17 Novembre 1997

Programme Futur de l'Expérience H1 à HERA

H1-IN2P3

(LPNHE-Paris, LAL-Orsay)
LPNHE-Palaiseau, CPPM-Marseille)

1 Introduction

Depuis sa mise en service en 1992 sur le site de DESY à Hambourg, le collisionneur électron-proton HERA constitue avec le LEP et le TEVATRON un des grands programmes de physique des hautes énergies. La France a participé à la construction de l'accélérateur. Les physiciens français se sont rassemblés sur l'une des deux Collaborations de HERA, l'expérience H1, dont ils représentent un des quatre groupes principaux aux côtés de leurs collègues allemands, anglais et d'Europe de l'est.

HERA est actuellement l'objet d'un ambitieux programme d'amélioration, appelé HERA-2000 dans la suite, dont la réalisation permettra de disposer de faisceaux d'électrons polarisés longitudinalement, et d'accumuler entre 2000 et 2005 environ dix fois plus d'interactions que d'ici la fin du siècle. A cette époque et jusqu'au démarrage du LHC, HERA sera le seul collisionneur de haute énergie en service en Europe. L'extension de son programme de physique le rendra compétitif et en grande partie complémentaire de celui qui sera mené sur la phase II du TEVATRON. Ces perspectives mettent en evidence l'intérêt pour l'IN2P3 de rester présent sur HERA-2000 et de consolider les positions acquises sur ce domaine de physique.

Après un résumé de l'état actuel de HERA et des améliorations prévues (Chapitre 2), nous rappelons brièvement les principales contributions de l'IN2P3 à la construction du détecteur H1 et l'analyse des données (Chapitre 3). Nous détaillons ensuite les perspectives de physique ouvertes par HERA-2000 (Chapitre 4) puis présentons comment les physiciens de l'IN2P3 souhaitent contribuer aux améliorations de H1 associées à celles de l'accélérateur (Chapitre 5).

2 Situation et perspectives de HERA

Depuis son entrée en service, HERA a vu ses performances s'améliorer régulièrement pour atteindre depuis deux ans un régime quasi-nominal de fonctionnement. Chaque expérience dispose actuellement d'une luminosité intégrée d'environ 40 pb^{-1} de collisions positron-proton, dont les deux tiers ont été délivrés en 1997. Durant cette période, la Collaboration H1 a mené à son terme un programme varié d'améliorations du détecteur, concentré sur les régions proches des faisceaux : calorimétrie arrière, détecteur de vertex, spectromètres avant à neutron et proton. Les données actuelles permettent des tests précis de la chromodynamique quantique sur une grande variété de processus physiques (photo-production, diffusion inélastique, diffraction...) et ont fourni de premières indications de phénomènes intéressants dans le domaine des grands transferts d'impulsion. Il est prévu de les compléter dans les deux années à venir par une quantité équivalente de collisions électron-proton.

A plus long terme, HERA abordera une nouvelle phase de fonctionnement avec une augmentation importante des luminosités délivrées, accompagnée de la possibilité de disposer de faisceaux d'électrons polarisés longitudinalement. Un accroissement des énergies des faisceaux de 10 à 15 % est aussi en discussion. L'augmentation de luminosité se fera par une meilleure focalisation des faisceaux, obtenue par l'introduction d'aimants supraconducteurs à l'intérieur des détecteurs, jusqu'à 1,7 mètre de part et d'autre du point d'interaction. Un facteur 5 en luminosité instantanée est attendu par rapport aux performances actuelles, ce qui permet d'envisager d'accumuler environ 150 pb^{-1} de collisions chaque année. Ces améliorations doivent etre mises en oeuvre durant l'hiver 1999-2000, pour un fonctionnement jusque vers 2005 environ.

Ce programme à long terme conduit la Collaboration H1 à engager une nouvelle série d'améliorations du détecteur, destinées à l'adapter aux conditions de fonctionnement prévues pour après 2000. Une lettre d'intention [1] vient d'être soumise aux organismes payeurs des différents instituts. Elle se concentre sur les objectifs de physique et les conséquences de l'introduction des aimants focalisateurs sur H1. Une proposition technique détaillée des améliorations du détecteur est en préparation pour Février 1998. La présente note reprend les éléments de ces rapports en développant les sujets d'intérêt des physiciens de l'IN2P3.

3 Contributions principales de l'IN2P3

Les groupes H1 de l'IN2P3 comptent actuellement environ 25 physiciens issus de quatre laboratoires : l'Ecole polytechnique, le LAL, Paris VI/VII et le CPPM, qui a rejoint la Collaboration en 1994. Avec le groupe du CEA, ils ont contribué à la conception et la construction du détecteur et se sont investis dans la plupart des aspects de la physique de HERA.

3.1 Contributions techniques

Les principaux apports se sont faits autour de la calorimétrie, du déclenchement et de l'acquisition de données.

L'originalité principale du détecteur H1 [2] par rapport à son homologue ZEUS est la présence d'un grand calorimètre à argon liquide compact et hermétique [3], destiné à la fois à la calorimétrie électromagnetique et hadronique. L'IN2P3 a construit les modules hadroniques du barril central et assuré l'installation complète de toute la partie centrale et arrière du calorimètre. Il a aussi pris en charge une partie de l'électronique analogique de lecture, l'électronique de calibration, ainsi que les systèmes d'alimentation en haute tension et de contrôle de pureté de l'argon. Enfin, il a assumé la conception, l'installation et la gestion de l'acquisition de données de l'ensemble des calorimètres de H1. L'IN2P3 a aussi construit une partie des chambres à fils proportionnelles de H1 et l'électronique de déclenchement correspondante.

Plus récemment, l'IN2P3 s'est investi dans la campagne d'amélioration du détecteur H1, en proposant la technique de calorimétrie à fibres scintillantes de type "SPACAL" pour remplacer le calorimètre électromagnétique arrière [4]. Il a construit l'électronique de lecture et de déclenchement [5] du nouveau calorimètre, caractérisée par une réponse temporelle aux spécifications particulièrement sévères. L'IN2P3 a aussi construit un des deux systèmes de déclenchement central de "niveau 2", destiné à la réjection en amont du bruit de fond.

3.2 Analyses physiques

Les physiciens de l'IN2P3 sont impliqués sur les trois grands domaines de physique de HERA concernant l'interaction forte, l'interaction électro-faible et la recherche de phénomènes nouveaux. Parmi leur principales contributions, citons:

- la mesure des fonctions de structure du proton, des taux de production de jets hadroniques, et les ajustements correspondants permettant l'extraction de la constante de couplage forte et de la densité de gluons dans le proton;
- les mesures de section efficace d'interaction à courant chargé et l'étude de la production directe de bosons W;
- les recherches de lepto-quarks, particules supersymétriques et fermions excités;

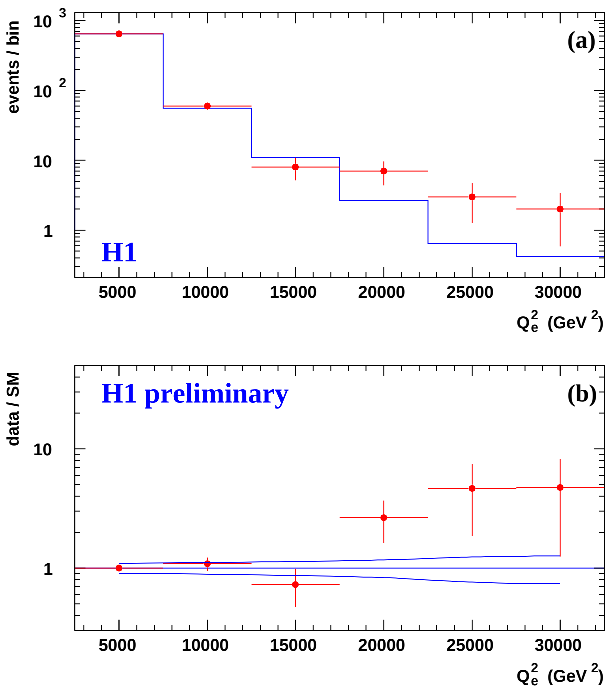

Figure 1: a) Variation en fonction de Q^2 du nombre observé d'interactions à Courant Neutre (24 pb^{-1}), comparée à la prédiction du Modèle Standard (histogramme); b) Rapport du nombre observé sur le nombre prédit en fonction de Q^2. La zone délimitée par les deux courbes de part et d'autre de l'axe horizontal indique l'incertitude systématique sur la prédiction du Modèle Standard.

Sur ces sujets, qui reposent en grande partie sur la calorimétrie, les physiciens de l'IN2P3 ont su exploiter leur expertise du détecteur pour faire progresser les techniques d'analyse [6], et ont été les principaux éditeurs des résultats récents les plus significatifs de H1:

- observation d'une indication d'excès d'interactions à courant neutre à très grand transfert de quadri-impulsion Q^2 [7] (figure 1);
- mesure précise des fonctions de structure sur tout le spectre en Q^2 [8] (figure 2), pour un meilleur contrôle des prédictions du modèle standard à très grand Q^2;
- observation d'événements avec muon isolé et impulsion transverse manquante, de topologie peu probable dans le cadre de la production standard de bosons W [9] (figure 3);

L'importance de ces contributions se traduit par la présence de trois physiciens de l'IN2P3 parmi les responsables des groupes de physique de H1.

4 Perspectives de physique à HERA-2000

L'augmentation importante des luminosités délivrées et la possibilité de disposer de faisceaux d'électrons polarisés vont considérablement étendre le champ d'investigation de HERA. En particulier, l'étude des phénomenes rares à grande impulsion transverse va prendre un essor nouveau, permettant aux physiciens francais de développer l'expertise acquise dans ce domaine. Dans la suite, nous mettons en lumière quelques uns des sujets principaux de la physique de HERA-2000, en séparant les aspects métrologiques et exploratoires. Cette compilation est

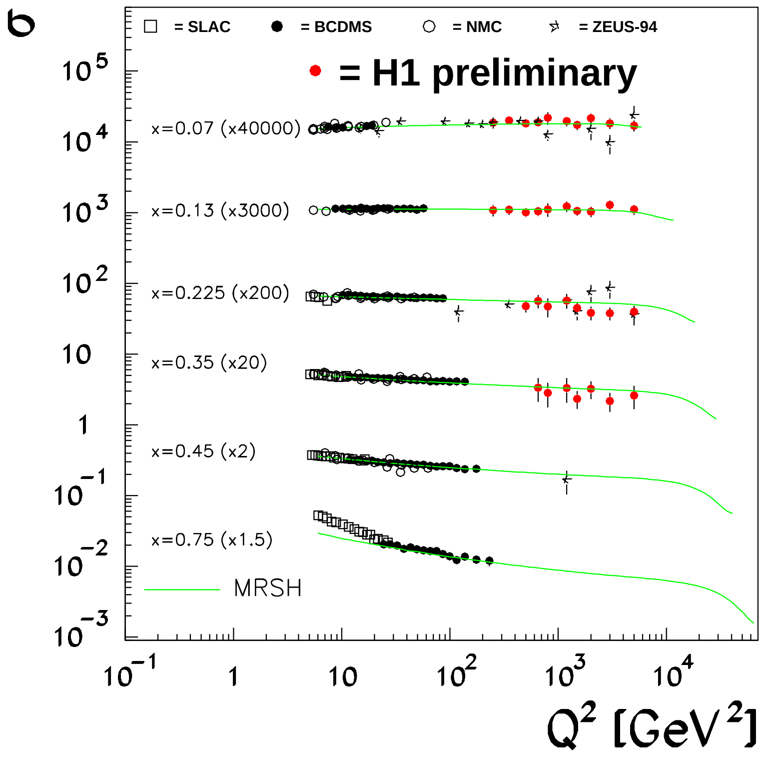

Figure 2: Section efficace réduite d'interaction à Courant Neutre ($\equiv F_2$ à bas Q^2), mesurée en fonction de Q^2 pour différentes valeurs de la variable de Bjorken x. La mesure récente de H1 (22 pb^{-1}) est comparée à celles des expériences sur cible fixe, ainsi qu'aux résultats de ZEUS obtenus avec une moindre luminosité. Les courbes représentent la prédiction du Modèle standard fondée sur la paramétrisation MRSH des densités de partons dans le proton.

loin d'être exhaustive. Par exemple, de nombreuses études seront ouvertes dans les domaines de la production de saveurs lourdes et d'états hadroniques rares [1]. Nous nous limitons ici volontairement aux centres d'intérêt actuels des physiciens de l'IN2P3.

4.1 Etude des interactions forte et électro-faible

En se fondant sur une luminosité intégrée de l'ordre de 1000 pb^{-1} accumulée entre 2000 et 2005, environ 10000 interactions à Courant Chargé (CC) et 100000 interactions à Courant Neutre (NC) sont attendues pour des valeurs de Q^2 supérieures à 1000 GeV^2.

4.1.1 Interaction forte

Pour des valeurs de Q^2 de quelques milliers de GeV^2, la section efficace d'interaction NC est encore dominée par l'échange électromagnétique. HERA-2000 permettra d'effectuer dans ce domaine, actuellement limité en précision statistique, une mesure précise de la fonction de structure F_2 du proton (figure 4). L'étude des violations d'invariance d'échelle de F_2 sur l'ensemble du spectre en Q^2, combinée aux mesures antérieures réalisées sur cible fixe, donnera une estimation précise de la densité de gluons dans le proton, et une mesure de la constante de couplage forte $\alpha_s(M_Z)$ avec une erreur de l'ordre de 0.001 à 0.002 [10]. Cette précision représente un défi pour les interprétations théoriques, dont l'incertitude est actuellement de l'ordre de 0.005. Des calculs à l'ordre "NNLO" seront nécessaires, l'avantage de la mesure de

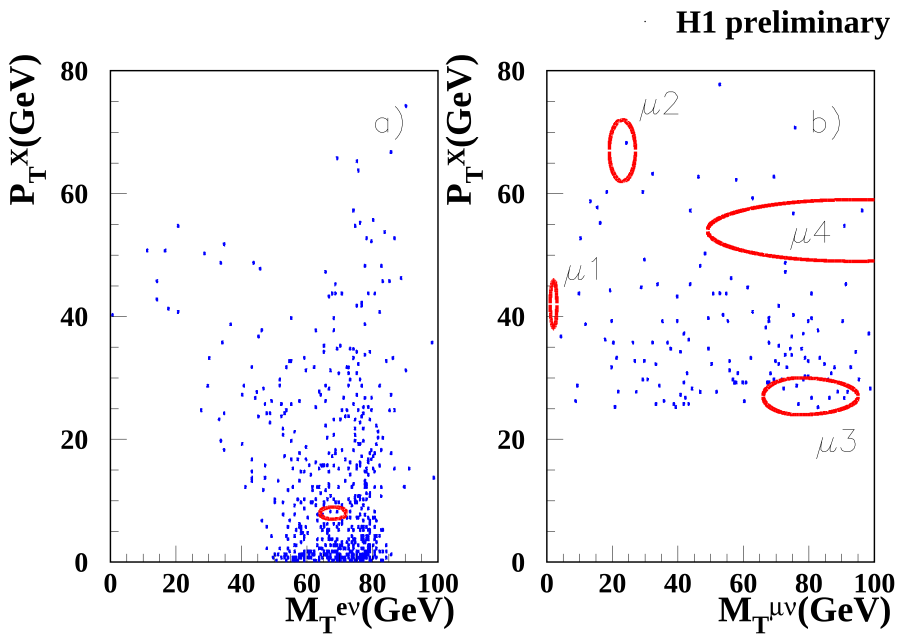

Figure 3: Paramètres cinématiques des cinq événements avec lepton isolé et impulsion transverse manquante observés par H1 (24 pb^{-1}): a) canal électron, b) canal muon. $M_T^{l\nu}$ représente la masse transverse du système lepton-neutrino et P_T^X l'impulsion transverse du jet hadronique. Les ellipses indiquent l'incertitude expérimentale sur la mesure de chaque événement. Les points montrent la prédiction du Modèle Standard (production de bosons W avec désintégration leptonique) pour une luminosité intégrée 500 fois supérieure à celle des données.

HERA étant de concerner un processus purement inclusif parfaitement sous contrôle.

Par ailleurs, les sections efficaces d'interaction NC et CC en modes électron et positron sont sensibles à différents types de quarks. Leur combinaison permettra l'extraction des densités individuelles de quarks pour des valeurs de Q^2 encore inexplorées.

Au-delà de leur intérêt intrinsèque, ces mesures seront cruciales pour extrapoler de façon fiable les prédictions du modèle standard à très grand Q^2 ($Q^2 \geq 10000 GeV^2$). De ce point de vue, HERA a l'avantage sur le TEVATRON de pouvoir auto-contraindre les densités de partons sous-jacentes aux processus électro-faibles et à d'éventuels phénomènes nouveaux.

4.1.2 Paramètres électro-faibles

Pour des valeurs de Q^2 supérieures à quelques milliers de GeV^2, la contribution faible aux sections efficaces NC devient significative, et peut être isolée de la contribution électromagnétique par soustraction des sections efficaces mesurées avec faisceaux d'électrons et de positrons. La polarisation est ici essentielle pour une exploitation quantitative des résultats: à $Q^2 \approx 10000 GeV^2$, la différence des sections efficaces NC obtenues avec des électrons et positrons gauches est environ quatre fois plus grande qu'avec des faisceaux non polarisés. Les interactions NC polarisées de très grand Q^2, associées à l'ensemble des interactions CC, permettent donc une étude quantitative du modèle électro-faible. Indépendamment des précisions atteintes, cette étude est importante car complémentaire de celles menées au LEP et au TEVATRON dans la voie s.

L'ajustement du modèle sur les données peut se faire de deux façons: en mesurant directe-

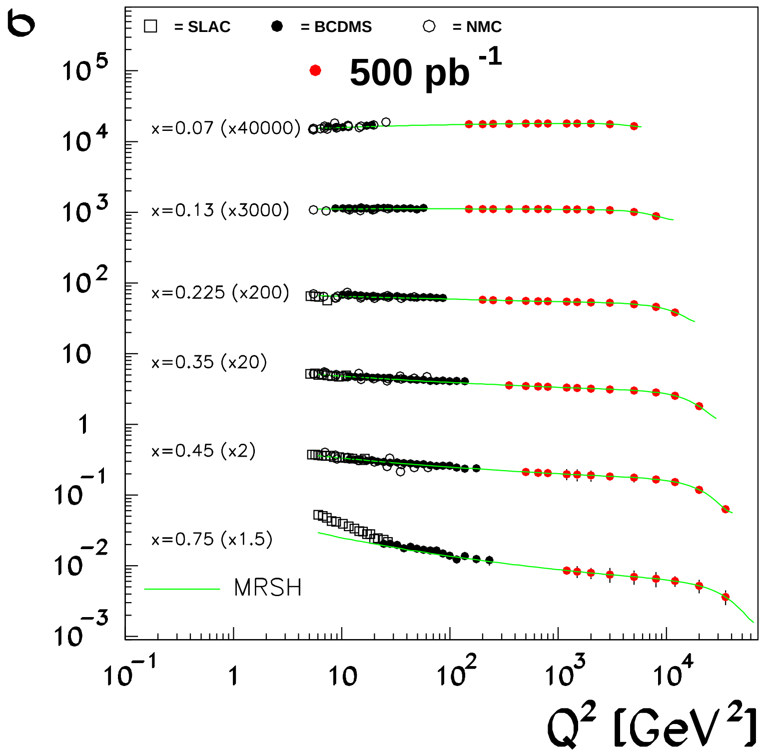

Figure 4: Détermination attendue de la section efficace réduite d'interaction NC pour une luminosité intégrée de 500 pb^{-1} de collisions e^+p. Sont aussi indiqués les résultats actuels des expériences sur cible fixe, ainsi que la prédiction du Modèle Standard fondée sur la paramétrisation MRSH des densités de partons dans le proton.

ment les paramètres libres du modèle auxquels les données sont sensibles, ou en supposant ces paramètres connus à partir d'expériences indépendantes et en extrayant les valeurs de paramètres contraints dans le cadre du modèle pour vérifier leur compatibilité avec les valeurs prédites.

Dans la première optique, les deux paramètres auxquels les données de HERA sont sensibles sont la masse du boson W et, dans une moindre mesure (par l'intermédiaire des corrections radiatives) la masse du quark top [11]. L'essentiel de l'information provient des sections efficaces d'interaction CC. La figure 5 montre les précisions attendues : avec un lot modéré d'interactions e^-p polarisées à Courant Chargé, et en supposant la masse du top mesurée au TEVATRON à $\pm 5 GeV$ près, l'erreur attendue sur M_W est de l'ordre de 100 MeV. Elle pourra etre réduite à $\approx 50 MeV$ avec une luminosité plus importante et l'exploitation des sections efficaces NC polarisées. Ces valeurs sont à comparer à l'erreur de 40 MeV attendue sur la phase II du TEVATRON.

Dans la deuxieme optique, les sections efficaces NC permettent la détermination des couplages des quarks au Z^0 [12]. Les sections efficaces non polarisées sont surtout sensibles aux couplages axiaux a_u et a_d, tandis que la polarisation donnera accès aux couplages vecteurs v_u et v_d. Les précisions attendues à HERA-2000, montrées sur la figure 6, sont du même ordre ou meilleures que celles obtenues au LEP pour les quarks lourds. Toujours dans la même optique, il sera possible à HERA-2000 de chercher la présence de couplages anormaux à trois bosons $WW\gamma$ [13]. De tels couplages sont généralement quantifiés sous la forme de deux paramètres κ et λ (égaux à 1 et 0 dans le cadre du modèle standard) contrôlant les termes du lagrangien le plus général respectant l'invariance de jauge. Le processus le plus sensible à ce type de couplage

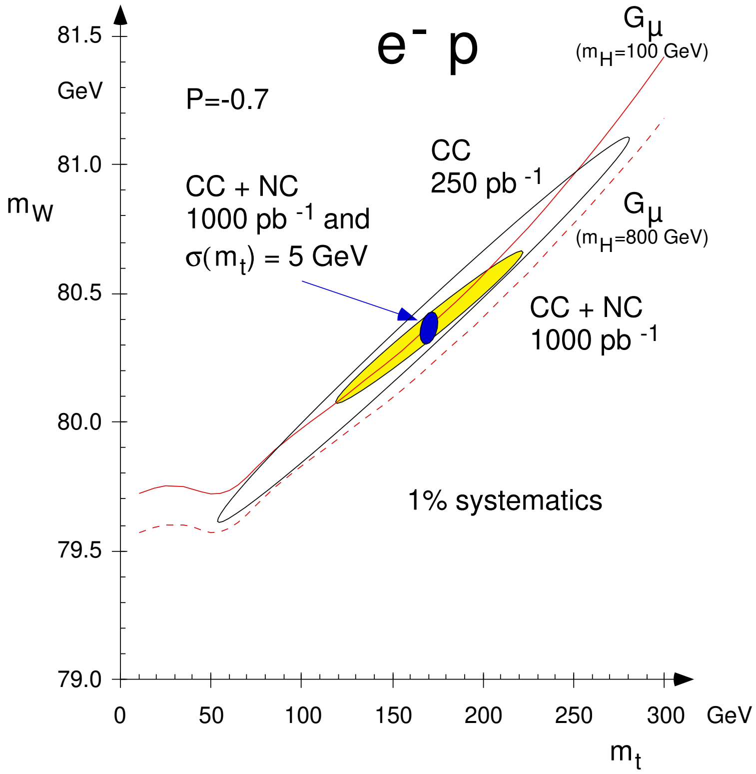

Figure 5: Incertitude attendue sur l'estimation des masses du boson W et du quark top, en utilisant soit 250 pb^{-1} d'interactions CC $e^{-}p$ polarisées (ellipse extérieure), soit 1000 pb^{-1} d'interactions CC et NC $e^{-}p$ polarisées (ellipse grisée). L'ellipse sombre correspond à la précision attendue sur M_W si l'on suppose la masse du top connue à 5 GeV près.

est la production directe de bosons W, dont une centaine est attendue à HERA-2000 dans le mode de désintégration leptonique. La figure 7 compare les précisions attendues sur κ et λ à celle prévues à LEP II et au TEVATRON II. Contrairement à celles de LEP II, les données de HERA sont sensibles au couplage $WW\gamma$ indépendamment du couplage WWZ^0. Le paramètre le mieux contraint sera κ, avec une précision du même ordre qu'au TEVATRON II. Notons que les événements avec muon isolé et impulsion transverse manquante récemment observés par H1 [9] pourraient correspondre à des déviations de κ non exclues actuellement.

4.2 Recherche de phénomènes nouveaux

La configuration originale lepton-hadron du collisionneur HERA en fait un instrument unique d'investigation de phénomènes nouveaux, complémentaire de celui que représente le TEVATRON en mode purement hadronique. Les améliorations prévues permettront d'exploiter complètement le potentiel de découverte de HERA jusqu'aux limites de l'espace de phase, fixées par l'énergie $\sqrt{s}$ disponible dans le centre de masse de la réaction. Celle-ci, actuellement de 300 GeV, pourrait être augmentée jusqu'à 330 ou même 350 GeV à HERA-2000. La polarisation des faisceaux d'électrons constituera aussi un outil puissant de suppression du bruit de fond standard et d'étude quantitative d'éventuels signaux.

HERA-2000 permettra d'explorer un domaine inaccessible à LEP II et à court terme au TEVATRON II, en particulier pour la recherche de nouveaux bosons possédant des couplages lepton-quark tels les leptoquarks et les squarks en supersymétrie avec violation de la R-parité.

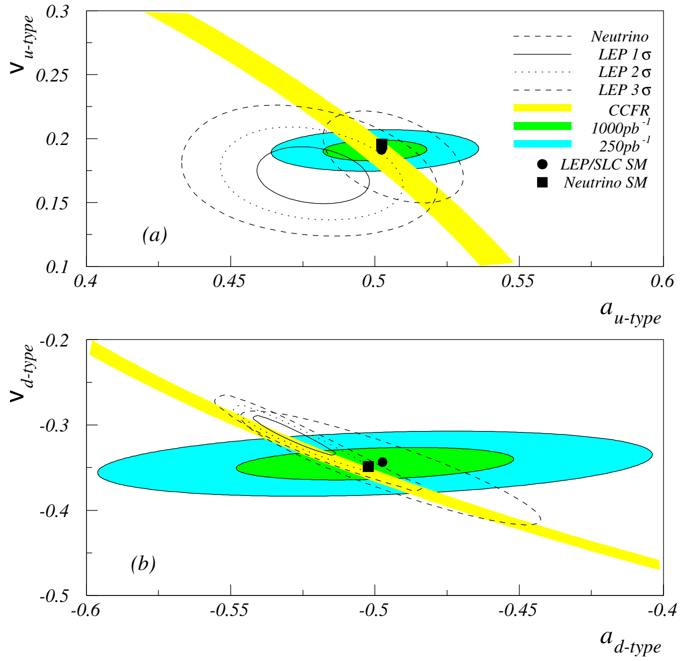

Figure 6: Précision attendue sur la détermination des couplages axial et vecteur au Z^0 des quarks u et d, pour deux hypothèses de luminosité intégrée (ellipses sombre et grisée). Dans chaque cas, la luminosité disponible est supposée répartie équitablement entre 4 lots d'interactions e^-p et e^+p polarisées positivement et négativement à 70 %. Ces précisions sont comparées aux résultats obtenus à LEP sur les quarks lourds ainsi qu'à ceux des expériences neutrino.

Une sensibilité inégalée est ainsi offerte pour divers couplages impliquant différentes saveurs et chiralités de quarks et de leptons, qui ne peuvent à ce jour être exclus par les expériences de précision telles la Violation de la Parité dans les Atomes, la Double Désintégration β sans neutrino ou les désintégrations rares ou interdites des mesons pseudoscalaires. HERA-2000 offrira aussi un potentiel de découverte pour une sous-structure des fermions ou de nouvelles interactions de contact à quatre fermions à une échelle de plusieurs TeV. L'étude de la structure du proton pourrait mener à la découverte d'une évolution dynamique anormale ou une contribution exotique (e.g. charme intrinsèque). La recherche systématique de processus avec production de leptons et de jets à grand P_T pourrait ici jouer un rôle déterminant.

4.2.1 Les nouveaux couplages lepton-quark

L'observation récente d'une indication d'excès d'événements à très grand Q^2 dans les interactions NC et CC [7] a suscité un intérêt spéculatif considérable pour l'existence de nouveaux bosons se couplant aux paires lepton-quark [14]. De tels bosons pourraient par exemple être des leptoquarks constituant une “cinquième” force responsable de la conversion des leptons en quarks. Il pourrait aussi s'agir de squarks, partenaires supersymétriques associés aux quarks connus.

Les bosons leptoquarks sont des triplets de couleur de charge electromagnétique fractionnaire portant à la fois les nombres quantiques leptoniques et baryoniques. Ils apparaissent autant dans des théories de Grande Unification que dans des modèles inspirés des Supercordes, des modèles à Fermions Composites, ou des théories de technicouleur. De tels bosons, scalaires (spin 0) ou vectoriels (spin 1), pourraient être produits en résonance à HERA par fusion lepton-quark via un nouveau couplage de Yukawa λ violant la parité de façon maximale [15]. HERA-

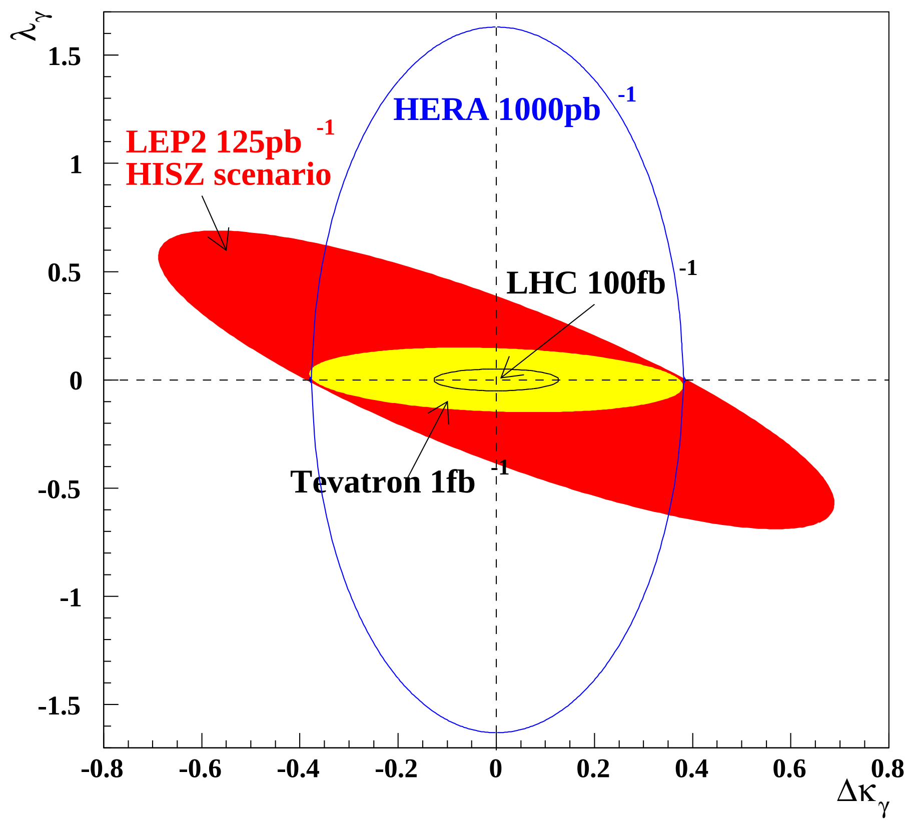

Figure 7: Limites attendues (niveau de confiance de 95 %) sur les couplages anormaux $WW\gamma$. Sont aussi indiquées les précisions attendues à LEP II, au TEVATRON II et au LHC.

2000 permettra d'atteindre des valeurs de couplages inférieures au couplage electromagnétique ($\lambda < \sqrt{4\pi\alpha}$) pour des masses approchant la limite cinématique $M \simeq \sqrt{s}$. De telles masses ne pourront être atteintes au TEVATRON II pour des scalaires que dans les modèles où les rapports d'embranchement sont maximaux dans les voies les plus favorables. Dans des modèles "réalistes", les leptoquarks peuvent par exemple se mélanger via un couplage au champ de Higgs ou encore interagir avec de nouveaux fermions lourds. En ouvrant de nouveaux modes de désintégration, ces interactions supplémentaires atténuent très sensiblement les contraintes du TEVATRON.

Les squarks pourraient aussi être produits en résonance à HERA via un couplage de Yukawa mais cette fois l'interaction impliquerait une violation de la R-Parité (ici, non-conservation du nombre leptonique) [16]. De tels couplages apparaissent naturellement dans les théories supersymétriques et pourraient jouer un rôle important en cosmologie ou pour la physique de la violation CP. Des squarks de seconde ou de troisième génération tel le squark "charmé" $\tilde{c}_L$ ou le squark top $\tilde{t}_L$ pourraient être produits à HERA (via une fusion e^+d) pour des valeurs de masses et de couplages encore inaccessibles ailleurs. H1 offre une excellente sensibilité à un grand nombre de modes de désintégration possibles des squarks impliquant des leptons et/ou des jets à grand P_T (figure 8). L'observation de processus du type $e + p \rightarrow \mu + jet + X$ tels qu'observés par H1 [9] pourrait constituer une spectaculaire manifestation de la supersymétrie.

Par ailleurs, HERA-2000 offrira des capacités uniques de détermination des nombres quantiques associés à la production éventuelle d'une résonance, via l'analyse des distributions angulaires associées aux produits de désintégration et l'exploitation de la polarisation du faisceau $e^{\pm}$.

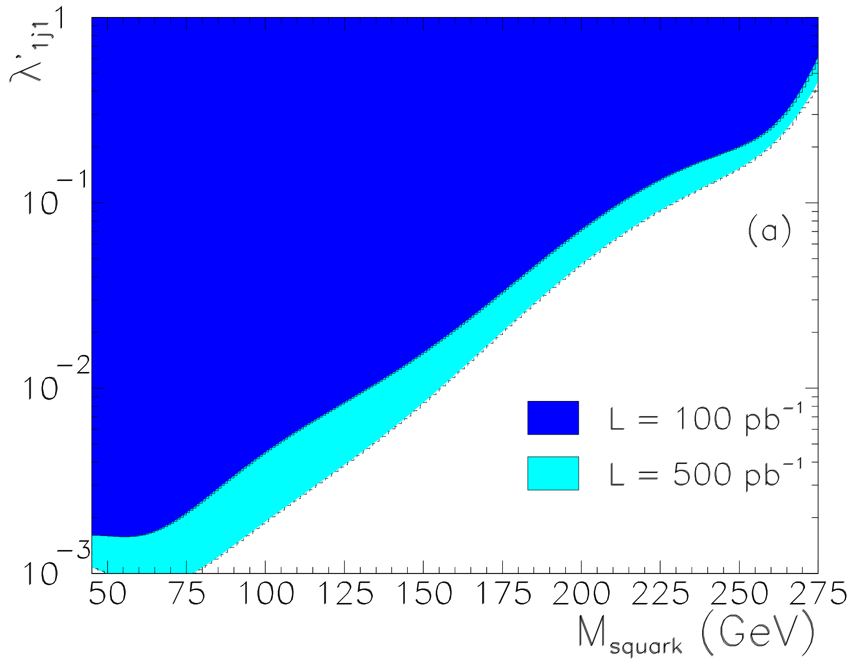

Figure 8: Sensibilité de HERA-2000 aux couplages λ'_{1j1} (intervenant dans les modèles supersymétriques avec violation de R-parité) pour $\sqrt{s} = 300\ GeV$, présentée sous la forme d'une limite supérieure d'exclusion sur λ'_{1j1} (niveau de confiance de 95 %) en fonction de la masse du squark, pour des luminosités intégrées de 100 pb^{-1} (grisé foncé) et 500 pb^{-1} (grisé clair). Les couplages explorés sont tels que les désintégrations de squarks via couplages de jauge (e.g. états finaux mutlileptons et/ou multijets) dominent.

4.2.2 Les fermions composites

Une structure composite des fermions pourrait se manifester en collisions ep par la production d'états excités. La recherche de fermions excités l^* et q^* est particulièrement attrayante à HERA [17]. Ceux-ci peuvent être produits via l'aborption de bosons de jauge virtuels jusqu'à la limite cinématique $\sqrt{s}$. La section efficace de production dépend de couplages c (choisis sans dimension) aux bosons de jauge standards et d'un paramètre d'échelle Λ. Alors que les recherches en voie directe de leptons excités seront limitées à LEP II à $M_{l^*} < 100\ GeV$ pour la production par paire et $M_{l^*} < 200\ GeV$ pour la production simple, HERA-2000 permettra d'explorer le domaine $M > 200 GeV$ pour des "couplages" $c\beta^{1/2}/\Lambda$, (où β est le rapport d'embranchement dans le canal de désexcitation étudié) atteignant $5 \times 10^{-4}\ GeV^{-1}$ pour l'électron excité e^* et $5 \times 10^{-3}\ GeV^{-1}$ pour le neutrino excité ν^*. La recherche de quark excité à HERA-2000 sera complémentaire de celle du TEVATRON, où l'excitation procède via des couplages quark-gluon.

4.2.3 Les interactions de contact

A une échelle caractéristique $\Lambda^2 \gg Q^2$, de la nouvelle physique pourrait se manifester comme une "interaction de contact" interférant de façon constructive ou destructive, selon les paramètres, avec l'échange standard de bosons électrofaibles.

Les collisions e^+p sont particulièrement sensibles à des interactions de contact impliquant un lepton et un quark de chiralités opposées. Une telle interaction est fortement contrainte par les mesures de violation de la parité dans les atomes. Elle est de plus contrainte par la production Drell-Yann de paires de leptons au TEVATRON et de paires de jets au LEP puisqu'elle affecterait respectivement les canaux croisés $q\bar{q} \rightarrow e^+e^-$ et $e^+e^- \rightarrow q\bar{q}$. La découverte (ou l'étude complémentaire à LEP II et au TEVATRON) d'une nouvelle physique via une interaction de contact reste possible à HERA-2000 pour une échelle de sous-structure Λ pouvant atteindre 5 TeV.

5 Contributions aux améliorations du détecteur

Pour mener à bien le programme de physique de HERA-2000, le composant essentiel du détecteur H1 sera le calorimètre à argon liquide. Les analyses récentes à grand Q^2 ont mis en évidence l'atout que représentent sa résolution en énergie électromagnétique et sa granularité spatiale, tant pour les mesures inclusives que pour les études exclusives. Aucune modification du calorimètre, détecteur très stable par essence, n'est envisagée. Nous proposons cependant une mise à niveau de son acquisition de données pour en améliorer les performances et assurer sa pérénite à long terme.

Une grande part des études menées à HERA-2000 se fera en combinant des lots d'événements obtenus en modes positron et électron avec des polarisations variées. La luminosité et le degré de polarisation du faisceau devront donc être déterminés avec des précisions de l'ordre du %. De telles performances ne vont pas de soi, car les modifications d'optique des faisceaux vont degrader le fonctionnement du luminomètre actuel, et les polarimètres en service pour l'expérience HERMES sont loin d'avoir la précision requise. Nous proposons donc de contribuer aux efforts entrepris sur ces deux points, cruciaux pour les analyses physiques que nous envisageons.

5.1 Acquisition de données des calorimètres

Les calorimètres de H1 delivrent deux types de données [18]: des échantillons à haute granularité spatiale, lus avec une dymamique importante et utilisés pour la mesure calorimétrique fine, et des échantillons de plus faible granularité mais delivrant un signal rapide utilisé pour le déclenchement et l'estimation temporelle des dépôts d'énergie. Dans les deux cas, les données sont traitées en parallèle par une batterie de processeurs DSP et rassemblées par un processeur RISC unique (AM29000) pour transfert vers l'acquisition centrale de H1. L'ensemble est contrôlé par plusieurs stations OS9 et un cluster de stations VAX. Il représente une quarantaine de chassis abritant environ 200 cartes au standard VME. Depuis le démarrage en 1992, ce système d'acquisition s'est révélé l'un des plus stables de H1 et n'a jamais été le facteur limitant des prises de données.

Les performances actuelles du système montrent un temps mort intrinsèque de premier ordre de 1,05 ms, augmenté de quelques ms dans quelques % des cas par des effets de $2^{ème}$ ordre. Ces performances n'exigent pas de refonte importante du système pour l'adapter au mode d'opération haute luminosité. Nous prévoyons de ramener le temps mort de 1^{er} ordre à 0,8 ms en optimisant le séquencement des ADC, et en étudiant avec nos collègues de Saclay la possibilité de les remplacer par une version compatible plus rapide. Les effets de $2^{ème}$ ordre seront supprimés par une optimisation du code du processeur RISC AM29000, et son remplacement éventuel par un processeur aux entrées-sorties plus rapides.

L'essentiel des améliorations envisagées concerne le contrôle du système, pour lequel nous proposons de remplacer les stations VAX et OS9 actuelles par un ensemble integré de stations UNIX. La plupart de ces stations (correspondant aux stations OS9 actuelles) seront implantées dans le VME et opèrerons une version temps réel d'UNIX. Les autres (correspondant aux VAX actuels) seront moins spécialisées et externes au VME. L'ensemble sera interconnecté sur un réseau privé ethernet à 100 Mb/s et communiquera en utilisant les outils UNIX standards. Cet environnement UNIX intégré fournira un meilleur cadre à l'amélioration des procédures de contrôle et de calibration, nécessaire pour une bonne opération des calorimètres à HERA-2000.

Ce projet de migration vers UNIX est proposé en collaboration avec nos collègues allemands. Il doit mobiliser environ deux physiciens à plein temps, assistés de deux ingenieurs, pour les deux années à venir. Le coût total est estimé à 700 KF pour une douzaine de stations. Nous prévoyons dès cet hiver de remplacer la station OS9 associée au calorimètre arrière SPACAL et d'adjoindre une station UNIX au cluster VAX. Cela permettra d'engager dès maintenant l'adaptation des logiciels et de la poursuivre dans les deux années à venir sans interférer avec les prises de données. La migration complète vers UNIX est prévue pour l'hiver 1999-2000 [19].

5.2 Luminométrie et polarimétrie

Les détecteurs de H1 qui ne sont pas capables de supporter l'augmentation des taux de comptage due à la haute luminosité de HERA sont essentiellement les petits calorimètres proches des faisceaux: étiqueteur de photon, étiqueteur d'électron et autres bouchons, qui devront être redéfinis en fonction des modifications des aimants et des collimateurs. Les améliorations nécessaires portent sur les points suivants:

- chaine analogique à bas bruit et grande dynamique, capable de résoudre deux croisements de faisceaux consécutifs (96 ns);
- encodage de l'énergie sur 14 bits et du temps à 0,5 ns près;
- acquisition et histogrammation d'environ 1 Mega-événements par seconde;

Des problèmes très voisins se posent pour l'optimisation des polarimètres de HERA. Ils ont été en grande partie résolus par les groupes H1 de l'IN2P3 dans le cadre du projet SPACAL. Il est donc naturel de proposer à notre Collaboration une électronique commune convenant à l'ensemble de ces besoins. L'implication des physiciens sera cependant différente suivant le cas des détecteurs H1 proches des faisceaux et des polarimètres.

5.2.1 L'électronique

Nous proposons la configuration suivante:

- un détecteur de photon: PM classique, mesh-dynode-PM ou HPD (gain de quelques 10^3);
- un préamplificateur bas bruit tel que celui étudié à l'Ecole polytechnique pour SPACAL;
- une mise en forme rapide des signaux développée par Paris VI/VII pour SPACAL;
- un encodage rapide;
- une acquisition de quelques dizaines de canaux à 1 MHz.

Pour ce dernier point, nous étudions deux solutions:

- L'architecture DSP, qui est actuellement utilisée dans le polarimètre transversal, que nous avons dejà mise en oeuvre dans l'acquisition des calorimètres de H1;
- l'architecture processeur RISC avec accès direct sur le bus données, que nous utilisons par exemple pour le monitoring du trigger Spacal (avec le TDC developpé à Paris VI/VII pour BaBar, qui convient également à HERA-2000).

Dans les deux cas, nous comptons tirer parti des récents progrès technologiques pour gagner un facteur 3 en performance et se rapprocher des standards de l'industrie.

5.2.2 Le luminomètre de H1

La conception du système électronique est liée au principe de la mesure (actuellement mesure de section efficace Bethe-Heitler), qui doit évoluer. Il est donc nécessaire que des physiciens suivent de près le projet. Cependant tous les aspects opérationnels ainsi que la construction des détecteurs est assurée par des groupes expérimentés ayant une forte présence à DESY. Il ne doit donc pas en résulter une charge accrue pour les groupes IN2P3.

5.2.3 Les polarimètres

Il y a deux polarimètres en opération sur HERA. Un polarimètre transversal installé en 1991 [20] avec une forte participation de physiciens de ZEUS et un polarimètre longitudinal installé par HERMES en 1995, avec ses rotateurs de spin. H1 se trouve donc dans une situation délicate: être la seule Collaboration à ne pas avoir participé à la construction d'un outil essentiel pour la physique future. DESY incite H1 à se joindre à l'exploitation des deux polarimètres existants, sans attendre l'installation de ses rotateurs de spin en l'an 2000.

La mesure absolue de la polarisation est actuellement mal maitrisée, surtout dans le cas du polarimètre longitudinal (erreurs systématiques de 20 %) mais aussi pour le polarimètre transversal (7 %). Il en résulte que même en utilisant le temps de montée de la polarisation dans l'anneau pour calibrer les polarimètres, la précision estimée n'atteint pas encore les 2 % demandés par la physique. Nous estimons qu'une amélioration des détecteurs calorimétriques, couplée à une transformation de l'électronique semblable à celle déjà mentionnée pour le luminomètre, permettrait un meilleur contrôle des erreurs systématiques. Il est également essentiel de bien calculer l'effet des rotateurs de spin pour se dispenser d'une mesure de la polarisation au point d'interaction, particulièrement délicate [21]. La compétence sur ce point se trouve en bonne partie à Orsay [22]. H1 nous encourage à prendre en charge ce programme de travail, en collaboration avec une équipe russe. Nous sommes bien conscients de ce qu'elle exige des physiciens de l'IN2P3 une implication plus forte que pour le luminomètre, notamment sur le site de DESY.

6 Résumé

En l'an 2000 débutera une nouvelle phase de fonctionnement de HERA, caractérisée par une augmentation importante des luminosités délivrées et la possibilité de disposer de faisceaux d'électrons polarisés longitudinalement. Ces améliorations permettront l'exploitation complète du potentiel de physique de HERA dans le domaine des processus rares à grand transfert d'impulsion. De part l'originalité de la configuration initiale lepton-hadron, des éclairages uniques ou complémentaires de ceux du LEP et du TEVATRON seront apportés sur la mesure des paramètres électro-faibles et les recherches de phénomènes nouveaux. Ces études se feront dans un environnement expérimental particulièrement propre et tenu sous contrôle par les ajustements précis de chromodynamique quantique effectués à plus bas Q^2.

Les physiciens de l'IN2P3 sont d'ores et déjà spécialistes des sujets de physique qui prendront tout leur essor dans cette deuxième phase de HERA. Ils trouveront dans ce programme l'occasion de rentabiliser les investissements réalisés sur le détecteur actuel ainsi que l'expertise acquise dans les analyses physiques. En cohérence avec leurs engagements antérieurs et leurs objectifs de physique, ils proposent d'y contribuer en améliorant l'acquisition de données des calorimètres, la luminométrie de H1 et la polarimétrie de HERA.

References

[1] Collaboration H1, "ep Physics beyond 1999", document soumis aux organismes payeurs de H1, accessible sous http://dice2.desy.de:80/igeneral/upgrade/upgrade.ps

[2] Collaboration H1, I. Abt et al., "The H1 Detector at HERA", Nucl. Inst. and Meth. A386 (1997) 310 et 348.

[3] Groupe calorimètre H1, B.Andrieu et al., "The H1 Liquid Argon Calorimeter System", Nucl. Inst. and Meth. A336 (1993) 460.

[4] Groupe SPACAL H1, "The H1 Lead/Scintillating-Fibre Calorimeter", Nucl. Inst. and Meth. A386 (1997) 397.

[5] F. Moreau, "The Low Noise L1 Trigger of the H1 Lead/Scintillating Fibre Electromagnetic Calorimeter", $5^{ème}$ Conférence Internationale sur les Technologies Avancées et la Physique des Particules, Côme, 1996.

[6] Citons entre autres:
B.Andrieu et al., "Electron Identification in the H1 Liquid Argon Calorimeter", Note H1-01/93-266.
U.Bassler et G.Bernardi, "Progress on Kinematical Variables Reconstruction and Consequences for DIS Physics and low x", Note H1-03/93-274.
A.Pieuchot, J.Marks et C.Vallée, "Pile-up Energy Detection using the Liquid Argon Big Tower Timing Information", Note H1-01/95-423.

[7] Collaboration H1, C.Adloff et al., Zeit. Phys. C74 (1997) 191.
E.Elsen, "New High Q^2 Results in ep Collisions at HERA", présentation plénière à la Conférence Internationale Europhysics de Physique des Hautes Energies, HEP97, 9-26 Août 1997, Jérusalem, Israël.

[8] Collaboration H1, "A Measurement of the Proton Structure Function $F_2(x, Q^2)$ at High Q^2 at HERA", communication N^0 262 soumise à la Conférence Internationale Europhysics de Physique des Hautes Energies, HEP97, 9-26 Août 1997, Jérusalem, Israël.

[9] Collaboration H1, "Observation of Events with a High Energy Isolated Lepton and Missing Transverse Momentum at HERA", communication N^0 708 soumise à la Conférence Internationale Europhysics de Physique des Hautes Energies, HEP97, 9-26 Août 1997, Jérusalem, Israël.

[10] M.Botje, M.Klein, C.Pascaud, "Future Precision Measurements of $F_2(x, Q^2)$, $\alpha_s(Q^2)$ and $xg(x)$ at HERA", dans "Future Physics at HERA", Compte-rendu du Workshop 1995-96, ed: G.Ingelman, A.de Roeck, R.Klanner, DESY 1996, http://www.desy.de/heraws96.

[11] R.Beyer et al., "Electroweak Precision tests with Deep-Inelastic Scattering at HERA", dans "Future Physics at HERA", Compte-rendu du Workshop 1995-96, ed: G.Ingelman, A.de Roeck, R.Klanner, DESY 1996, http://www.desy.de/heraws96.

[12] R.J.Cashmore et al., "Measurement of Weak Neutral Current Couplings of Quarks at HERA", dans "Future Physics at HERA", Compte-rendu du Workshop 1995-96, ed: G.Ingelman, A.de Roeck, R.Klanner, DESY 1996, http://www.desy.de/heraws96.

[13] V.Noyes, "Limits on $WW\gamma$ Couplings from Single W Boson Production in ep Collisions", dans "Future Physics at HERA", compte-rendu du Workshop 1995-96, ed: G.Ingelman, A.de Roeck, R.Klanner, DESY 1996, http://www.desy.de/heraws96.

[14] Pour une revue récente, consulter par exemple :
J.L.Hewett et T.G.Rizzo, eprint hep-ph/9708419
M.Carena et al., eprint hep-ph/9707458
V.Barger et al., eprint hep-ph/9707412
T.Kon et al., eprint hep-ph/9707355.

[15] B.Andrieu et al., "Leptoquarks in H1 at HERA", dans "Physics at HERA", compte-rendu du Workshop 1991, ed: W.Buchmüller et G.Ingelman, DESY 1991.

[16] E.Perez, Y.Sirois, H.Dreiner, "R-parity violating supersymmetry at HERA", dans "Future Physics at HERA", Compte-rendu du Workshop 1995-96, ed: G.Ingelman, A.de Roeck, R.Klanner, DESY 1996, http://www.desy.de/heraws96.

[17] T.Carli, P.Dingus, Y.Sirois, "Excited states of composite electrons in H1", dans "Physics at HERA", compte-rendu du Workshop 1991, ed: W.Buchmüller et G.Ingelman, DESY 1991.

[18] F.Descamps et C.Vallée, "Data Acquisition for the H1 Calorimeters", Compte-rendu de la $3ème$ Conférence Internationale sur la Calorimétrie en Physique des Hautes Energies, Corpus Cristi (1992).

[19] C.Vallée, "Upgrade of the Data Acquisition System of the H1 Calorimeters", accessible sous http://dice2.desy.de:80/igeneral/upgrade/calodaq.ps.

[20] D.P.Barber et al., Nucl. Inst. and Meth. A329 (1993) 79.

[21] K.Piotrzkowski, Nucl. Inst. and Meth. B119 (1996) 253.

[22] J.Buon, Nucl. Inst. and Meth. A275 (1989) 226