

RAPPORT SUR LE PROGRAMME HERA ET L'EXPERIENCE H1

H1-IN2P3
(CPPM, LAL, LLR)

Document préparatoire au Conseil Scientifique de l'IN2P3 du 14 Juin 2002

Sommaire

Ce document présente l'état du programme HERA et de l'expérience H1 fin Mai 2002, en vue de son évaluation par le Conseil Scientifique de l'IN2P3. Il couvre plus particulièrement les points suivants :

- la remise en route du collisionneur pour la phase haute luminosité (HERA II);
- l'état général du détecteur H1 ;
- les contributions de l'IN2P3 aux améliorations du détecteur et de l'accélérateur:
 - l'acquisition de données des calorimètres ;
 - le déclenchement rapide de niveau 2 ;
 - le nouveau luminomètre ;
 - le nouveau polarimètre longitudinal ;
- les résultats récents d'analyse de l'IN2P3 sur les données de la phase I ;
- les contributions de l'IN2P3 à la préparation des analyses sur HERA II ;
- les perspectives.

D) REMISE EN ROUTE DU COLLISIONNEUR POUR LA PHASE HAUTE LUMINOSITE

L'accélérateur HERA, qui rappelons-le met en collision des électrons de 27,5 GeV contre des protons de 920 GeV, a terminé sa première phase de fonctionnement en septembre 2000. Les modifications de la machine entreprises depuis visent à augmenter la luminosité instantanée d'un facteur 3 à 5, en améliorant la focalisation des faisceaux aux points d'interaction par l'introduction d'aimants supraconducteurs dans les détecteurs, et en augmentant les intensités des faisceaux. Par ailleurs, l'installation de rotateurs de spin permettra de disposer de faisceaux d'électrons polarisés longitudinalement dans H1 et ZEUS.

Tous les nouveaux éléments de l'accélérateur sont installés et opérationnels. Les opérations de HERA ont repris à l'automne 2001. L'établissement de conditions correctes de fonctionnement de la nouvelle configuration s'est cependant révélé plus difficile que prévu, en raison de :

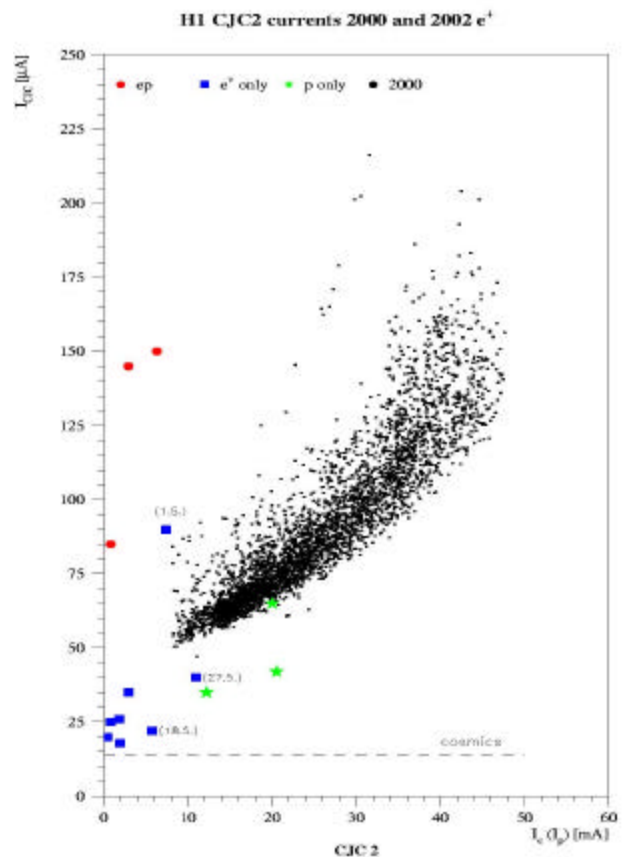
- l'instabilité opérationnelle de nouveaux composants (pompes, alimentations, etc...) qui a ralenti le rythme des études et tests ;
- la sensibilité accrue de la nouvelle machine à l'alignement des aimants.

Ces deux problèmes sont maintenant sous contrôle. La maîtrise de l'optique de collision des faisceaux a été prouvée par l'obtention de la luminosité spécifique (ie ramenée à des intensités de faisceaux unitaires) nominale, qui a été réalisée à 80 % près. Les limitations principales sont maintenant liées aux intensités des faisceaux :

- l'intensité du faisceau de protons dépend de la qualité du vide, qui doit s'améliorer naturellement dans les 2 mois qui viennent ;
- l'intensité du faisceau d'électrons est limitée par le niveau de bruit de radiation synchrotron induit dans les détecteurs.

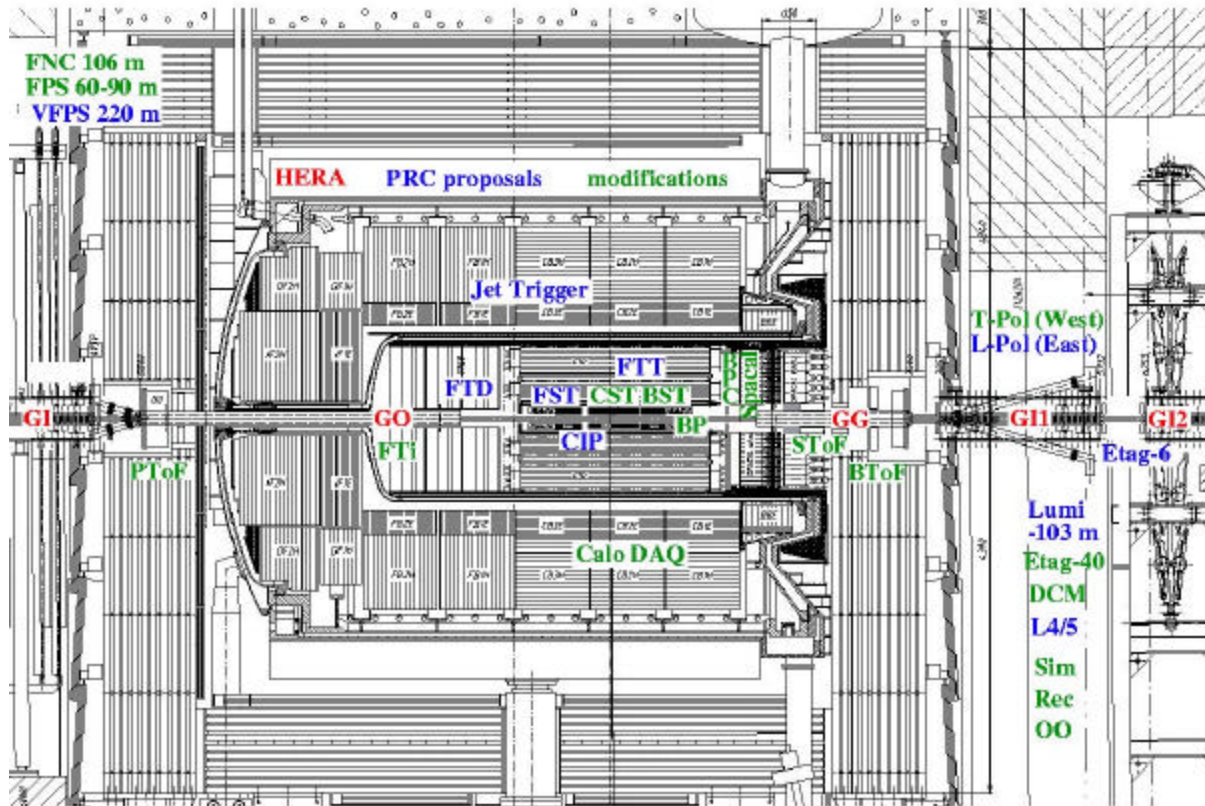
Ce dernier problème est actuellement le point critique prioritaire d'ajustement de la machine. Il est étudié en collaboration étroite entre les personnels de HERA et les physiciens de ZEUS et H1. Des progrès récents laissent penser qu'il est en voie d'être résolu : la figure ci-contre montre que des niveaux de radiation synchrotron (mesurés en ordonnée par l'intensité des courants dans la chambre à dérive centrale CJC) équivalents ou meilleurs que ceux de HERA I ont pu être obtenus fin mai pour de faibles intensités du faisceau d'électrons (en abscisse).

Si la maîtrise de la radiation synchrotron est confirmée dans les semaines qui viennent, HERA II devrait atteindre à l'automne des niveaux de luminosité comparables à HERA I, puis les dépasser. Il est alors prévu de tester le fonctionnement des rotateurs de spin et les conditions de polarisation. Un passage en mode e^-p (contre e^+p actuellement) est encore en discussion pour septembre mais peu probable. Un arrêt de longue durée est prévu de Noël 2002 à mars 2003.



II) ETAT GENERAL DU DETECTEUR H1

La Collaboration H1 a mis à profit la période d'arrêt de HERA pour améliorer significativement son détecteur. Les modifications sont résumées sur la figure suivante :



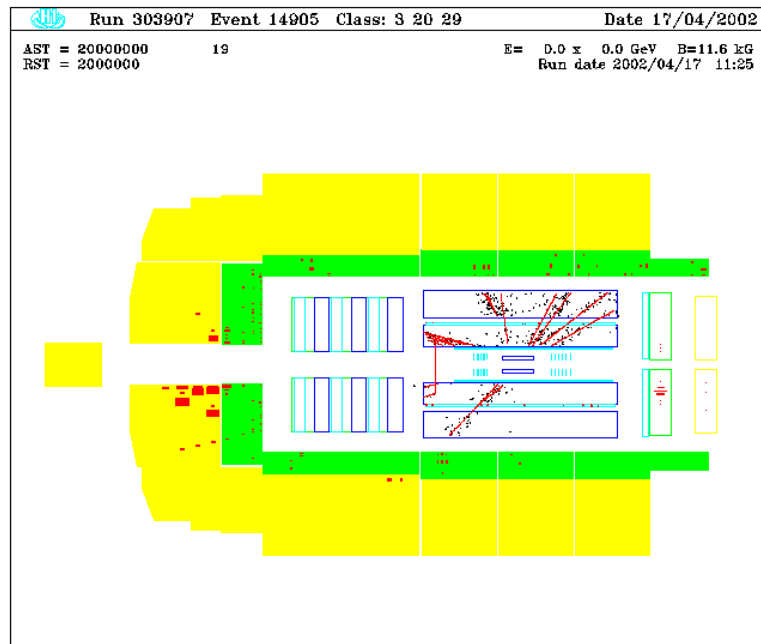
Parmi les nouveaux composants, le détecteur silicium avant (FST) et les chambres à dérive avant (FTD) sont complètement opérationnels. Ces détecteurs amélioreront la mesure des traces dans cette région, cruciale pour la recherche de phénomènes nouveaux, en introduisant la possibilité d'étiqueter les quarks b émis dans la direction du proton incident, et en diminuant la probabilité de radiation des électrons rétro-diffusés à très grand Q^2 .

La nouvelle chambre à fil centrale (CIP), nécessaire à la détection rapide du vertex d'interaction pour le déclenchement, n'a que 3 couches utilisables sur les 5 installées. Ce détecteur souffre de problèmes de fonctionnement de son chip électronique de front-end. Ces problèmes sont compris et seront réglés définitivement lors de l'arrêt de l'hiver prochain. D'ici-là, la CIP fournira des fonctionnalités réduites de déclenchement.

L'état de l'amélioration de l'acquisition de données des calorimètres, du déclenchement de niveau 2, du nouveau luminomètre et du polarimètre longitudinal, tous contributions de l'IN2P3, est décrit en détail dans les sections suivantes.

L'arrêt de l'hiver prochain verra aussi une extension du spectromètre à proton dans la région avant (« pots romains » VFPS). De nouveaux systèmes de déclenchement rapide fondés sur les détecteurs

de traces (Fast Track Trigger FTT) et le calorimètre à argon liquide (Jet Trigger) doivent entrer en fonctionnement dans l'année qui vient.



En résumé, après de nombreuses modifications, dont certaines liées à l'introduction des aimants focalisateurs, et malgré les difficultés rencontrées principalement avec la CIP, le détecteur H1 est de nouveau prêt à prendre des données. La figure ci-dessus montre un événement de diffusion inélastique profonde de bas x et bas Q^2 enregistré récemment.

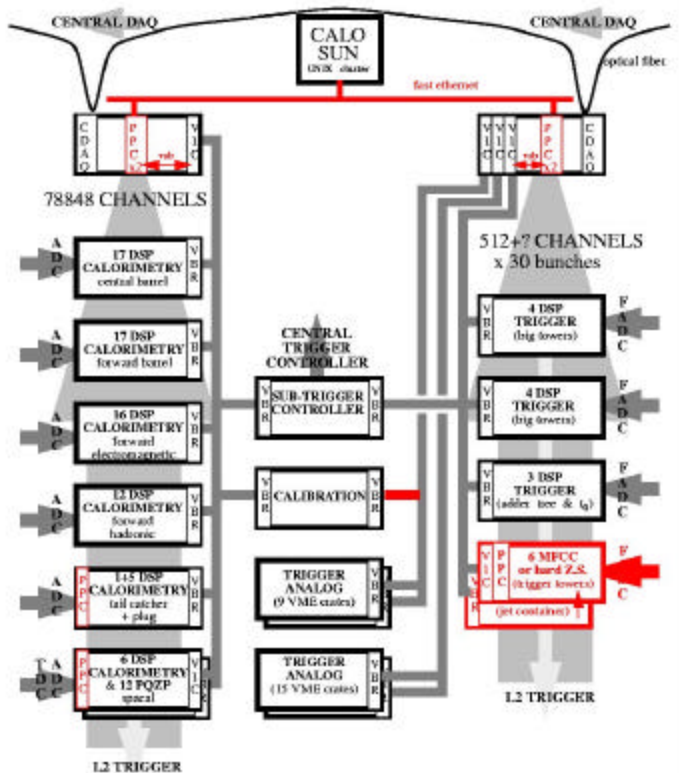
III) CONTRIBUTIONS DE L'IN2P3 AUX AMELIORATIONS DU DETECTEUR ET DE L'ACCELERATEUR

L'engagement de l'IN2P3 sur la phase II de HERA s'est recentré autour de trois laboratoires, le CPPM, le LAL et le LLR, qui rassemblent sur H1 18 physiciens et 4 étudiants en thèse, et sont maîtres d'œuvre des projets suivants :

- L'amélioration de l'acquisition de données des calorimètres (CPPM)
- L'amélioration du système de déclenchement rapide de niveau 2 (LAL)
- Le nouveau luminomètre (LLR, avec des contributions du LAL et du LPNHE)
- Le nouveau polarimètre longitudinal (LAL, avec des contributions du DAPNIA)

III-1) Acquisition de données des calorimètres

La mise à niveau de l'acquisition de données des calorimètres de H1 consiste essentiellement en un portage des fonctions de contrôle et d'assemblage des événements, jusqu'ici assurées par un système hétérogène de stations VMS, OS9 et VRTX, sur un système intégré de stations UNIX, dont certaines avec la version temps réel Lynx-OS. De nouveaux composants, comme le Jet Trigger calorimétrique, sont aussi à inclure dans la lecture. Le schéma du nouveau système est donné sur la figure ci-contre (les nouveaux composants matériels sont indiqués en rouge).



Malgré le retrait du LPNHE de la Collaboration H1, intervenu après l'acceptation du projet, celui-ci a pu se concrétiser à partir de 2000 autour d'un membre du CPPM permanent sur le site, assisté d'un coopérant du service national, et avec le soutien du groupe temps réel du CPPM. Toutes les fonctionnalités de l'ancien système sont opérationnelles sur les nouveaux matériels, avec un gain de performance d'un facteur 10 sur les temps de chargement et d'un facteur 2 sur les temps de lecture. De nouvelles interfaces utilisateur ont été écrites en JAVA. Les nouveaux outils offrent un cadre efficace de développement des procédures de diagnostic et de contrôle, afin de permettre une gestion simplifiée des calorimètres sur la phase II de HERA. L'intégration de la lecture du nouveau système de déclenchement calorimétrique (Jet Trigger) se fera dans l'année à venir.

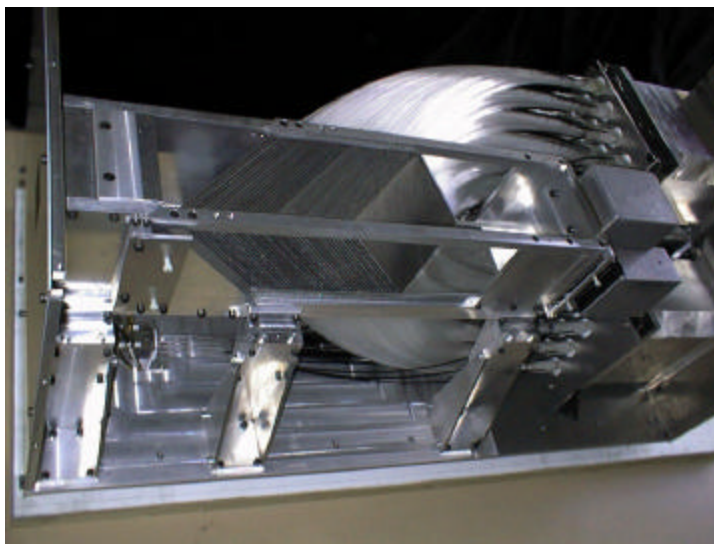
III-2) Déclenchement de niveau 2

L'électronique centrale de déclenchement de niveau 2 permet de prendre une décision synchrone de rejet des événements de bruit de fond en quelques dizaines de micro-secondes. Un de ses deux composants, construit par le LAL, est un système programmable de corrélation topologique d'informations réduites issues des différents sous-détecteurs. Le projet d'amélioration consiste en une mise à niveau du matériel et des logiciels afin d'améliorer leurs performances et d'ajouter des fonctionnalités permettant d'utiliser les informations attendues des nouveaux systèmes de déclenchement FTT et Jet Trigger.

La nouvelle carte «commande-décision » est en construction et sera de retour en Juillet. Sa carte mezzanine où se trouve le micro-processeur a été testée avec succès, et la programmation du nouvel algorithme est en cours. Le transfert des fonctions de contrôle et chargement d'un MAC G4 vers un Power-PC Lynx-OS est en cours d'achèvement. Le nouveau système complet de déclenchement sera installé sur site à l'automne. D'ici-là l'ancien système, toujours opérationnel, peut être utilisé mais sans carte de rechange.

III-3) Nouveau luminomètre

La luminosité de HERA est mesurée par le taux de photons émis par bremsstrahlung dans l'axe du faisceau d'électrons lors du croisement des faisceaux (processus de Bethe-Heitler). Les conditions de fonctionnement de HERA II ont imposé une refonte complète du luminomètre afin de renforcer la résistance du détecteur au taux accru de radiation synchrotron, et de résoudre les effets d'empilement entre croisements de faisceau (séparés rappelons-le de 96 ns à HERA). La solution mise en œuvre par le LLR est fondée sur un nouveau calorimètre SPACAL à fibres à quartz qui détecte les gerbes électromagnétiques par leur rayonnement cerenkov, et mesure leur position transversale grâce à une granularité accrue. Une électronique rapide d'amplification, de mise en forme, de digitisation et de lecture inclut un système d'histogramation en ligne au taux de 500 KHz, qui fournit une mesure continue de la luminosité séparément pour chaque croisement de faisceaux.



Le calorimètre et son électronique rapide ont été installés sur site durant l'année 2001. La figure ci-dessus montre une vue du nouveau calorimètre après son assemblage. Le luminomètre est opérationnel et utilisé en permanence pendant les périodes de faisceaux. Il fournit déjà la luminosité spécifique avec une précision de 10 % (estimation conservatrice) et offre un contrôle permanent de la position du faisceau d'électrons. Ces données sont essentielles dans la phase actuelle d'optimisation de la machine.

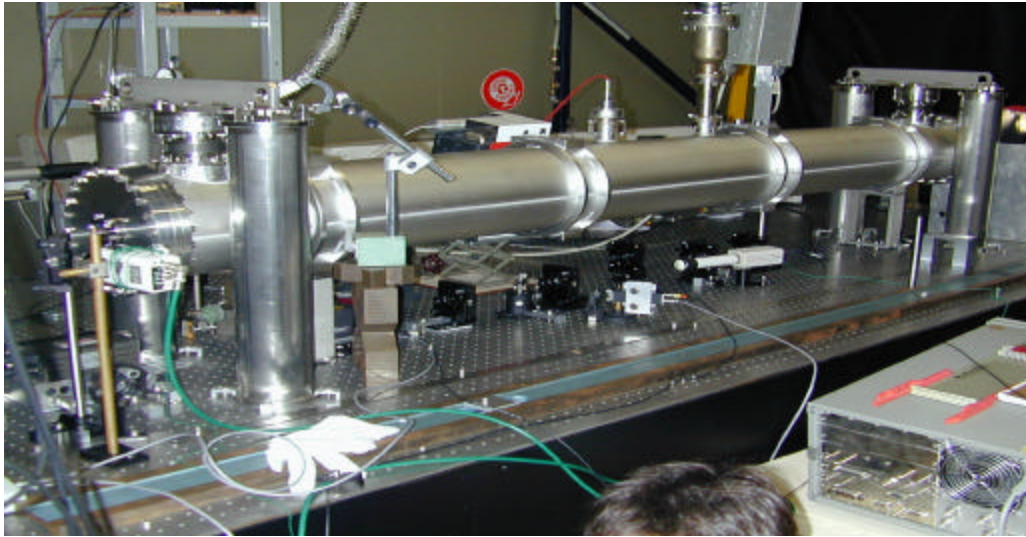
Les prochaines étapes consisteront à automatiser les procédures de calibration, à améliorer la compréhension des erreurs systématiques et à mettre au point l'algorithme de calcul de la luminosité à haute intensité, afin d'atteindre une incertitude ultime de l'ordre de 1 %. Pour mener à bien ce programme, le LLR maintient un physicien permanent sur le site depuis la fin 2001.

III-4) Nouveau polarimètre longitudinal

La polarisation longitudinale des électrons incidents est mesurée par l'analyse du spectre d'énergie des photons diffusés lors de l'interaction d'un faisceau laser polarisé avec le faisceau. Les améliorations du polarimètre longitudinal mises en œuvre par le LAL consistent à remplacer le laser pulsé actuel par un laser continu dont la puissance est amplifiée par une cavité Fabry-Pérot de 2 mètres de long, et à doter le calorimètre de détection des photons diffusés d'une électronique rapide

de digitisation et d'acquisition, dérivée de celle développée pour le luminomètre. Le but est de fournir une mesure continue de la polarisation séparément pour chaque croisement de faisceau avec une précision de 1% par minute.

Un prototype de cavité Fabry-Pérot, analogue au modèle final, a été assemblé au LAL et asservi avec succès en mode fondamental. La plupart des performances attendues ont été obtenues. Le facteur final d'amplification, très sensible à la qualité des miroirs, à l'alignement et au pilotage du laser, demande encore à être amélioré. La photographie ci-dessous montre une vue du banc de test du LAL.



La cavité finale, en cours de construction, est attendue pour les jours qui viennent. Un aspect critique est la définition des supports optiques du laser et des miroirs associés. L'objectif est de tester l'ensemble final cavité-laser à Orsay d'ici l'été. Par ailleurs, l'intégration mécanique de la cavité dans la ligne de faisceau de HERA a été complètement définie avec les ingénieurs de DESY, et l'aménagement de sa zone d'accueil a commencé.

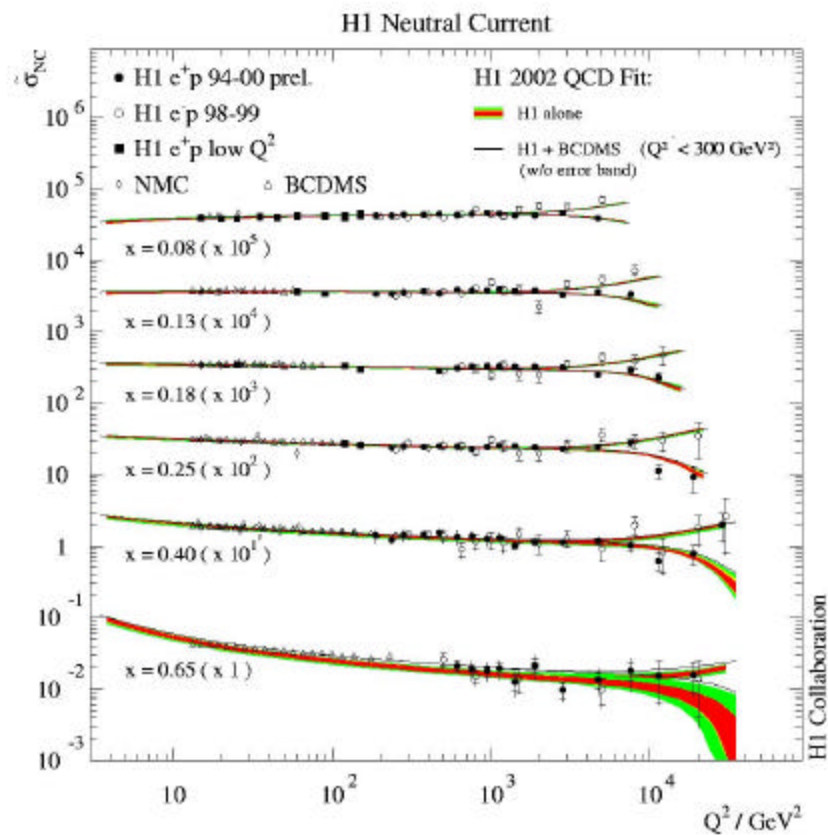
Les logiciels de contrôle de la cavité, écrits sous LABVIEW, sont opérationnels. Les solutions retenues pour la lecture rapide (Power-PC sous Lynx-OS avec carte mezzanine) ont prouvé qu'elles répondaient aux spécifications, et le programme d'acquisition est en cours d'écriture. La méthode d'analyse des spectres a été significativement améliorée et devrait permettre un contrôle de la polarisation avec une précision intrinsèque de quelques pour mille. Les outils qui délivreront la polarisation en ligne sont en cours de conception, et leur utilisation pour l'optimisation en temps réel de la polarisation de la machine est étudiée en relation avec les ingénieurs de DESY.

L'installation de la cavité à DESY est prévue lors du prochain arrêt de longue durée, au plus tard pendant l'hiver prochain.

IV) RESULTATS RECENTS D'ANALYSE DE L'IN2P3

Tout en préparant la phase II de HERA, les groupes de l'IN2P3 ont poursuivi leurs analyses menées sur les données de la phase I. Celles-ci représentent une luminosité intégrée d'environ 120 pb^{-1} , dominée par les périodes de collision en mode positron-proton. Les physiciens de l'IN2P3 se concentrent principalement sur l'analyse des processus de grande impulsion transverse. L'un d'eux est co-responsable du groupe d'analyse correspondant de H1. Les résultats obtenus récemment couvrent l'ensemble des données collectées. On peut citer entre autres :

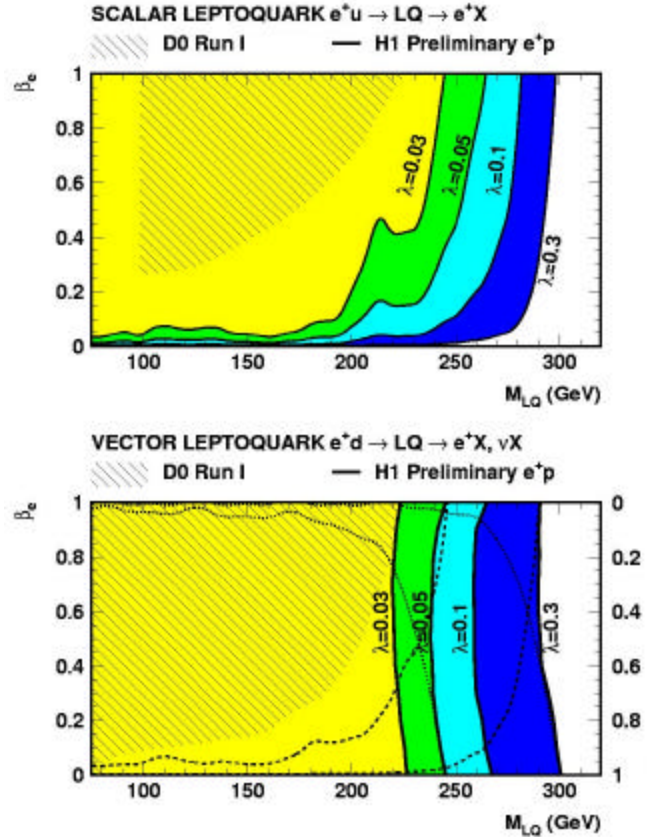
La mesure des sections efficaces à courant neutre et courant chargé, et les ajustements QCD et électrofaibles correspondants



La figure ci-dessus montre que les données de H1 permettent maintenant une mesure précise de l'interférence faible, de signe opposé pour les modes e^+p et e^-p , et donc une première mesure de la fonction de structure xF_3 à très grand Q^2 . Par ailleurs, la précision statistique permet de premières tentatives d'ajustement des densités de partons avec les seules données H1, qui commencent à contraindre significativement les paramétrisations jusqu'ici issues principalement des expériences sur cibles fixes. Les programmes d'ajustement QCD développés par l'IN2P3 sont aussi utilisés, en collaboration avec les physiciens français, pour l'extraction de la densité du gluon à bas x et la mesure de la constante de couplage forte α_s à partir des données couvrant l'ensemble du spectre en Q^2 .

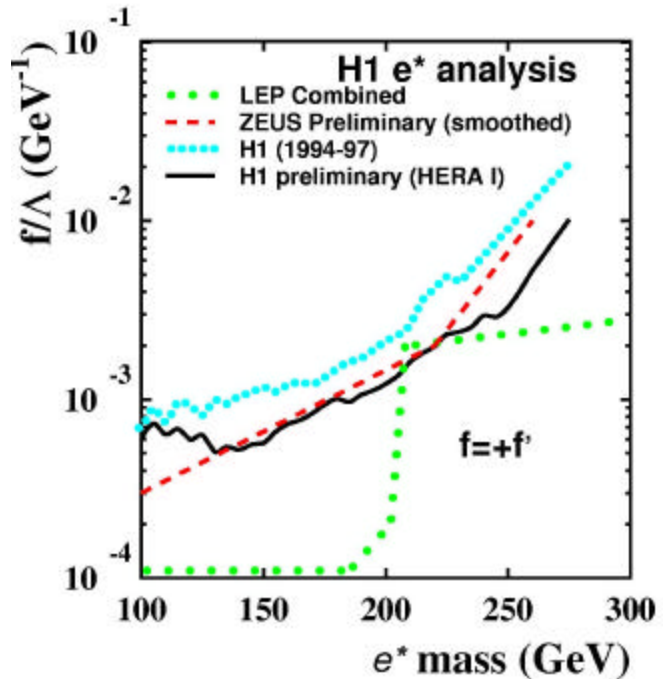
Les recherches de lepto-quarks

Ce type de recherche est privilégié à HERA car un lepto-quark pourrait être directement produit dans la voie s. Les limites de production de H1 étendent celles du TEVATRON (zone hachurée sur la figure ci-contre) jusqu'à des valeurs de masse proches de la frontière cinématique (318 GeV) pour des couplages de production λ de l'ordre du couplage électromagnétique (0,3). Par ailleurs, l'analyse combinée des canaux de désintégration en électron (topologie de courant neutre) et neutrino (topologie de courant chargé) permet de couvrir un domaine inexploité où la désintégration est préférentiellement neutrinique (petits rapports de branchement β_e).



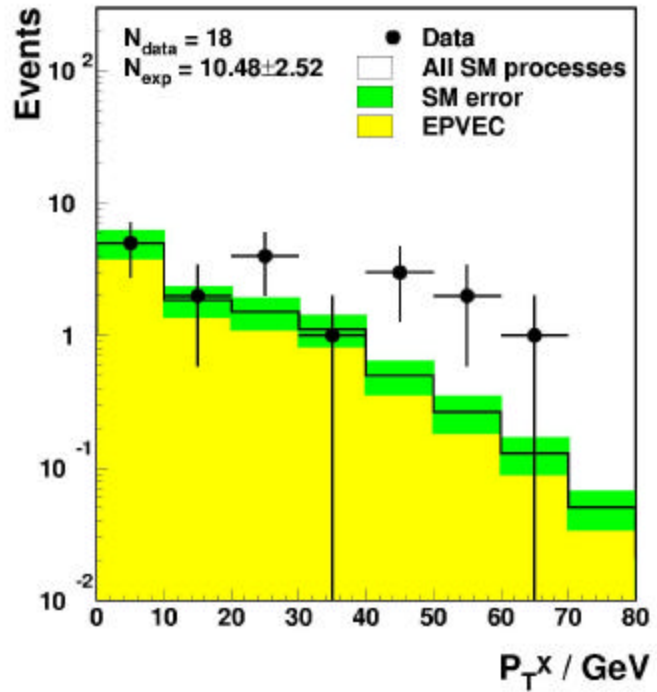
Les recherches de fermions excités

Là encore, HERA offre un terrain privilégié car les fermions incidents (quarks et électrons) pourraient s'exciter mutuellement en particules massives lors de leur interaction s'ils possédaient une sous-structure commune. Les recherches directes de ce signal étendent les limites de production au-delà de la limite cinématique du LEP (200 GeV) pour des couplages de production f/Λ très inférieurs au couplage électromagnétique.



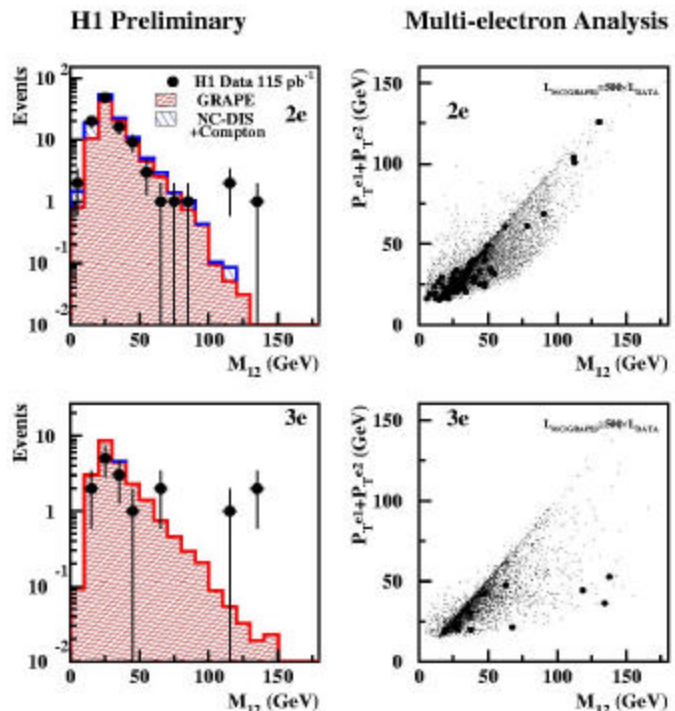
La mesure de production d'événements avec lepton isolé et impulsion transverse manquante

Les premières observations de 1997 ont été étendues à l'ensemble des données. Plusieurs événements nouveaux sont apparus à grande impulsion transverse hadronique P_T^X , cette fois principalement dans le canal électron. Cette topologie est atypique car la radiation de bosons W, qui constitue le signal standard dominant, est attendue préférentiellement à bas P_T^X . Ces événements pourraient signer plusieurs sortes de phénomènes nouveaux. Une des hypothèses, la production anormale de quarks top, a été étudiée plus précisément en investiguant le mode complémentaire de désintégration hadronique du W. Ce canal ne la favorise pas, sans l'exclure totalement. Les limites supérieures obtenues sur le couplage anormal du quark top au photon et au quark u sont meilleures que celles du TEVATRON.



La mesure de production d'événements multi-électrons à grande impulsion transverse

La mesure du canal multi-électrons montre une bonne description du gros des événements, que ce soit dans le mode di-électrons ou tri-électrons, mais révèle 6 événements contenant une paire d'électrons de masse M_{12} supérieure à 100 GeV, contre un total attendu de 0.5 ± 0.1 . Les 6 événements se rassemblent autour de masses de 115 et 135 GeV et pourraient entre autres signer la production de bosons de Higgs exotiques. Ce résultat, rendu public début mai à la conférence DIS02, constitue un des « points chauds » actuels de HERA. L'analyse est en cours d'extension, et les résultats de ZEUS sont attendus rapidement.



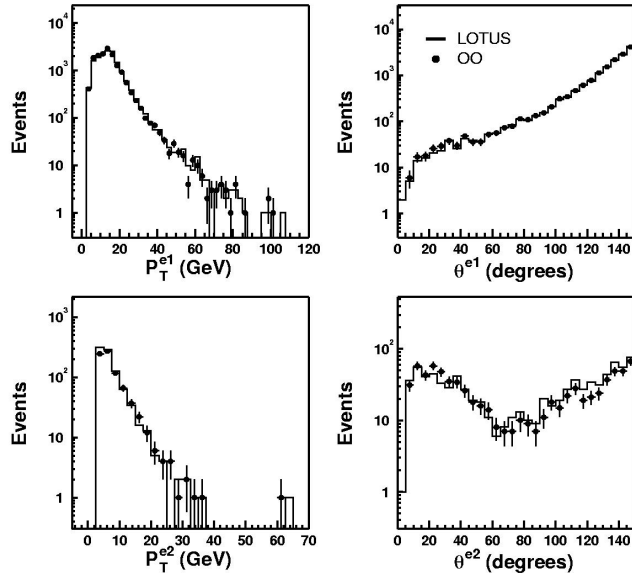
V) CONTRIBUTIONS DE L'IN2P3 A LA PREPARATION DES ANALYSES DE HERA II

Les groupes de l'IN2P3 participent aussi à la préparation des analyses de la phase II de HERA, pour lesquelles deux actions principales ont été menées.

D'une part, l'utilisation du Centre de Calcul de Lyon a été réactivée. La généralisation des PC linux permet maintenant de porter les logiciels de H1 de façon quasi-transparente à Lyon et dans nos laboratoires. Une présélection commune aux laboratoires français de toutes les données actuelles a été transférée à Lyon, ainsi que les lots de simulation correspondants. Le CC-IN2P3 est utilisé régulièrement pour la finalisation des analyses de HERA I. Les nouveaux logiciels d'analyse en langage orienté objet, développés pour HERA II (voir ci-dessous) y sont aussi opérationnels.

D'autre part, les physiciens de l'IN2P3 se sont directement impliqués dans le développement de nouveaux outils d'analyse effectués en C++ dans le cadre de ROOT. Le but de ce projet est de rassembler dans un cadre moderne l'ensemble des couches supérieures d'analyse de H1, en ne gardant que les outils qui se sont révélés les plus performants parmi ceux développés jusqu'ici. Il permet aussi de transférer l'expertise associée vers les nouvelles générations de physiciens de H1, et de leur procurer un cadre de travail plus attractif.

L'IN2P3 a la charge du développement du nouveau logiciel de visualisation des événements. La version actuelle, qui contient des fonctionnalités accrues d'accès aux informations physiques par rapport à la version fortran, est utilisée en ligne dans la salle de contrôle, et opérationnelle pour les analyses de physique. Les physiciens français participent aussi à la traduction en C++ des identificateurs d'objets physiques. Ils sont en particulier responsables des identificateurs d'électrons et de hadrons. La figure ci-contre montre, sur l'exemple des spectres des électrons des interactions à courant neutre, que l'accord entre la version C++ (labellée «OO») et la version fortran (labellée «LOTUS») des identificateurs physiques est déjà au niveau du pourcent pour certains d'entre eux.



VI) PERSPECTIVES DE HERA II

Les deux collaborations H1 et ZEUS se rejoignent sur l'objectif qu'elles assignent à la phase II de HERA : collecter une luminosité intégrée d'environ 1 fb^{-1} , répartie équitablement entre les modes e^+p et e^-p et les deux modes de polarisation longitudinale du faisceau d'électrons. Ces données permettront des mesures QCD et électrofaibles de précision, ainsi que l'exploitation complète du potentiel de découverte de HERA. En particulier, l'origine des événements leptoniques atypiques observés en mode e^+p pourra être clarifiée, tandis que de nouvelles surprises seront possibles en mode e^-p , pour lequel peu de données ont été enregistrées sur la phase I. Une période de

fonctionnement à basse énergie des protons est aussi prévue pour la mesure de la fonction de structure longitudinale.

Ce programme doit être couvert d'ici fin 2006, date à laquelle DESY a décidé de transformer PETRA, l'injecteur actuel de HERA, en un anneau de radiation synchrotron.

VII) RESUME

Après un démarrage plus difficile que prévu, de nombreux progrès ont été effectués dans la compréhension de la nouvelle machine. L'efficacité de la restructuration des équipes de HERA, H1 et ZEUS, menée récemment pour améliorer leur travail en commun, rend optimiste sur l'obtention de conditions de fonctionnement utilisables dans un proche avenir.

Le détecteur H1, après une série importante de modifications, est à nouveau opérationnel pour prendre des données. Les imperfections du nouveau sous-détecteur dont l'état est le plus critique, la chambre à fils centrale de déclenchement, seront corrigées pendant l'arrêt de l'hiver prochain.

Les deux contributions de l'IN2P3 critiques dès le redémarrage de H1, l'acquisition de données des calorimètres et le nouveau luminomètre, sont opérationnelles et utilisées régulièrement dans les prises de données. Les deux autres contributions, le déclenchement de niveau 2 et le nouveau polarimètre longitudinal, sont en bonne voie de réalisation et devraient être terminés dans l'année qui vient.

Les analyses effectuées par l'IN2P3 sur l'ensemble des données de la phase I ont confirmé la compétitivité de HERA pour les mesures QCD de précision et la recherche de phénomènes nouveaux. En particulier, l'observation de plusieurs événements atypiques dans le cadre du Modèle Standard, mettant en jeu des leptons de grande impulsion transverse, constitue un résultat intrigant qui demande plus de données pour être étudié en détail. Les nouveaux outils d'analyse de H1, développés en technologie orientée objet, commencent aussi à être opérationnels.

Par son expertise dans l'analyse des processus de grande impulsion transverse et ses contributions aux améliorations du détecteur et de l'accélérateur, l'IN2P3 aborde la phase haute luminosité de HERA en bonne position.