domaine est bienvenue dans la collaboration.

5 Demandes

Les conditions mises à notre participation par la collaboration DØ rendent nos demandes faibles comparées au vaste programme de physique offert.

- La calibration en ligne nécessitera 1.5 ingénieur.an pendant deux années. Le coût de l'amélioration est estimé à 900 kF.

- Le coût des missions est estimé à 1.5 MF par an, calculé sur la base d'une rotation de 2 physiciens tous les 15 jours plus deux personnes en permanence à Fermilab (deux personnes en permanence sont aussi prévues par Saclay).
- Un support informatique sera nécessaire dans les instituts engagés et au niveau du $CCIN_2P_3$. Du temps de calcul sera demandé pour la simulation et l'analyse.
- Amélioration de la liaison France-USA (demande conjointe avec BABAR)
- Dans le cas où l'étude de faisabilité du déclenchement sur un vertex secondaire est positive et si nous avons les forces suffisantes, nous ferons, par la suite, une demande pour participer à l'élaboration de ce déclenchement.

6 Conclusion

La collaboration DØ nous offre la possibilité de participer à un programme de physique unique à partir de l'an 2000. Le TeVatron sera l'une des seules machines de pointe encore en fonctionnement vers le début du siècle prochain, et le restera jusqu'au démarrage du LHC.

L'accueil de la collaboration DØ à une participation de groupes français a été très chaleureux. Afin de montrer tout l'intérêt qu'elle porte à notre participation future, la collaboration nous offre la possibilité de participer à l'analyse des données du Run I, nous ouvrant, dès maintenant, l'accès à la physique au TeVatron.

Après comparaison, les détecteurs CDF et DØ nous paraissent équivalents, avec toutefois un léger avantage pour DØ dans la physique à grand P_t qui nous intéresse plus particulièrement.

Nous proposons une contribution dans deux domaines où les groupes français ont une bonne expérience: la calorimétrie et le détecteur de traces. Cette contribution portera principalement sur la préparation à l'analyse et sur l'analyse elle-même, avec une participation à l'amélioration de la calibration en ligne du calorimètre. La collaboration avec un groupe du DAPNIA/SPP Saclay est un atout important dans notre réussite car elle permet à la participation française d'atteindre une taille critique pour participer pleinement à l'analyse des données.

Plus de 80 thèses ont déjà été soutenues avec les données du Run I. Il ne fait guère de doutes que le Run II pourra également offrir de nombreux sujets de thèses à de jeunes physiciens. Pour ceux-ci, comme pour leurs aînés, la participation à une expérience au TeVatron constituera une bonne préparation en vue du LHC.

References

[1] TeVatron Status and Future Plans FERMILAB-Conf-96/408

[2] http://d0sgi0.fnal.gov/hardware/upgrade/upgrade.html, DØ Upgrade Overview

[3] même adresse WWW, Physics with the DØ Upgrade Future Electroweak Physics at the Fermilab TeVatron Report of the tev-2000 study group, FERMILAB-Pub-96/082

[4] B Vertex Tagging in the DØ Experiment Note DØ 3244 Juin 97 : http://www-d0.fnal.gov/hardware/upgrade/upgrade.html

[5] Prospects for Mixing and CP Violation at the TeVatron, FERMILAB-conf-96/274-E

[6] A vertex Trigger for Run II, DØ Note 2984 An Impact Parameter Trigger, DØ Note 2350 Silicon Vertex Tracker Tdr, CDF/Doc/Trigger/Public 3108

[7] Measurement of the Top Quark Mass Using Dileptons Events Fermilab-Pub-97/172-E soumis à Physical Review Letters

[8] DØ Results on W Boson Properties contribution à la XVIII Conférence Internationale sur les Interactions Leptons Photons 28/07-01/08 Hambourg

A Bilan des Runs précédents

La première phase (Run 1A et Run 1B), qui avait débuté en Juin 1992 et s'est achevée en Février 1996, a permis d'accumuler une luminosité intégrée de 110 pb^{-1}, par expérience. La luminosité instantanée est passée de 5 $10^{30}\mathrm{cm}^{-2}\,\mathrm{s}^{-1}$ (Run 1A de 92 à 93) à 2 $10^{31}\mathrm{cm}^{-2}\,\mathrm{s}^{-1}$ (Run 1B de 94 à 96).

– Conditions de fonctionnement du TeVatron :

- $\sqrt{s} = 1.8$ TeV.
- 6+6 paquets dans la machine.
- temps entre deux croisements: 3.4 μs.
- $\mathcal{L}$ typique : 1.6 10^{31} cm^{-2} s^{-1}. Le record est de 2.5 $10^{31}\mathrm{cm}^{-2}$ s^{-1}.
- $\mathcal{L}.dt$ par semaine : 3.3 pb^{-1}.
- Nombre moyen d'interactions par croisement: 2.6.

– Résultats principaux :

- Découverte du quark **top**, mesure de sa masse et de sa section efficace de production [7].
- Mesure de la masse du boson $\mathrm{W}^{\pm}$ avec un précision de 110 $\mathrm{MeV/c^2}$ [8].
- Mesure de la section efficace de production des jets et vérification du bon accord avec les prédictions de QCD
- Limites sur les masses de particules nouvelles (leptoquarks, W', Z', Supersymétrie ...).

B Amélioration du TeVatron

Pour multiplier la luminosité instantanée de la machine par un facteur ≥ 10, il n'est pas possible d'augmenter le nombre de protons et d'antiprotons dans chaque paquet, car le nombre d'interactions mutiples par croisement devient prohibitif. La solution consiste à multiplier le nombre de paquets en circulation.

Pour cela, l'anneau principal, dont la fonction est à la fois d'accélérer les protons pour la production d'antiprotons et de servir d'injecteur pour le TeVatron, doit être remplacé. Un nouvel accélérateur, mieux adapté aux deux fonctions principales remplies par l'ancien, est en cours de construction.

Les conditions de fonctionnement du TeVatron pour le Run II sont données dans la table suivante et sont comparées à celles du Run I.

	Run IB	Run II	unité
Protons/paquets	2.32×10^{11}	2.70×10^{11}	
Antiprotons/paquet	5.50×10^{10}	5.50×10^{10}	
Total Antiprotons	3.30×10^{11}	1.98×10^{12}	
Emittance proton	23π	18π	mm-mrad
Emittance antiproton	13π	15π	mm-mrad
β au point de croisement	0.35	0.35	m
Energie	0.9 + 0.9	1 + 1	TeV
Nombre de paquets	6 + 6	36 + 36	
Longueur paquets (rms)	0.60	0.18	m
Luminosité typique	1.6×10^{31}	2.0×10^{32}	$cm^{-2}s^{-1}$
Luminosité intégrée	3.2	41.0	pb^{-1}/semaine
Temps de croisement	3500	396	ns
Interactions par croisement (@ 45 mb)	2.5	5.3	

Table 3: Evolution de la luminosité intégrée du TeVatron.