

Le métier de chercheur (en recherche expérimentale et fondamentale)

Raphaël Granier de Cassagnac
Laboratoire Leprince-Ringuet
École polytechnique

Avertissements...

- Illustration par un exemple (le mien)
- Posez des questions !
- Lien vers cette présentation :
 - <http://www.phenix.bnl.gov/~raphael/cours/>

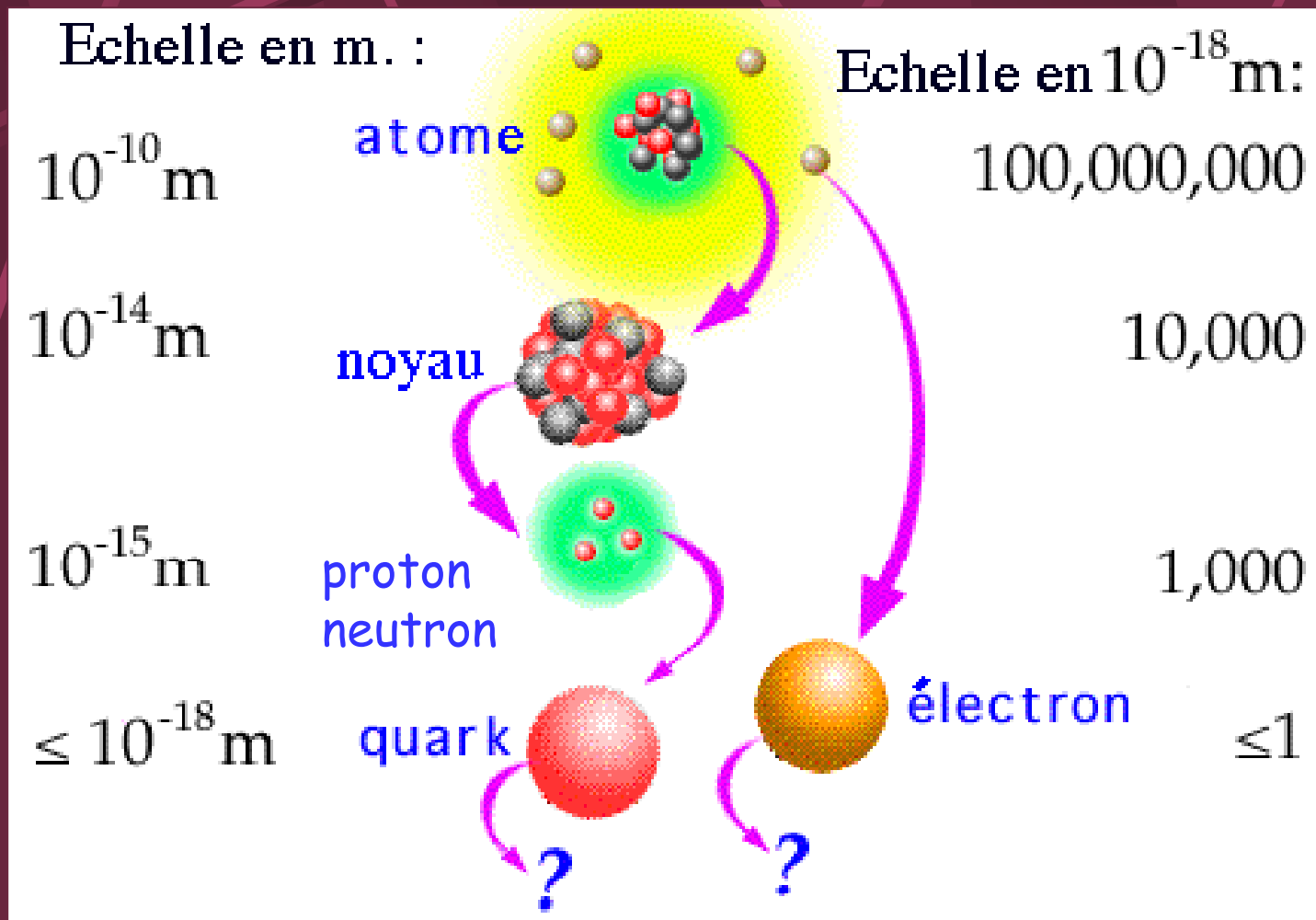
Plan de l'exposé

- **Mon sujet : plasma de quarks et de gluons**
 - Physique des particules...
- **Mon métier : expérimentateur**
 - Pas si loin d'un ingénieur...
- **Mon Curriculum Vitæ**
 - De Centrale à la recherche publique
- **Une question**
 - Pourquoi la recherche fondamentale ?

Le plasma de quarks et de gluons

Un exemple de recherche
fondamentale

Plongeons dans la matière...



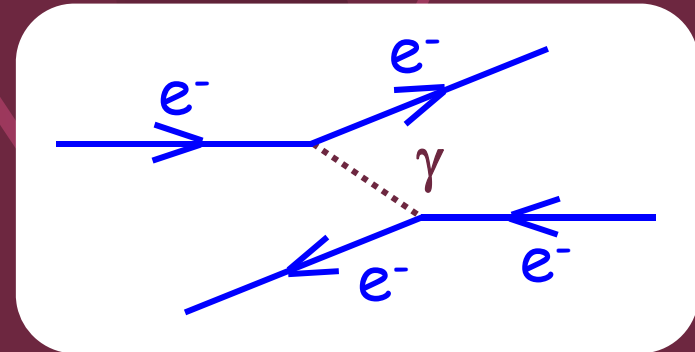
Quatre interactions...

- Gravitation (Newton 1687)
 - Agit sur les objets massifs
- Électromagnétisme (Maxwell 1873)
 - Agit sur particules chargées
- Interaction forte (Chadwick 1921)
 - Colle protons et neutrons → noyaux
- Interaction faible (Fermi 1933)
 - Désintégration β : $n \rightarrow p + e^- + \text{neutrino}$



Particules médiatrices

- Théorie quantique et relativiste → médiation des interactions par (nouvelles) particules
- Électromagnétisme : photon, charge électrique
- Interaction forte : 8 gluons, « couleur »
- Interaction faible : W^\pm Z^0 , « isospin faible »
- Gravitation : graviton ? masse ?



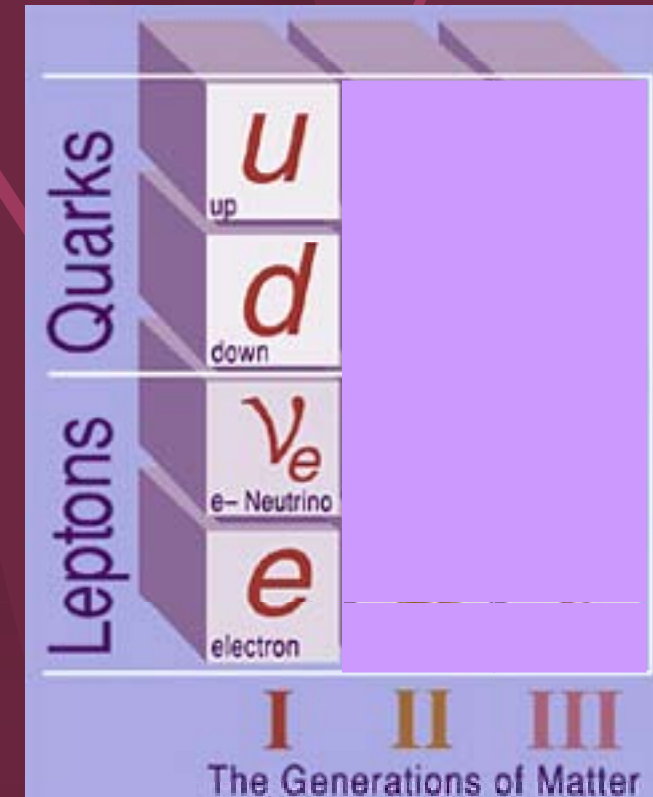
Au-delà de notre matière...

● Notre matière =

- Quark « up » ($q = +2/3$)
- Quark « down » ($q = -1/3$)
→ proton (uud) neutron (udd)
- Un « lepton » ($q = -1$)
- Un « neutrino » ($q = 0$)

● Deux autres familles

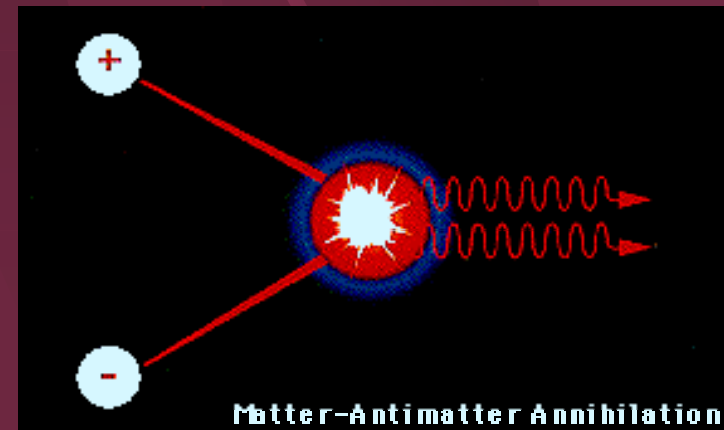
● + antimatière



(q = charge électrique en unité élémentaire : $1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$)

Et de l'antimatière...

- Chaque particule a une antiparticule
 - Même masse, durée de vie, spin
 - Toutes charges opposées
- Parfois particule = antiparticule
 - (photon, pion neutre, Z^0 ...)
- L'antimatière annihile la matière en libérant de l'énergie (et vice-versa)
 - $p + \bar{p} \leftrightarrow \text{photons}$



Découverte de ces particules ?

- Aller retour théorie ↔ expérience
 - Antimatière : prédite par théoricien 1928, vue 1932
 - Neutrino : prédit pour résoudre des observations expérimentales 1930, interagit très peu, vu 1956
 - Muon, quark étrange : inattendus, observés dans les rayons cosmiques (fin 1940's)
 - Quark charmé : prédit 1964, vu 1974
 - Boson Z^0 : vaguement prédit 1968, vu 1973
 - Tau : inattendu, observé en accélérateur 1975
 - Quark top : masse prédite à 10%, vu 1995
 - Boson de Higgs : prédit 1973, très attendu !

Recherche fondamentale

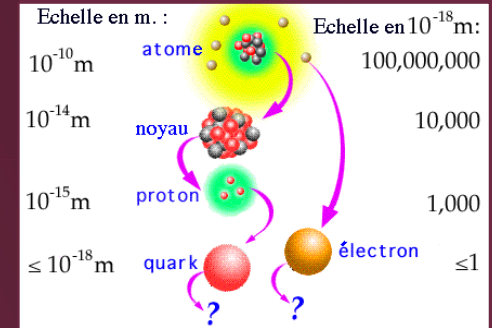
● Besoin de théoriciens

- Modélisent les résultats expérimentaux
- Spéculent sur nouvelles théories !
 - Relativité(s), mécanique quantique...
 - Supergravité dans espace-temps à 11 dimensions

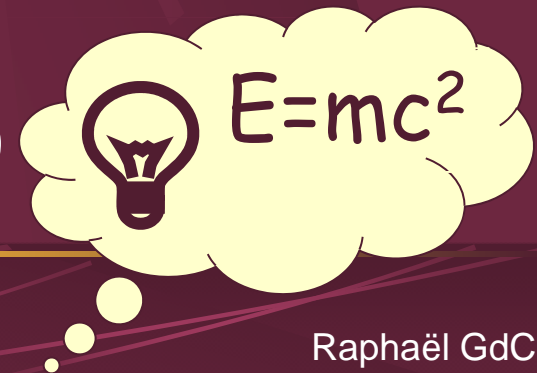
● Besoin d'expérimentateurs

- Observent la nature dans ses retranchements...
 - Nombre de familles, expansion de l'univers...
 - Supraconductivité haute température...

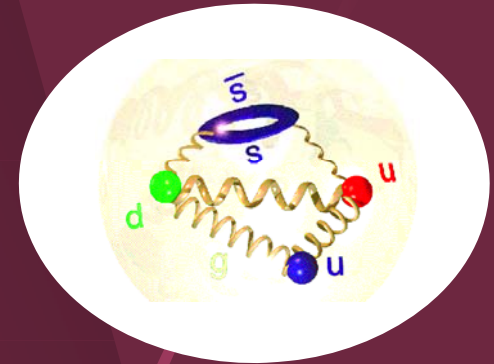
L'interaction forte



- **Responsable de la cohésion nucléaire**
 - Colle les protons et les neutrons dans les noyaux
- **... de la cohésion des protons et des neutrons**
 - Quarks collés par multitude de gluons
- **Responsable de 99% de notre masse**
 - Électron 2000 fois plus léger que neutron et proton
 - Quarks contribuent pour moins de 1% à leur masse
 - Masse \sim énergie d'interaction (gluons)
 - (mais les gluons sont de masses nulles)



Le confinement

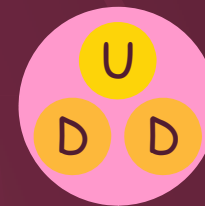


• Dans les conditions normales :

- Les quarks sont collés ensemble par une multitude de gluons (int. forte)...
- Impossible d'observer des quarks ou des gluons isolés...
- Seuls édifices possibles :
 - trois quarks
 - quark + antiquark
(+ gluons non représentés)



pion



neutron



proton

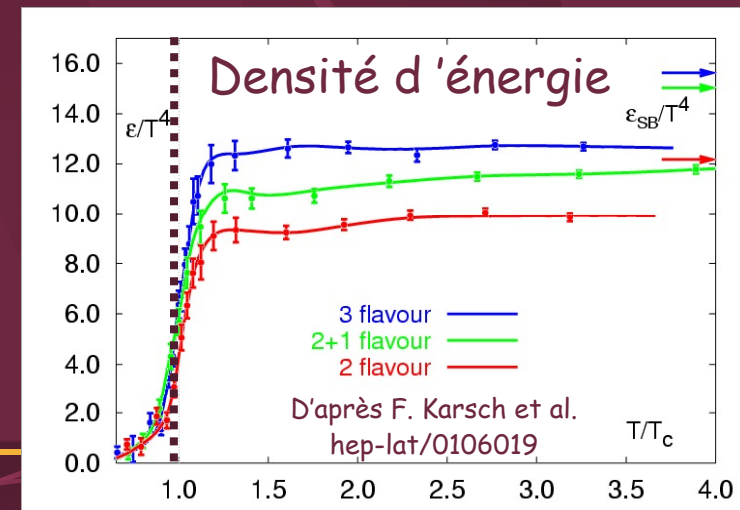
Le plasma de quarks et de gluons (ou dé-confinement)

● Prédiction de la théorie de l'interaction forte (chromo-dynamique quantique)

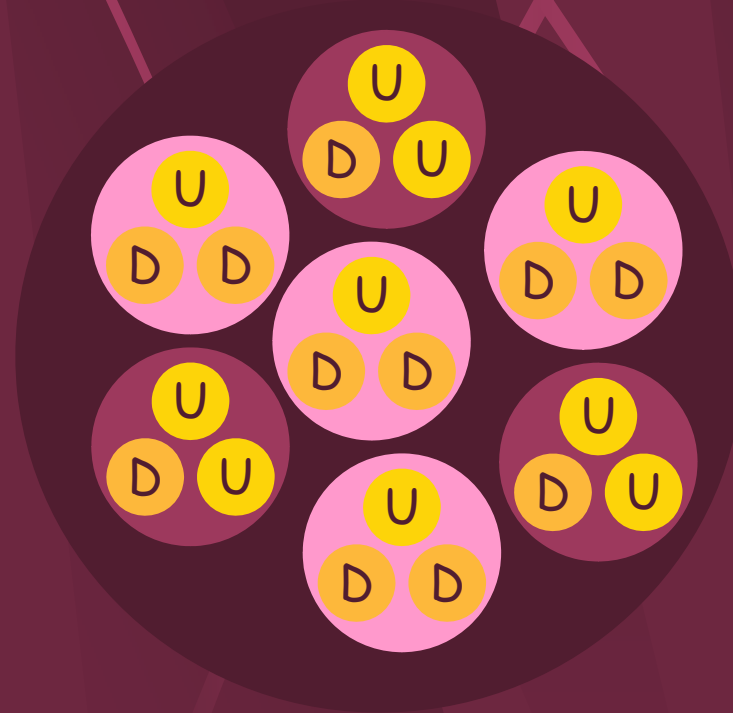
- *Si nous chauffons (ou comprimons) des noyaux, les quarks et les gluons se libèrent et forment une soupe, un plasma...*

● Transition de phase

- $T_c \sim 10^{13} \text{ °C} = 10\,000 T_{\odot}$
($T_{\odot} \sim 10^8 \text{ °C}$)
- $\varepsilon_c \sim 1 \text{ GeV/fm}^3$



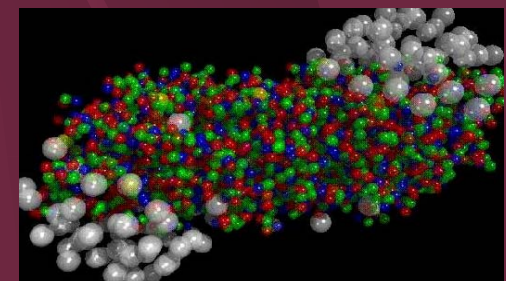
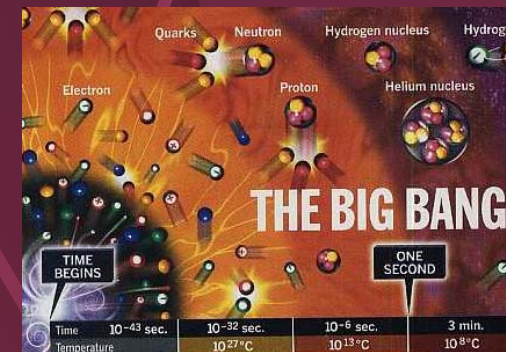
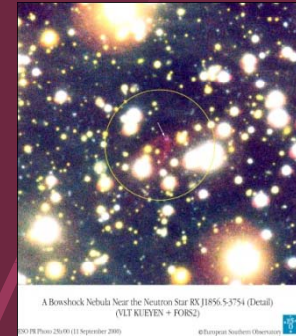
Le plasma de quarks et de gluons (ou déconfinement)



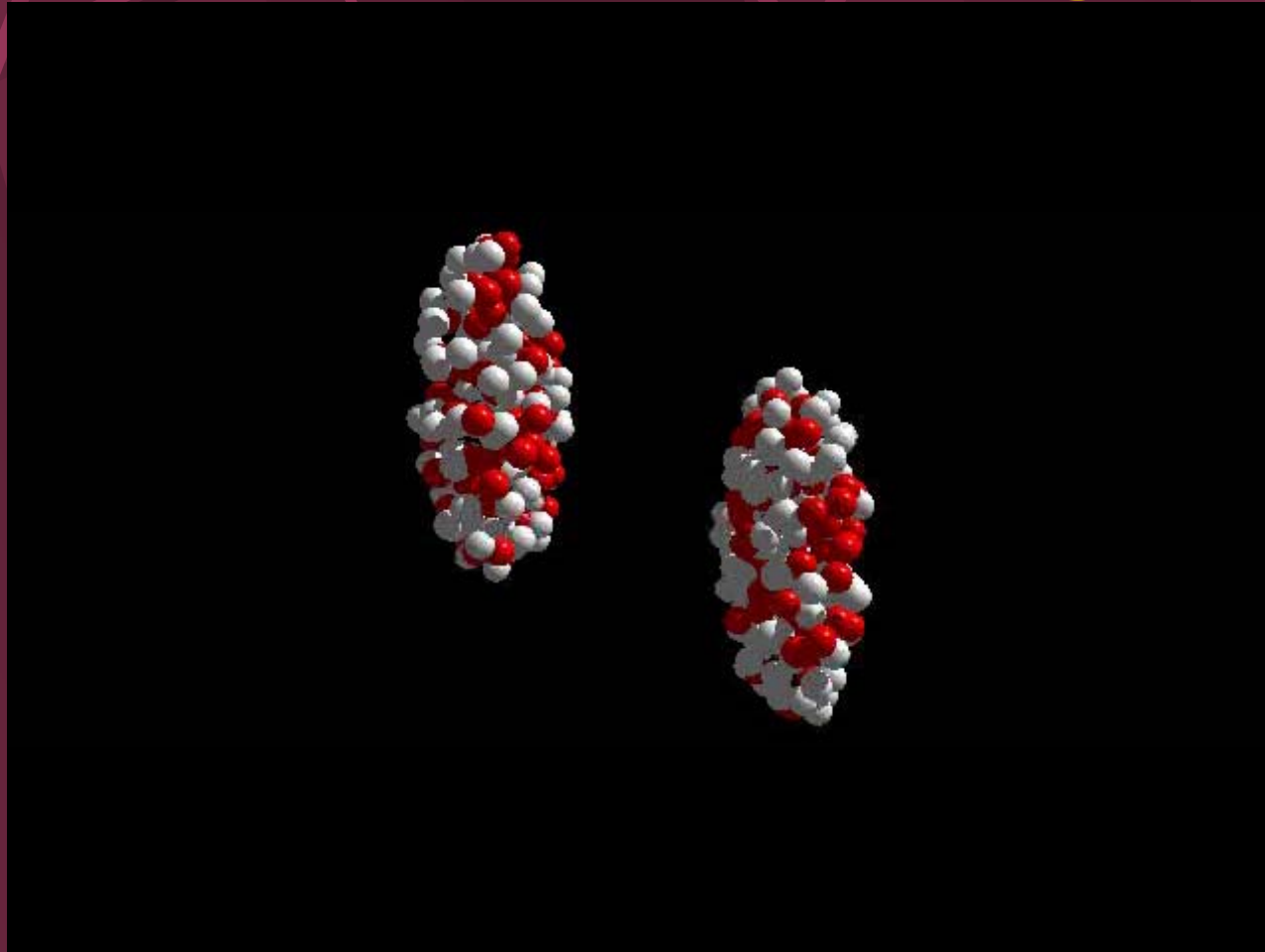
(vision naïve)

Où observer ce plasma ?

- Au coeur de certaines étoiles ?
- Au début de l'univers
 - Pendant les premières microsecondes du big bang
- Au laboratoire ?
 - En faisant entrer en collision des noyaux lourds
 - Temps de vie $\sim 10^{-23}$ s



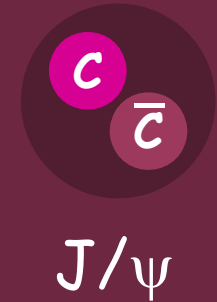
L'outil : les collisions d'ions lourds à haute énergie !



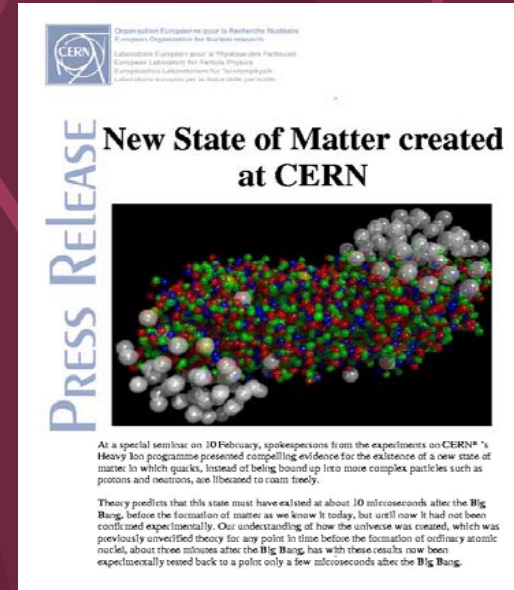
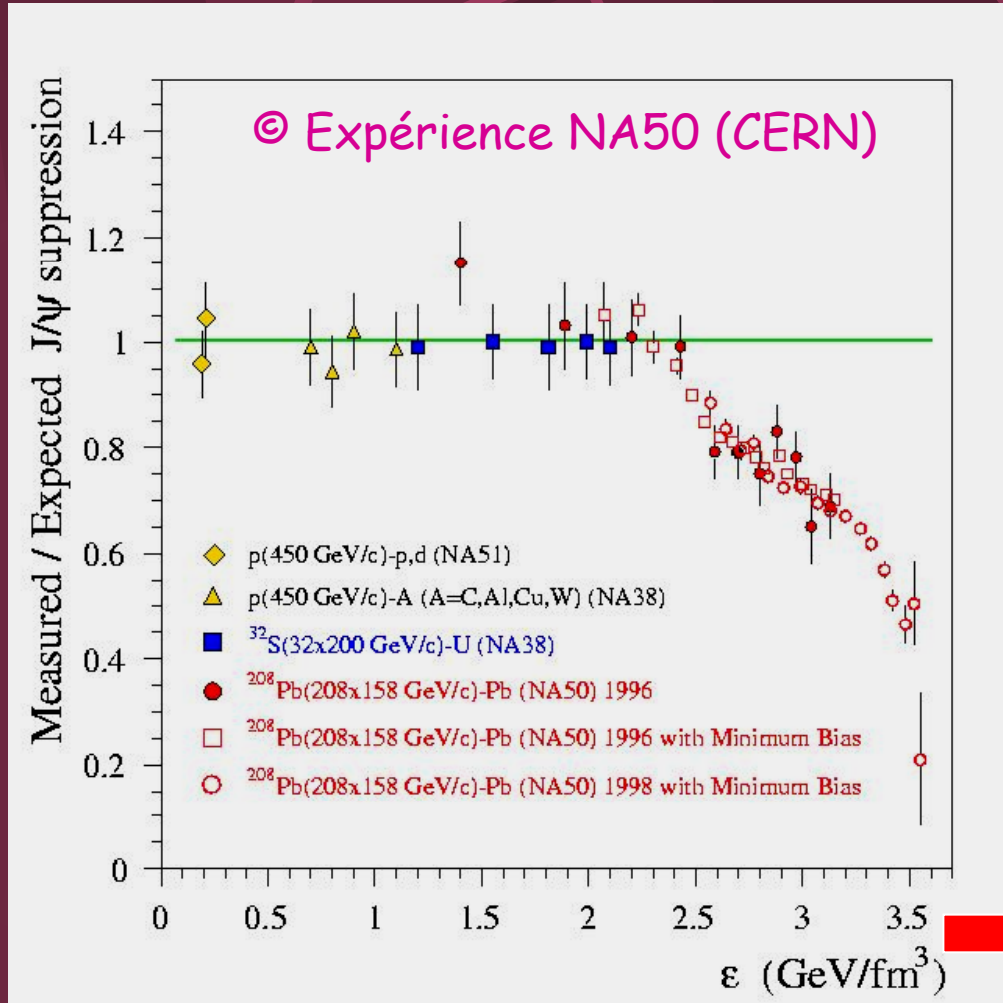
© RQMD
authentique
simulation
théorique

Comment espérer le voir ?

- Plusieurs recettes sur le marché !
 - Ma préférée :
- Suppression du J/ψ
 - Peu de paires de quarks charm + anticharm créées dans la collision
 - Tendance à rester ensemble pour former la particule J/ψ
 - Mais pourrait fondre dans un plasma de quarks et de gluons ?



Déjà vu au CERN !



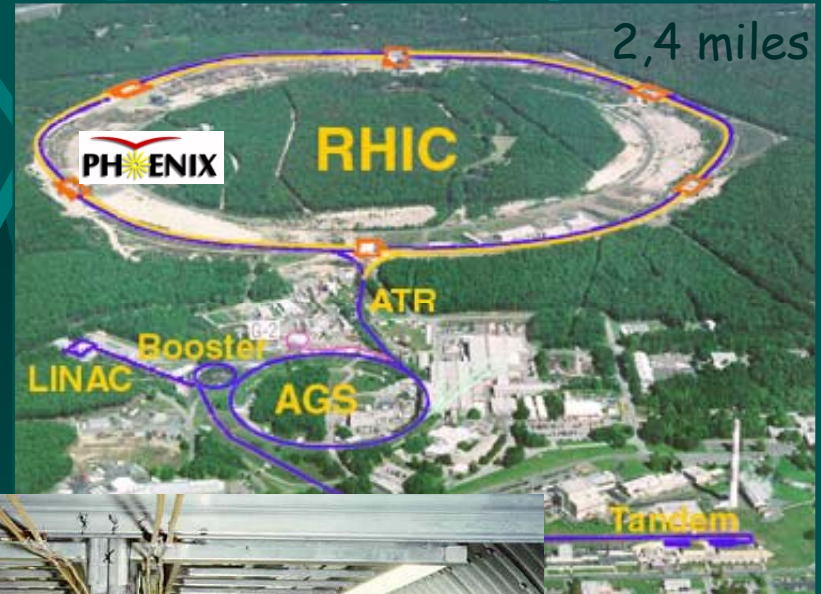
Mais pas de consensus
Mon objectif : le vérifier à plus haute énergie...

→ $\epsilon > 6 \text{ GeV}/\text{fm}^3$

Le métier d'expérimentateur

Par exemple sur l'expérience
PHENIX, à la recherche du
plasma de quarks et de gluons

Un accélérateur (RHIC)



Relativistic Heavy
Ion Collider

Brookhaven National
Laboratory





PHENIX, le calendrier

12 ANS

- 1990 : Lettre d'intention pour nombreuses petites expériences au RHIC
- 1992 : Conceptual Design Report de PHENIX
 - *Pioneering High Energy Nuclear Interaction eXperiment*
 - Renaît des cendres de 4 des petites expériences
- ... phase de construction ...
- 2000 : premières données
- 2002 (14 jan) couverture Physical Review Letters
- 2004 : rédaction d'un plan de physique à 10 ans
- 2010 : tourne encore...



PHENIX, le coût

50 M\$

Prévisionnel
en 1993
~ 50 M\$

pas assez
d'argent

↓
parties
différées

Table 14.1: The PHENIX Baseline Cost Summary

Amounts in FY93 k\$												
W_B_S	Description	Total without Contingency	M&S	EDIA	Labor	Cont%	Cont(k\$)	DOE	Japan	Russia	Deferred	
5. 1. 1	CM	2937	2228	265	444	25	515	1316	587	744	290	
5. 1. 2	MM	1967	1368	265	333	30	460	775	0	760	432	
5. 2. 1	MVD	1536	1125	206	202	24	374	1536	0	0	0	
5. 2. 2	BB	361	300	37	25	0	0	0	361	0	0	
5. 3. 1	DC	2134	766	720	648	24	519	1508	0	627	0	
5. 3. 2	PC	2943	2105	516	323	18	535	2943	0	0	0	
5. 3. 3	TEC	2264	1720	144	448	21	469	2264	0	0	0	
5. 4. 1	RICH	4888	4150	248	490	0	0	0	4888	0	0	
5. 5. 0	TOF	1765	1375	220	170	0	0	0	1765	0	0	
5. 6. 0	EMCal	3420	3074	298	49	29	989	3420	0	0	0	
5. 7. 0	Muon	3388	1788	589	1011	0	0	0	0	0	3388	
5. 8. 0	On-line	7917	2989	4088	840	30	2253	7510	273	0	134	
5. 9. 0	Str&Fac	2850	1421	794	635	26	731	2850	0	0	0	
5. 10. 0	PM	3393	275	2868	250	13	439	3393	0	0	0	
Totals		41764	24683	11258	5868	25	7285	27515	7874	2130	4245	
DOE Total with Contingency							34800					

PHENIX, dans le monde

600 pers.

● ≈ 600 physiciens* $\subset 71$ labos $\subset 14$ pays



* En janvier 2010



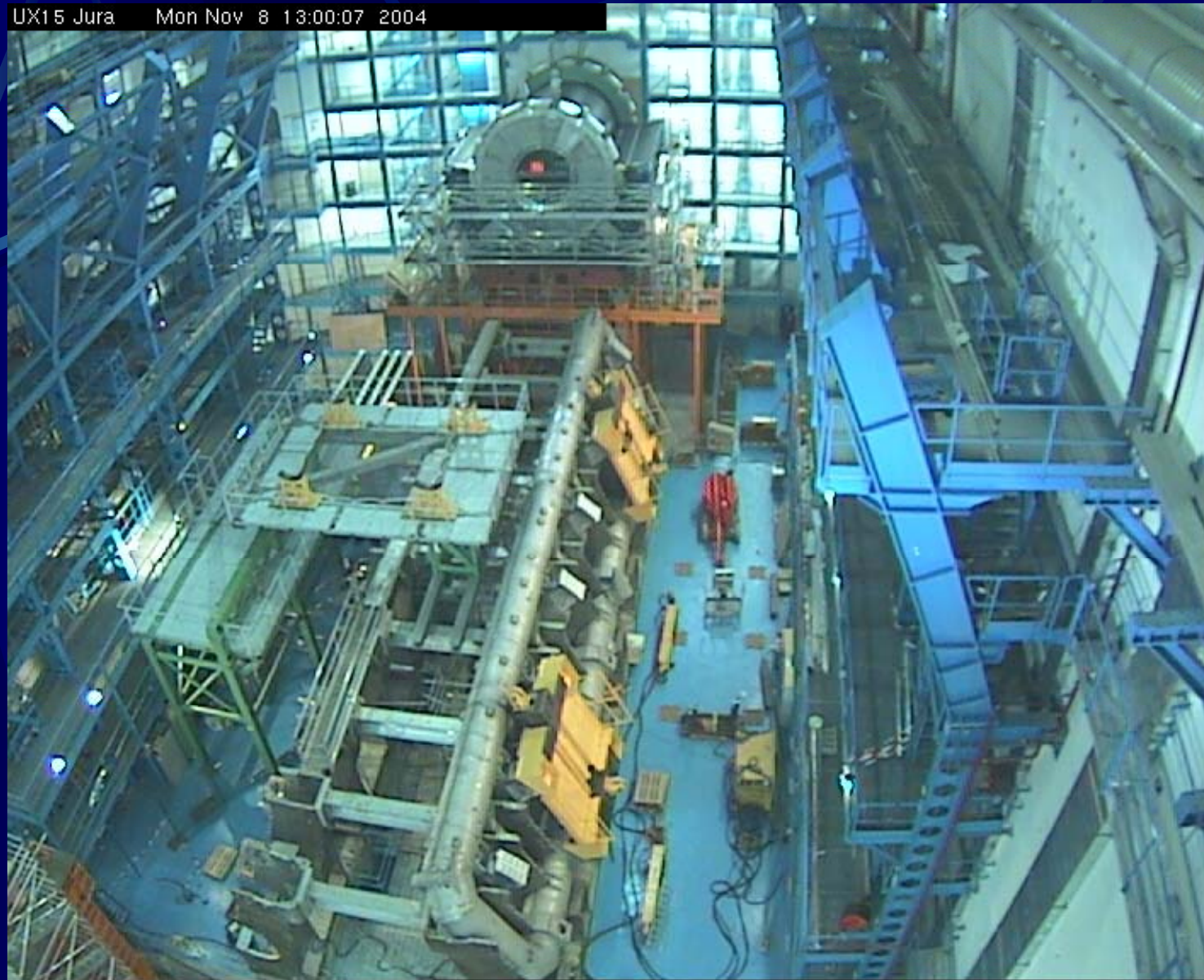
De plus en plus grand...

- Coût, taille, délai des expériences de plus en plus élevés !
- Au CERN (Genève) : Démarrage du LHC & deux expériences principales → Boson de Higgs
 - > 500 millions de francs suisses
 - \approx 2000 physiciens (> 30 pays)
 - \approx 15 ans de construction → démarrage 2009-2010
 - Autant d'exploitation ?



2004

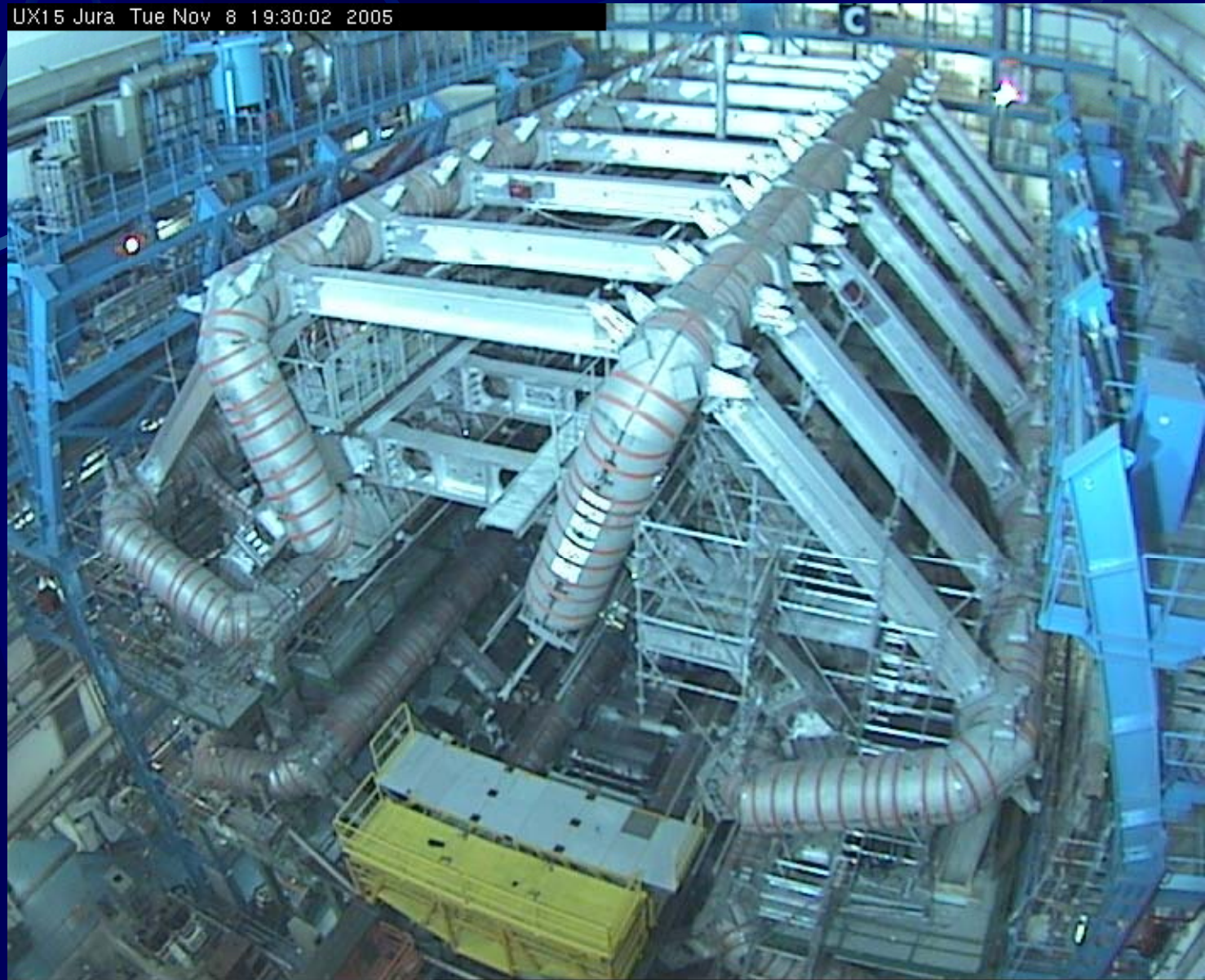
A
T
T
L
A
S



http://atlas-eye-webpub.web.cern.ch/atlas-eye-webpub/web-sites/pages/UX15_webcams.htm

2005

A
T
L
A
S



http://atlas-eye-webpub.web.cern.ch/atlas-eye-webpub/web-sites/pages/UX15_webcams.htm

Recherche fondamentale

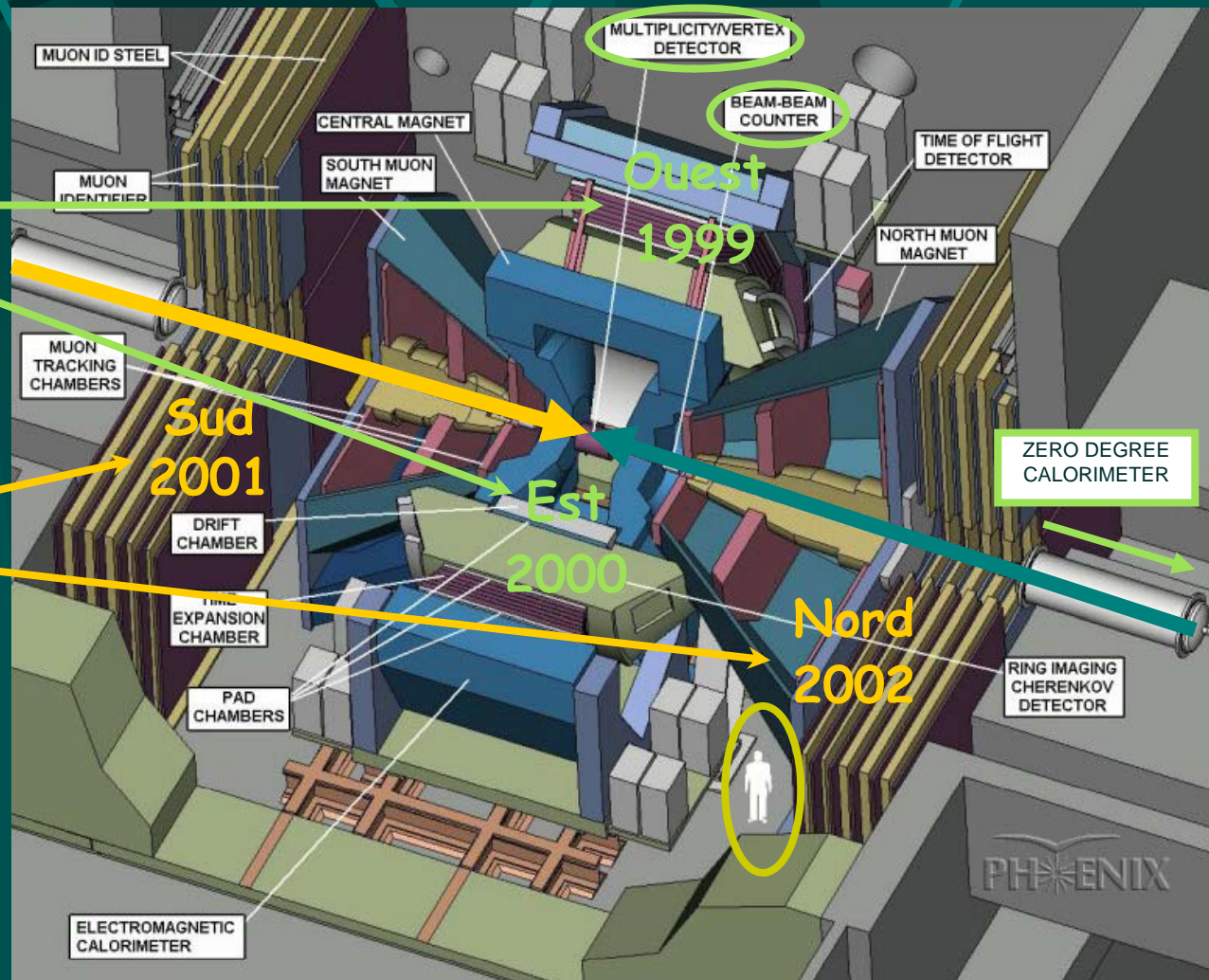
- À la frontière de ce qui est connu...
- Projets ambitieux au coût élevé !
- Collaborations internationales
 - Seul façon d'avoir les ressources financières (et intellectuelles...)
- **Nombreux autres exemples :**
 - Satellites pour la cosmologie et l'astrophysique (Planck, Fermi...)
 - ITER pour fusion nucléaire
 - ...

PHENIX, les détecteurs

Deux spectro
centraux
(protons, π , K
électrons)

Deux spectro
à muons
vers l'avant
(deux NA50)

+ Trois
détecteurs
globaux



PHENIX, en 2001

- Dis donc, il ne manque pas quelque chose à droite ?

- Dis donc, t'as pas 800 k€ à me prêter ?

MuId

MuTr

MuId

MuTr



Sud

Nord

Un peu de politique

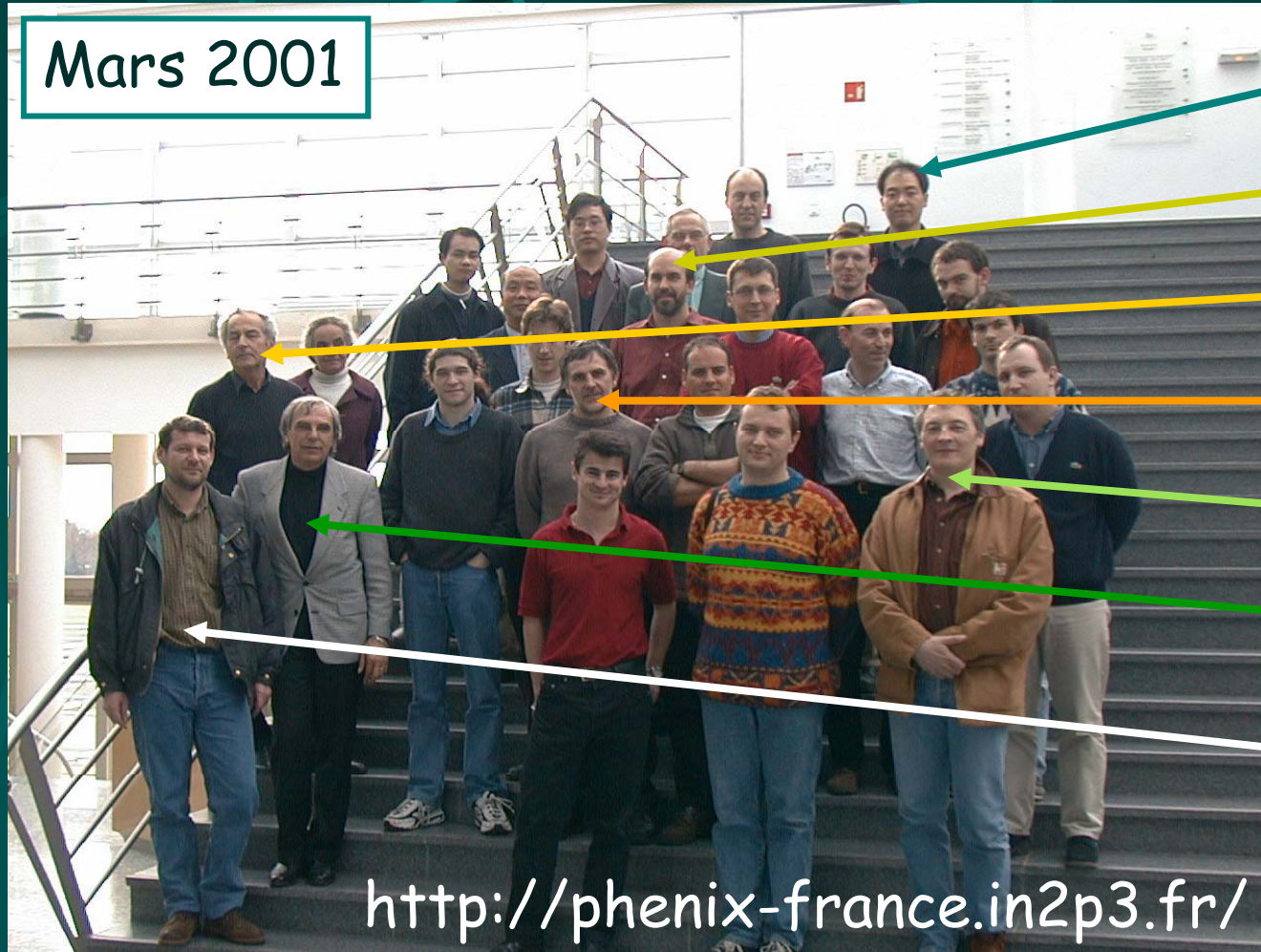
- Américains pas assez d'argent pour instrumenter le bras septentrional...
- Opportunisme : monter rapidement un petit projet pour combler la lacune...
 - 1000 cartes électroniques
- Recherche du financement, des partenaires...
 - Conseils scientifiques des tutelles...
- Petite histoire : ≈ 800 k€ (US) \rightarrow 415 k€
 - 300 k€ (IN2P3) + 75 k€ (CEA) + 40 k€ (Corée)
- Juin-Juillet 2001 : signature d'un MoU*
 - PHENIX-CEA-IN2P3
 - Livraison avant été 2002
 - Maintenance jusqu'en 2007 (et au-delà)

\approx Travail de stratégie dans l'entreprise

* Memorandum of Understanding

Partenaires PHENIX France

Mars 2001



Corée

CEA Saclay

Clermont

Nantes

IPN Orsay

Polytechnique

Centre de Calcul
de Lyon

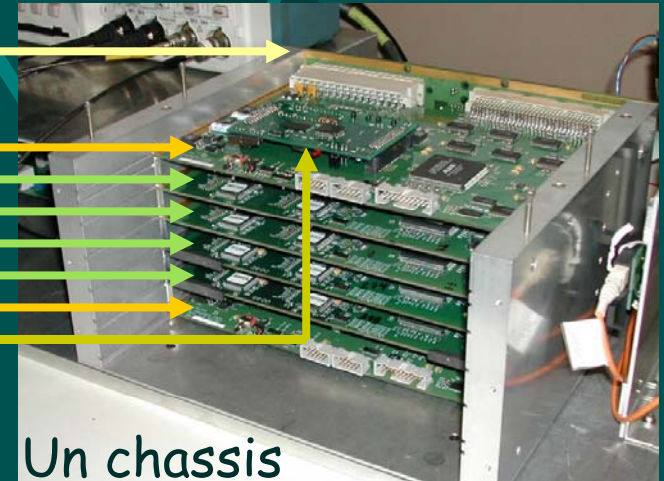
<http://phenix-france.in2p3.fr/>

Un peu d'électronique...

- Prise en charge la production de l'électronique du bras nord

≈ Travail de chef de projet

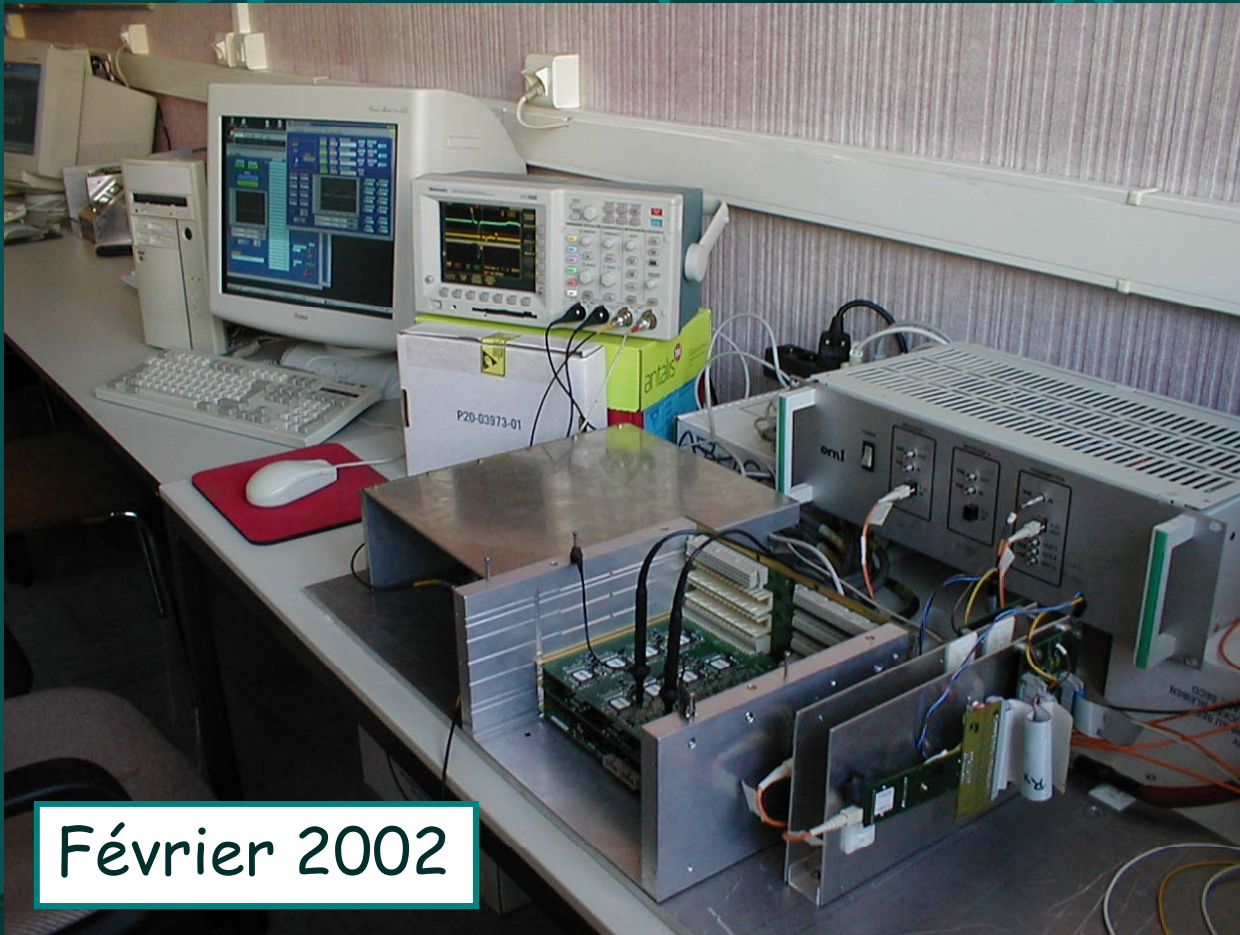
- 128 back planes
- 216 controlers
- 480 crocs (64 voies)
- 250 arcnets (Corée) + 50



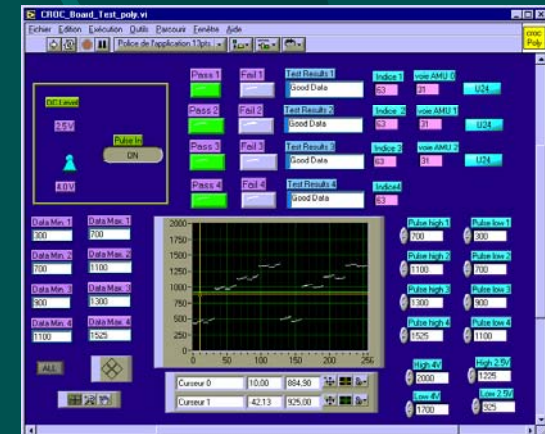
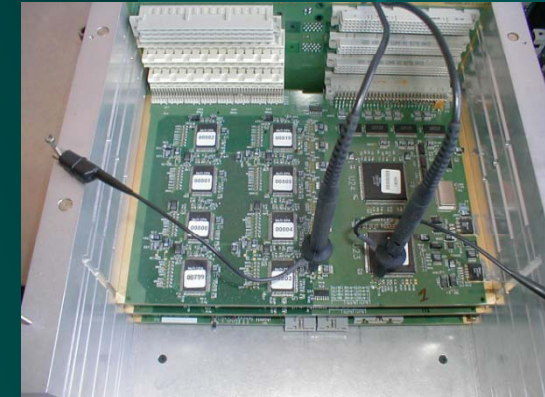
- Planning

- Printemps 2001 : recherche entreprises
- Été 2001 : marchés publiques...
- Automne-Hiver 2001 : collection de cartes

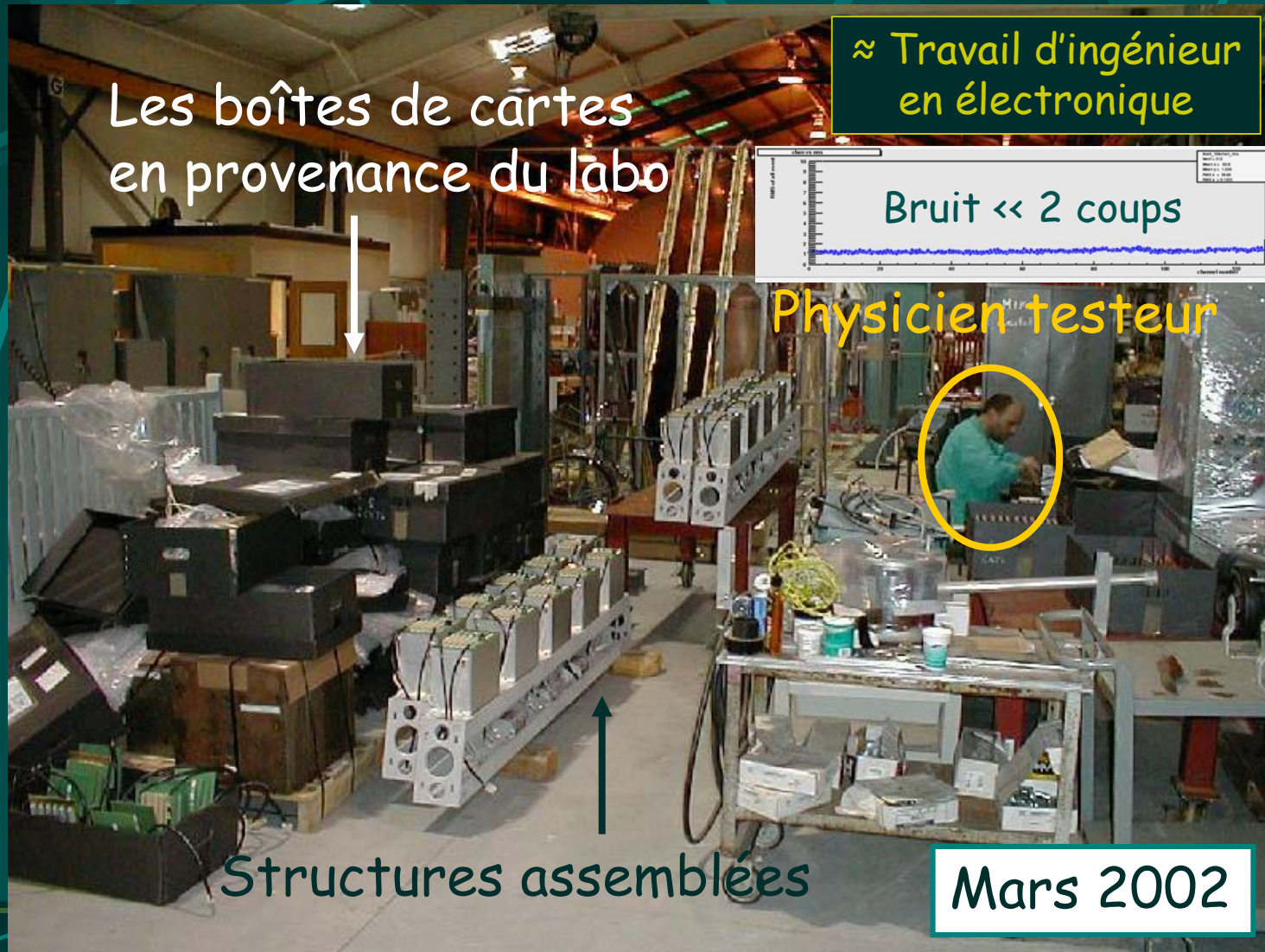
Tests de niveau 1 au laboratoire



Février 2002



Tests de niveau 2 @ BNL

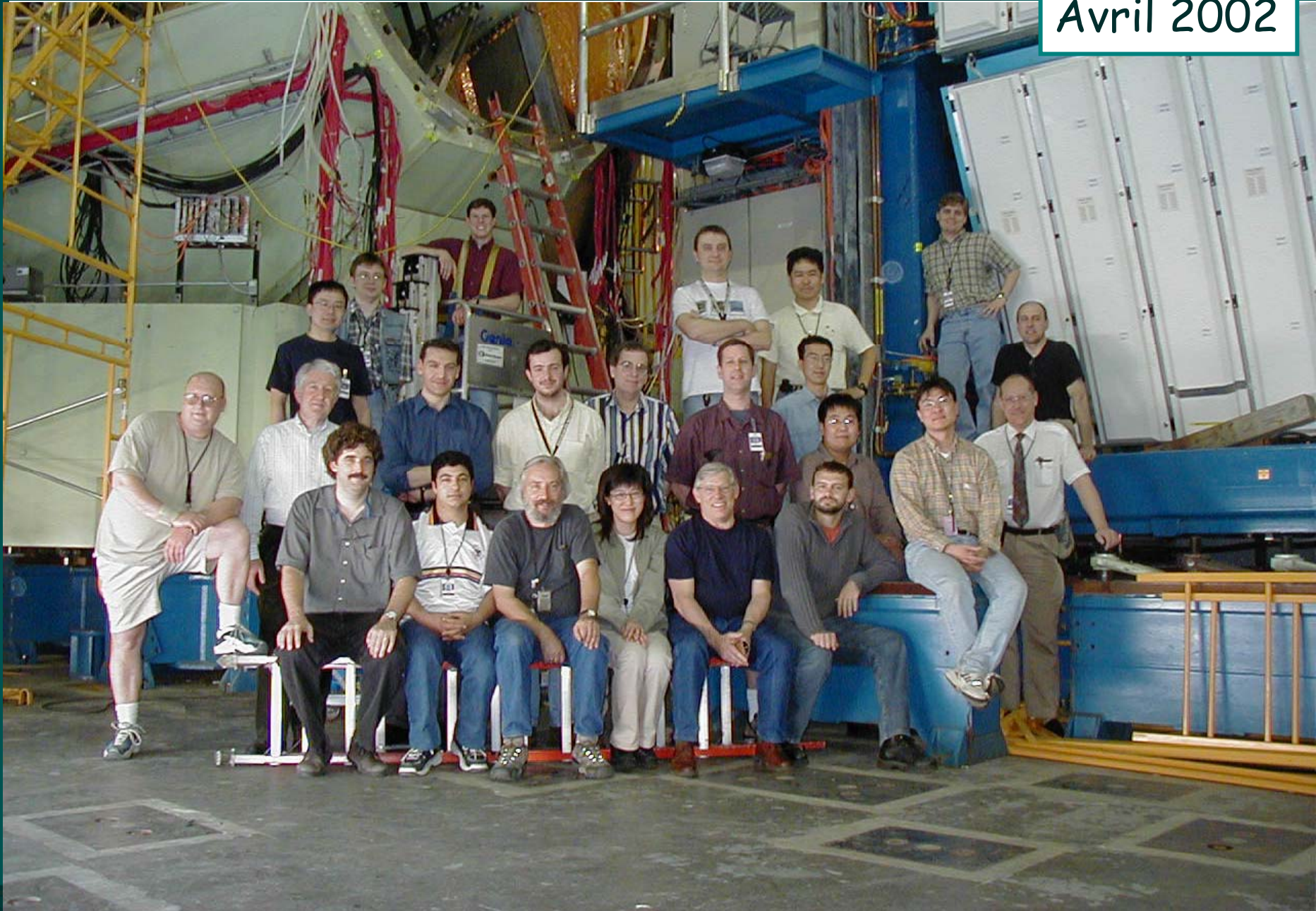


Réparation du bras sud...

Avril 2002

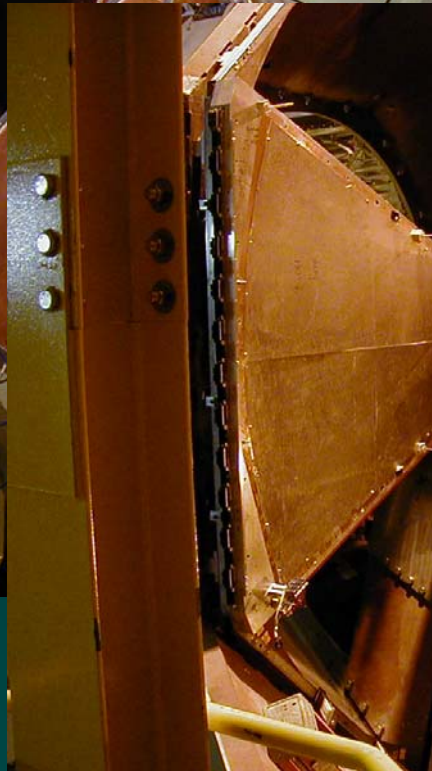
- Changement de quelques cartes défectueuses
 - 20 CROCs, 8 CNTLs, 7 BPs, 2 ArcNet...
 - Ramenées pour investigation/réparation
- Réduction du bruit électronique
- Vérification que tout marche avant fermeture...
- Responsabilité de l'électronique nord + sud (Olivier)

Avril 2002



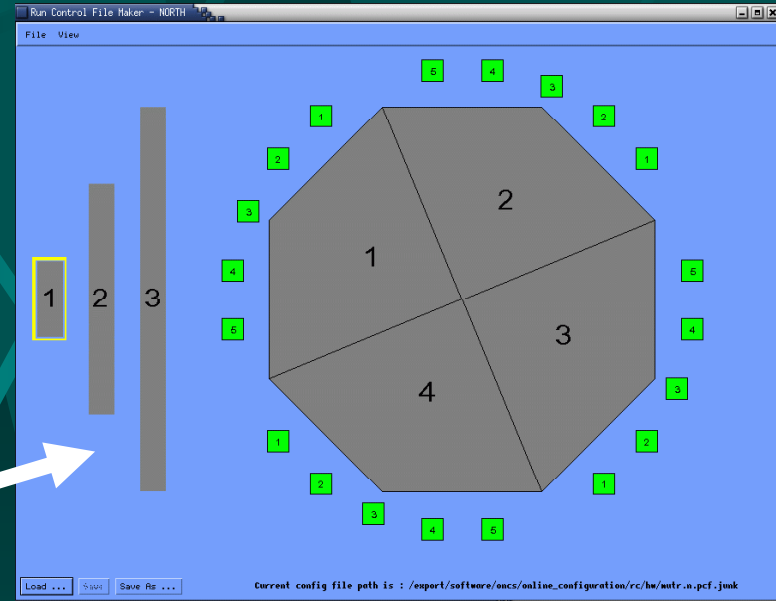
Pendant ce temps...

≈ Travail d'ingénieur
en mécanique



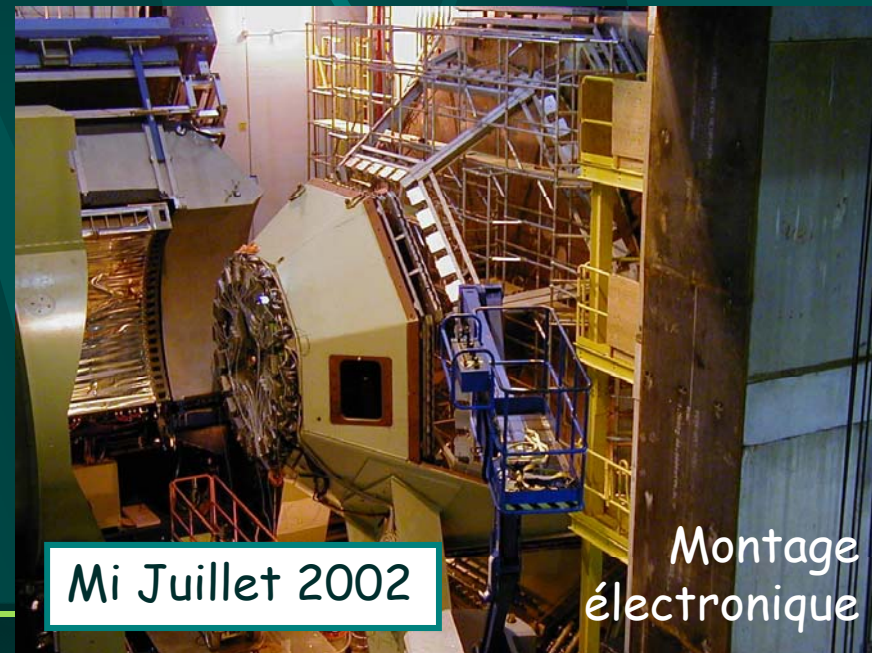
Installation - mise en route

- Câbler/lire l'électronique
- Adapter/améliorer le soft



Juin 2002

Montage
chambres



Mi Juillet 2002

Montage
électronique



Mi-Août 2002

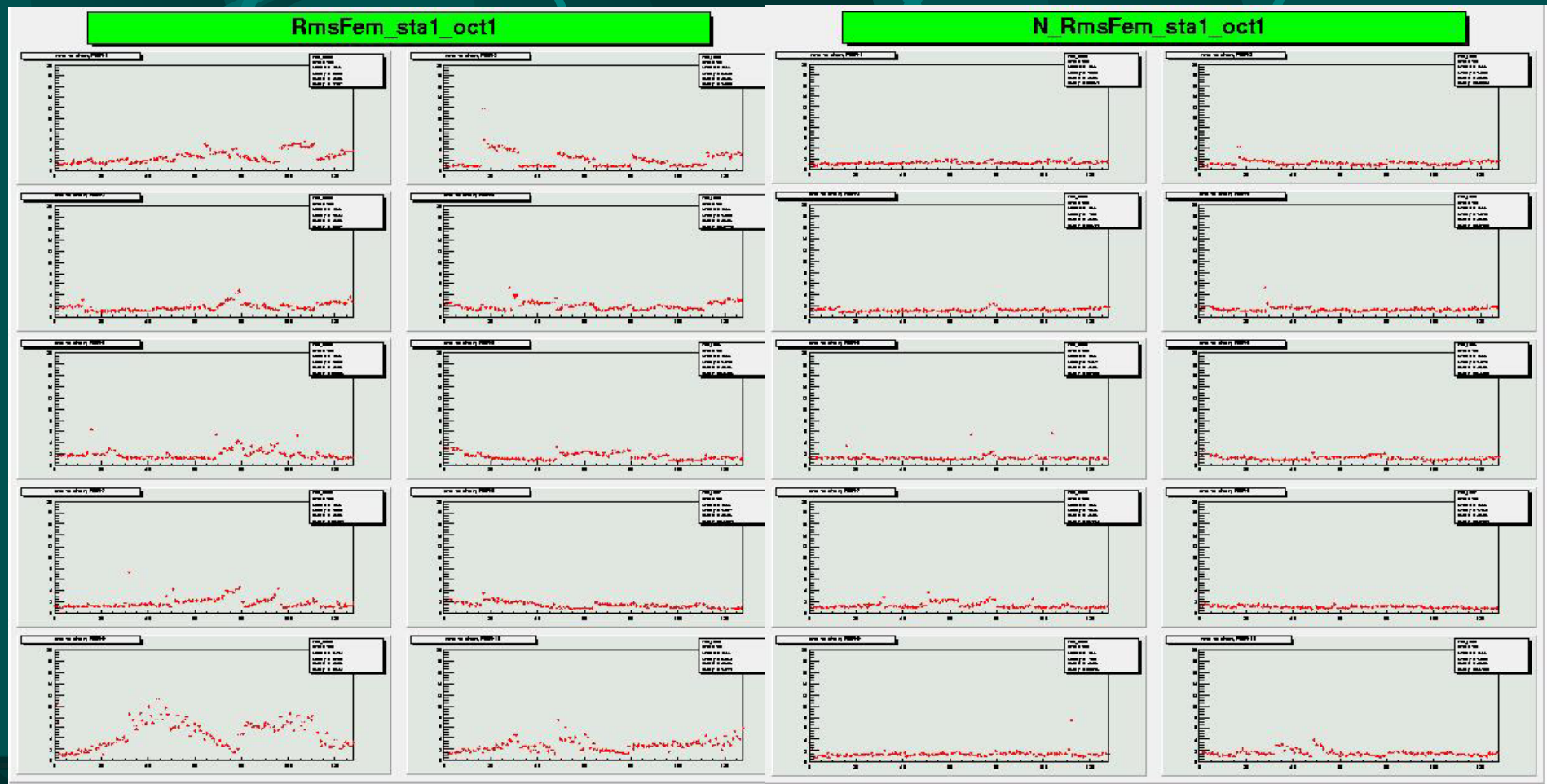
Vérifications

- Vérifier le câblage
- (recâbler)
- Réduire le bruit
- Remplacer les cartes mourantes

Réduire le bruit (station 1)

8 Août 2002

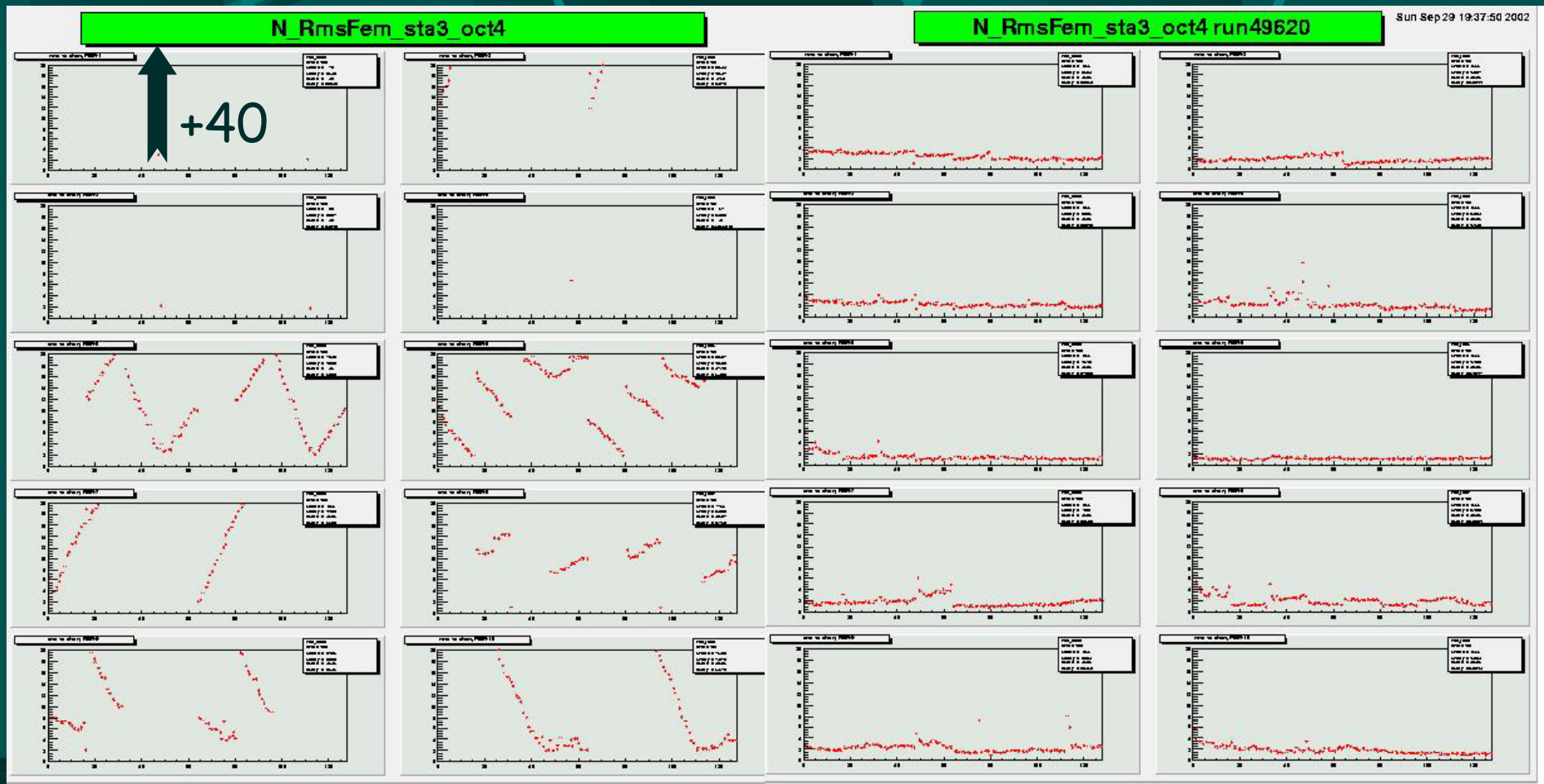
21 Août 2002



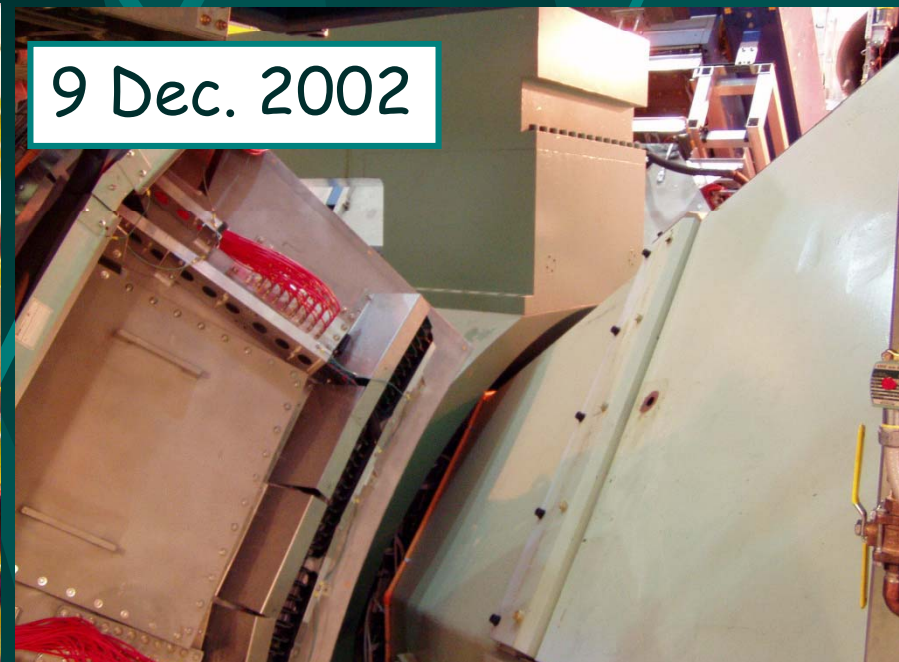
Réduire le bruit électronique (comprendre : bidouiller)

21 Août 2002

29 Sept. 2002

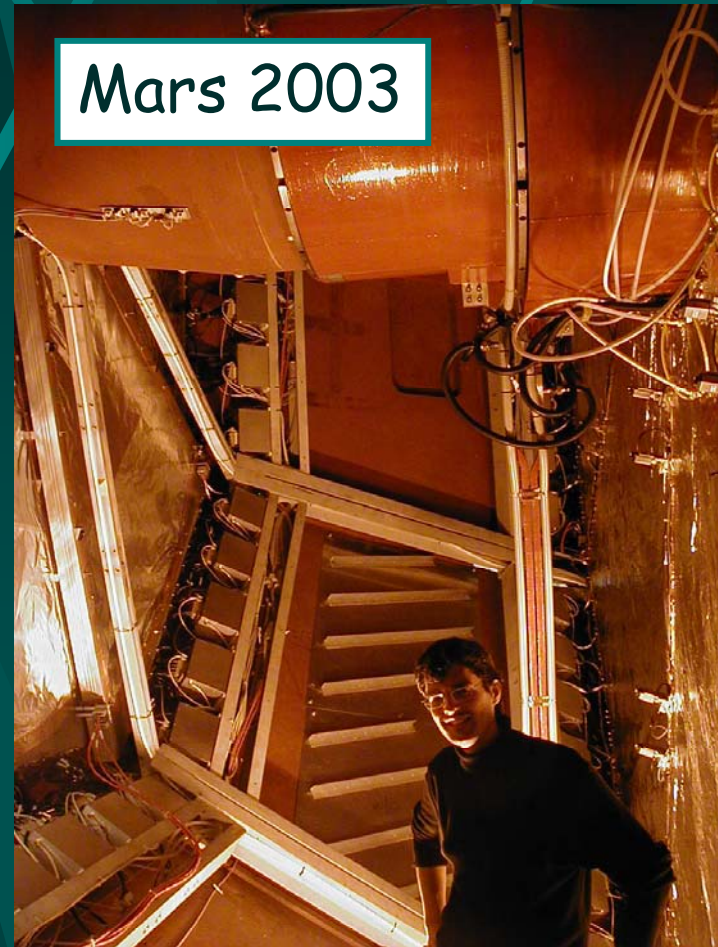


On ferme...



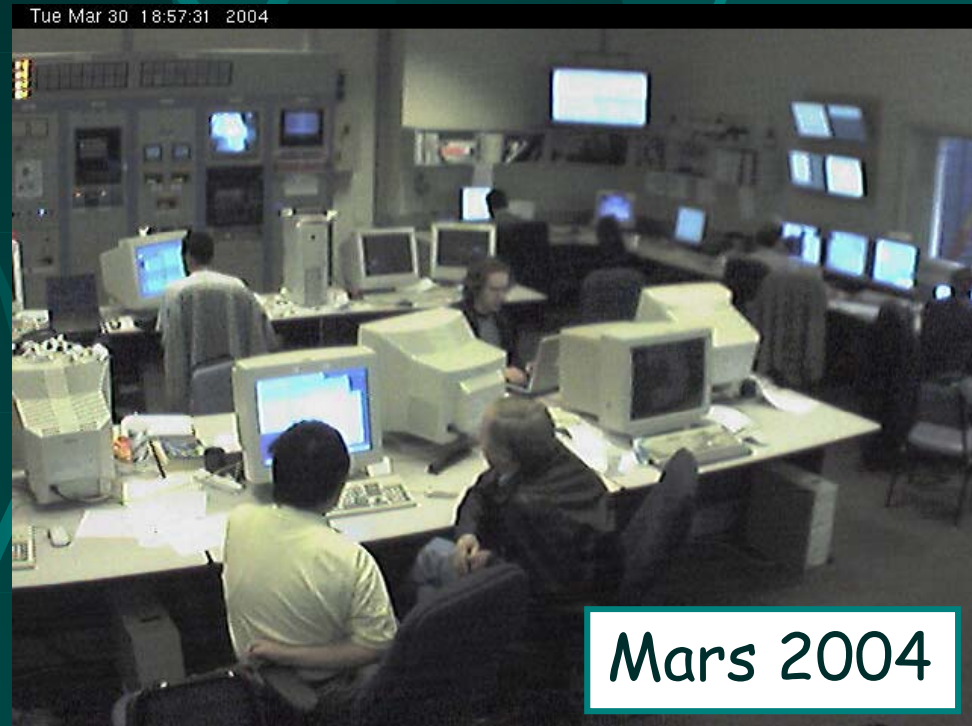
- Fermeture du détecteur...

On tourne...



Acquisition des données

- Surveillance du détecteur pendant les prises de données : 24h/24 pendant plusieurs mois...
- Tout le monde doit faire des « shifts »
~ 2 semaines / an

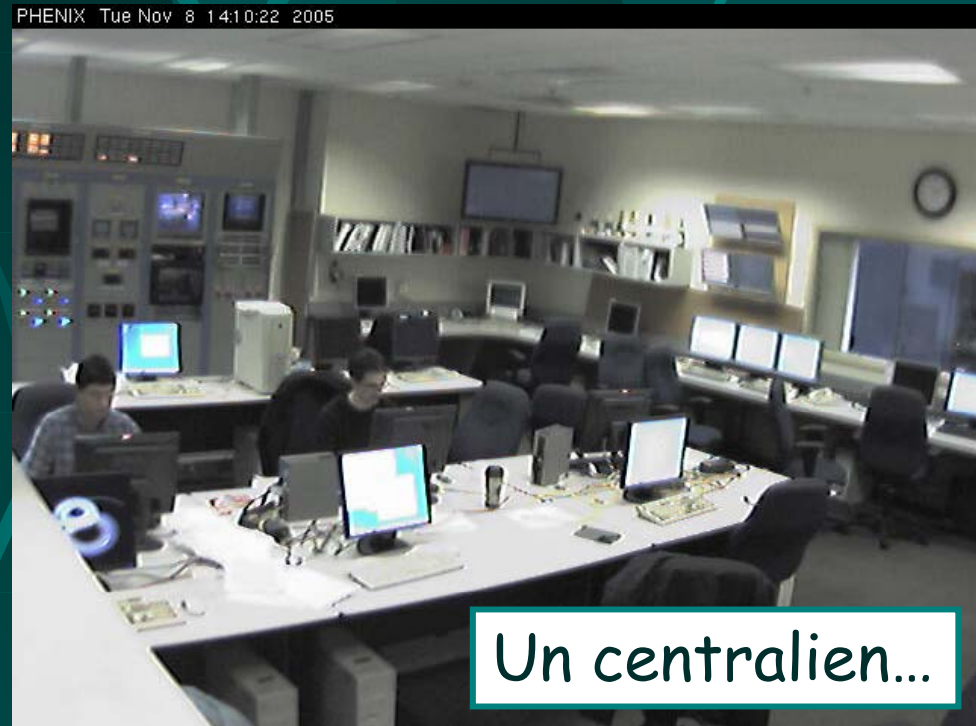


Salle de contrôle de PHENIX
Pendant la prise de données

(webcastée : <http://runcontrol.phenix.bnl.gov/~haggerty/pcam/>)

Acquisition des données

- Surveillance du détecteur pendant les prises de données : 24h/24 pendant plusieurs mois...
- Tout le monde doit faire des « shifts »
~ 2 semaines / an

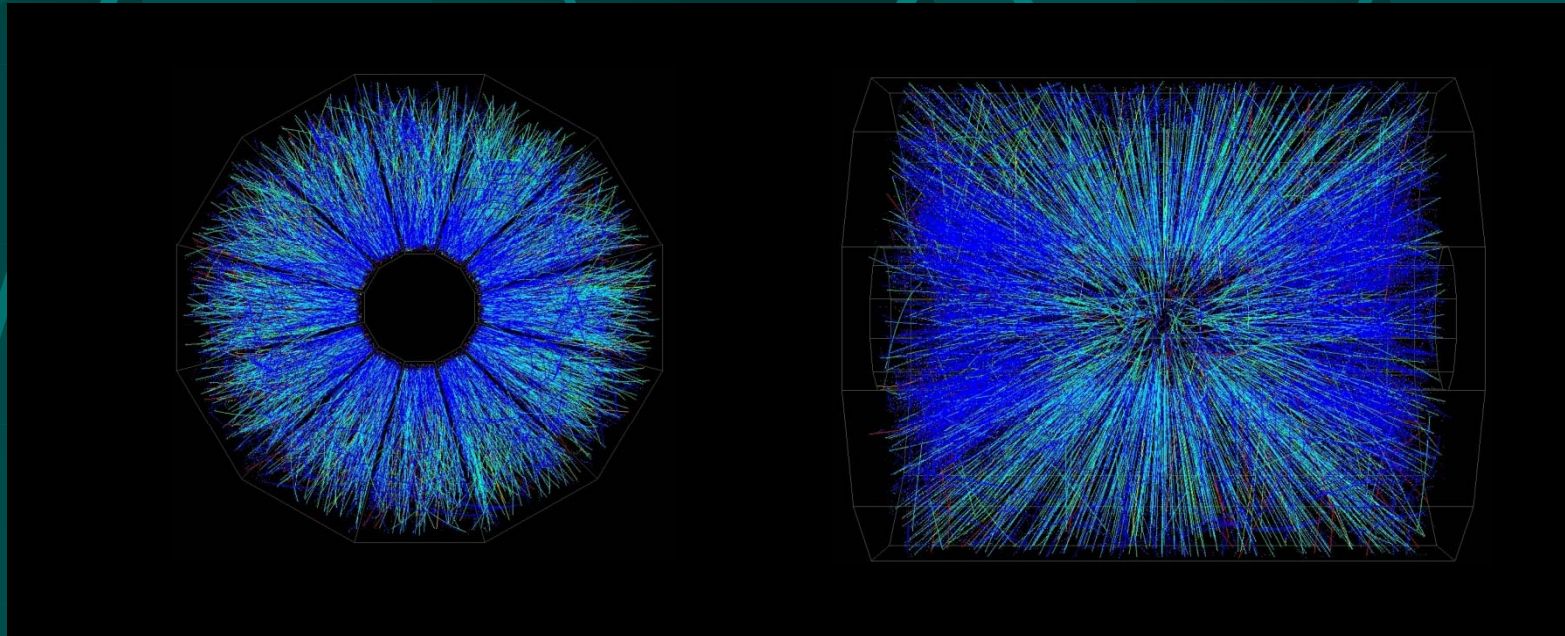


Salle de contrôle de PHENIX
(avec un centralien)

(webcastée : <http://runcontrol.phenix.bnl.gov/~haggerty/pcam/>)

de beaucoup de données...

- Une collision violente Au-Au



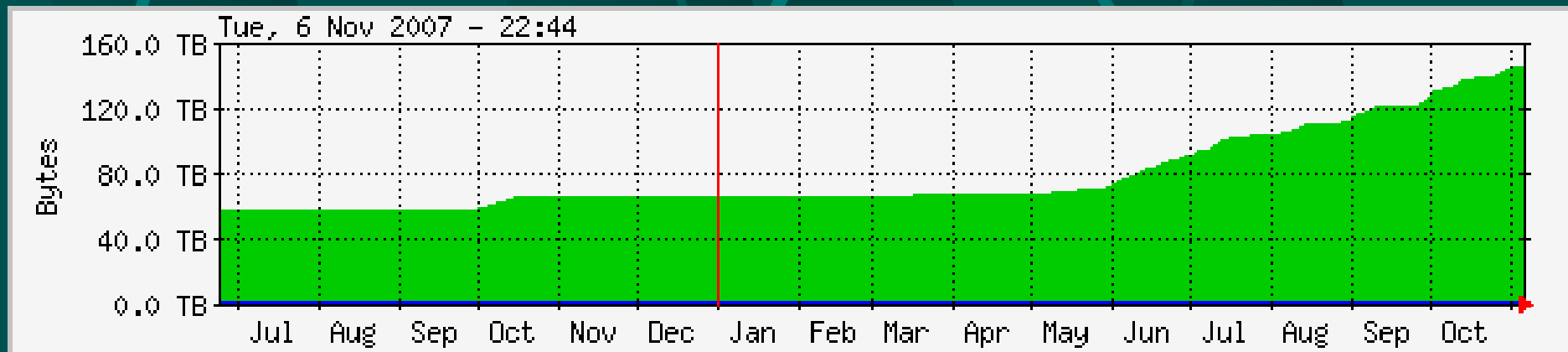
x milliards de collisions...

donc beaucoup d'informatique...

● Traitement des données

- Traiter des centaines de Téra-octets
- Coder (C++, base de données, etc.)

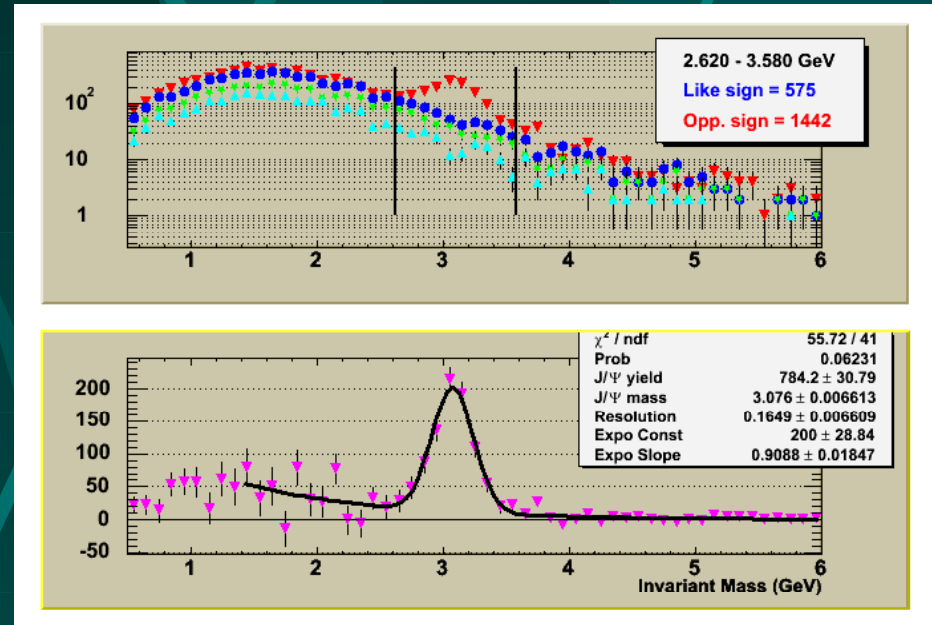
≈ Travail d'ingénieur en informatique



(Nombre de Téraoctets dédiés à PHENIX au centre de calcul de Lyon)

L'analyse des données

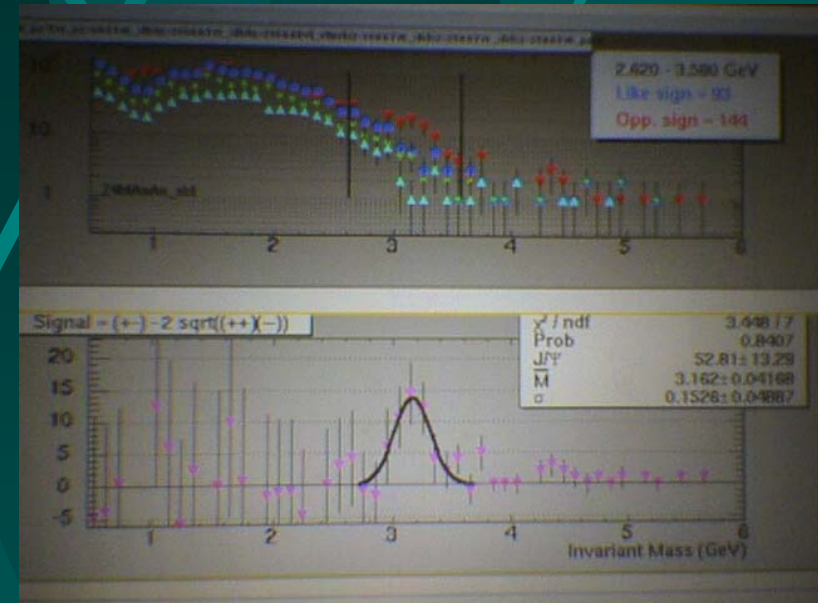
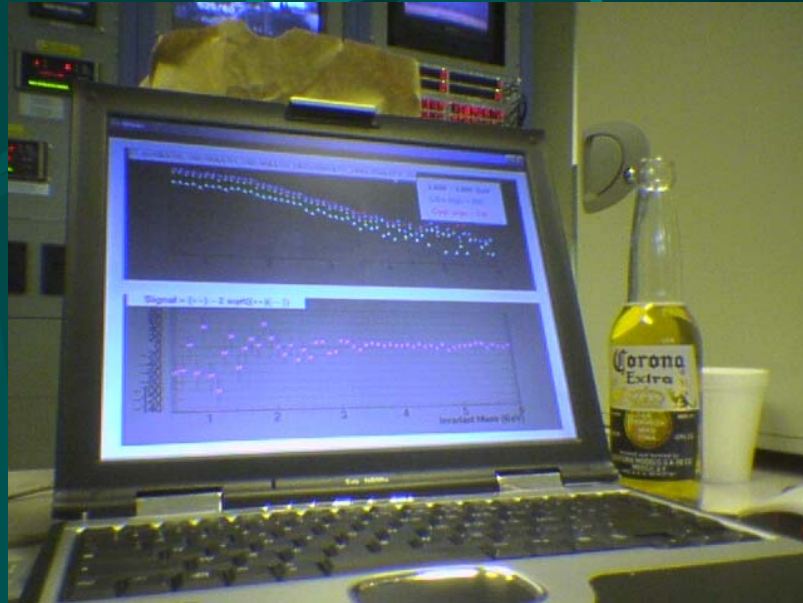
- Regarder des distributions...
- Quantifier les erreurs...
- Faire (enfin 😊) de la physique
- Etc.



Exemple du temps nécessaire à une analyse:

- Juin 2003 : fin de prises des données dAu et pp
- Janvier 2004 : présentation résultats préliminaires
- Juillet 2004 : travail sur résultats finals

L'analyse des données



- Premiers J/ψ vus dans la salle de contrôle

Publications des résultats

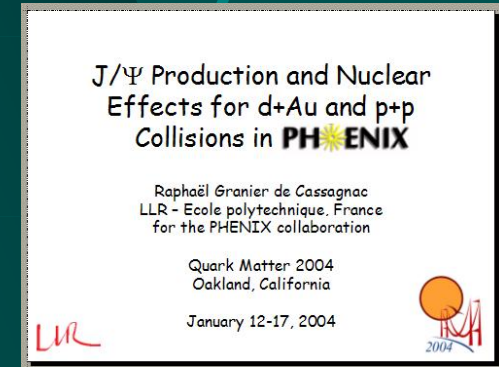
- **Présentation en conférence**

- Interprétation et discussions des résultats avec les théoriciens et toute la communauté...

- **Séminaires...**

- **Rédaction d'articles scientifiques**

≈ Travail de communication



H. A. Kramers N. F. Mott G. Gamow P. Blackett M. Cosyns A. Piccard
E. Stahel P. A. M. Dirac J. Ereira C. D. Ellis E. O. Lawrence
E. Henriot F. Joliot W. Heisenberg E. Walton P. Debye B. Cabrera W. Bothe E. Bauer J. Yerschaffelt J. Cockcroft L. Rosenfeld
F. Perrin E. Fermi M. Rosenblum W. Pauli E. Herzen R. Peierls
E. Schroedinger I. Joliot N. Bohr A. Joffe M. Curie O. Richardson E. Rutherford M. De Broglie L. Meitner J. Chadwick
P. Langevin T. De Donder L. De Broglie
Absent: A. Einstein and E. Guye

Autres aspects du métier...

● Enseignement

- CNRS -> vacations
- Universités -> postes d'enseignants chercheurs (maître de conf. -> profs)

≈ Travail de formation

● Encadrement

- Direction de stages, de thèses...
- Pilotage des projets techniques avec techniciens, ingénieurs...
- Nécessaire organisation hiérarchique, vu le nombre de physiciens...

≈ Travail de management

● Etc.

L'inconvénient du métier...

Salaire...

Surtout pendant la thèse !

Thèse ministérielle à ≈ 1500 € net
+ bonus si enseignement
Quelques contrats mieux payés
(CEA, polytechnique...)

Les avantages du métier...

- Variété !

- Possibilité d'explorer les différentes facettes/phases du métier
- Communauté très internationale

- Liberté !

- Peu de hiérarchie
 - (contrôle des productions scientifiques)

- Soutenues par un but passionnant...

Curriculum Vitae

De Centrale à la recherche
fondamentale

Mon CV

- ECP 95 / Ex-option physique
 - Cours de relativités, de mécanique quantique, d'astro, de nucléaire, de particules...
- 95-96 DEA Champs particules matière
- 96-97 Service militaire...
- 97-00 Thèse au CEA-Saclay
 - Violation de CP - expérience NA48 - CERN
- 2000 Embauche au CNRS
 - Laboratoire Leprince-Ringuet - École polytechnique
 - Plasma de quarks et de gluons - PHENIX - BNL

Débouchés !

- (nombreux) centraliens dans la recherche expérimentale !
 - Au moins 32 en physique des particules, dont le directeur de l'IN2P3.
- Peut-être plus difficile dans la recherche théorique...
- Si l'aventure vous tente, n'hésitez pas ! En cas d'échec / de désintérêt, la reconversion n'est pas (si) difficile...

Recommandations*

- **Après Centrale, faire un DEA !**
 - Les DEA accessibles en 3^{ème} année peu adaptés à la recherche très fondamentale.
- **Attention à l'étranger !**
 - Pas facile du tout de revenir au système académique français
 - Mieux vaut partir après la thèse...
- **Discuter avec les gens du métier**
 - (raphael@in2p3.fr, henri.bachacou@cern.ch)

* Pour ceux qui seraient intéressés par la recherche fondamentale

Pourquoi la recherche fondamentale ?

« Ben oui, ça sert à rien, non ? »

Définitions

- Recherche fondamentale ou appliquée ?
- Comment peut-on savoir à l'avance ce qui est applicable ?
 - Fondamentale = motivée par la curiosité
 - Appliquée = motivée par un besoin précis
- Se double souvent d'une distinction :
 - Fondamentale \approx publique
 - Appliquée \approx privée

Pourquoi la recherche fondamentale ?

● Réflexions sur ses justifications :

1. États généraux de la recherche en France

- <http://www.ladocumentationfrancaise.fr/rapports-publics/044000563/index.shtml>

2. « À quoi sert la recherche de base ? » (par Llewellyn Smith, alors directeur du CERN)

- <http://public.web.cern.ch/Public/Content/Chapters/AboutCERN/WhatIsCERN/BasicScience/BasicScience1/BasicScience1-fr.html>

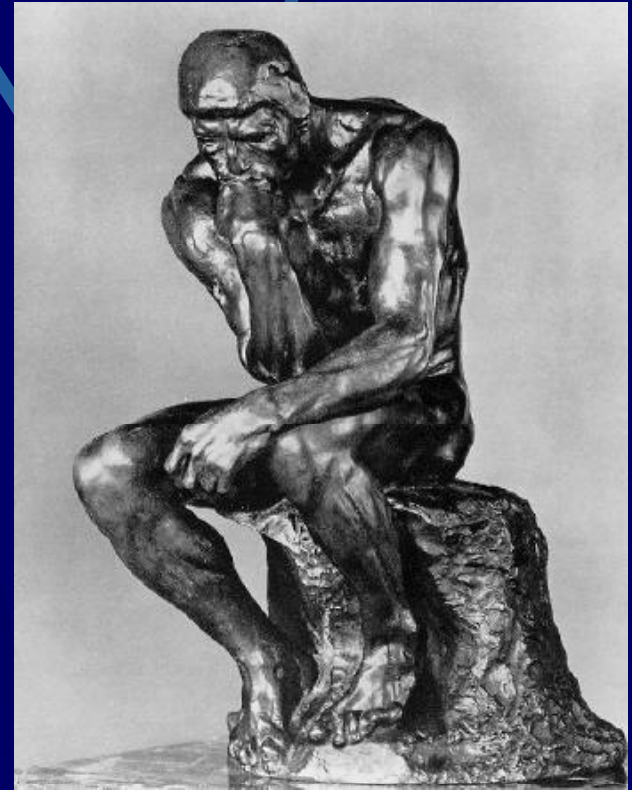
3. ...

Pourquoi la recherche fondamentale ?

- Pas d'applications directement imaginables, mais...
 1. Contribution culturelle
 2. Applications futures inimaginables
 3. Stimulations industrielles
 4. Éducation
 5. Internationalisation

1. Contributions culturelles

- Important en soit de connaître la nature
- Besoin quasi-philosophique
- Quelques exemples :
 - Système héliocentrique,
 - Big bang, expansion,
 - Code génétique,
 - Probabilités quantiques,
 - Dilatation du temps...



2. Applications inimaginables

- Découvertes fondamentales → applications imprévisibles, bouleversantes et tardives (l'inventeur ne s'enrichit pas)
 - Quantique → transistor → ordinateurs
 - Ondes (Hertz) → télécommunications
 - Théorie des nombres → cryptologie
 - Noyau (Rutherford) → énergie, bombe
- Pas inventés pour les besoins...
- Une seule certitude : on ne trouvera pas d'application à ce qui n'a pas été découvert

3. Stimulations industrielles

● Retombées : outils développés pour la recherche fondamentale → applications

- Accélérateurs pour médecine,
- Détecteurs pour imagerie,
- WWW pour tout le monde →
- Horloges atomiques → GPS...

(pas de secret facilite les retombées)

● Stimulations des entreprises

- Exigence de la haute technologie...



↑
premier
serveur
WWW
© CERN

4. Éducation

- Bonne formation à la résolution de problèmes complexes
- Reconversion facile et appréciée de la recherche fondamentale vers la recherche plus appliquée
 - (peut-être moins vrai en France)

5. Internationalisation

- Communauté mondiale, apolitique...
- Le CERN serait sur la liste pour le Nobel de la Paix

Conséquence : financement

- Nécessairement, essentiellement public.
 - Pas d'intérêts commerciaux
 - Intérêt de l'absence de secret
- En France :
 - CNRS, CEA, INRA, INRIA, INSERM, CNES...
 - Également enseignants-chercheurs dans universités...
- Pour les applications, passe le relais au privé bien mieux placé pour réussir !

Conclusions ?...

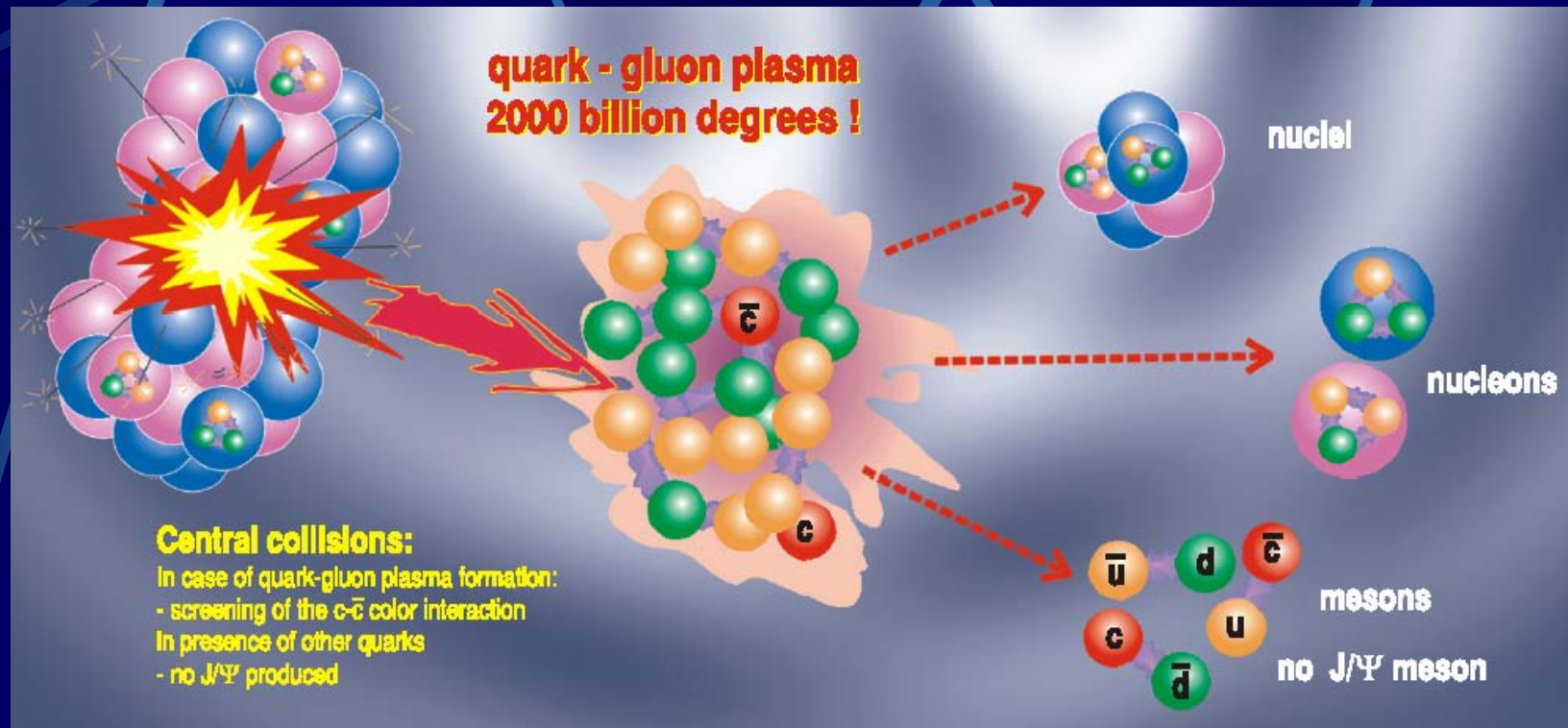
- A vous de tirer les vôtres...



That's all folks...

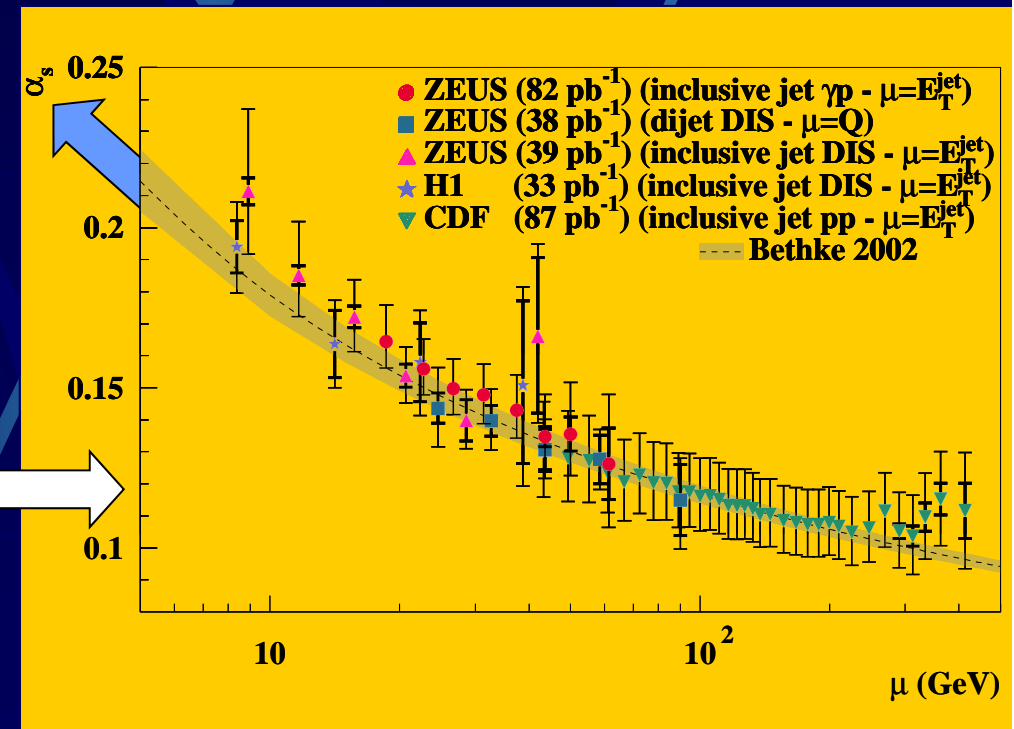
La suite, c'est pour approfondir
certains points...

Suppression du J/ψ



Théorie de l'int. forte = chromodynamique quantique

- 1973 : Weinberg & Co
- Théorie quantique des champs
 - Symétrie SU(3) de couleurs
 - 8 gluons collant les quarks
 - Constante α_s renormalisable
 - ~ « Force de l'interaction »



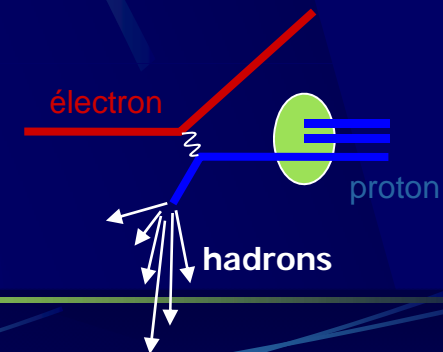
- Interaction « forte » à basse énergie (confinement)
mais « faible » à haute énergie (liberté asymptotique)

I. La liberté asymptotique

(force faible à haute énergie)

- En sondant le proton et le neutron à haute énergie, on observe leurs constituants comme s'ils étaient isolés, libres.
- Permis la découverte des « partons » en 1969
 - (Nobel 1990 à Friedman, Kendal & Taylor)
- Permet d'explorer la structure des nucléons.

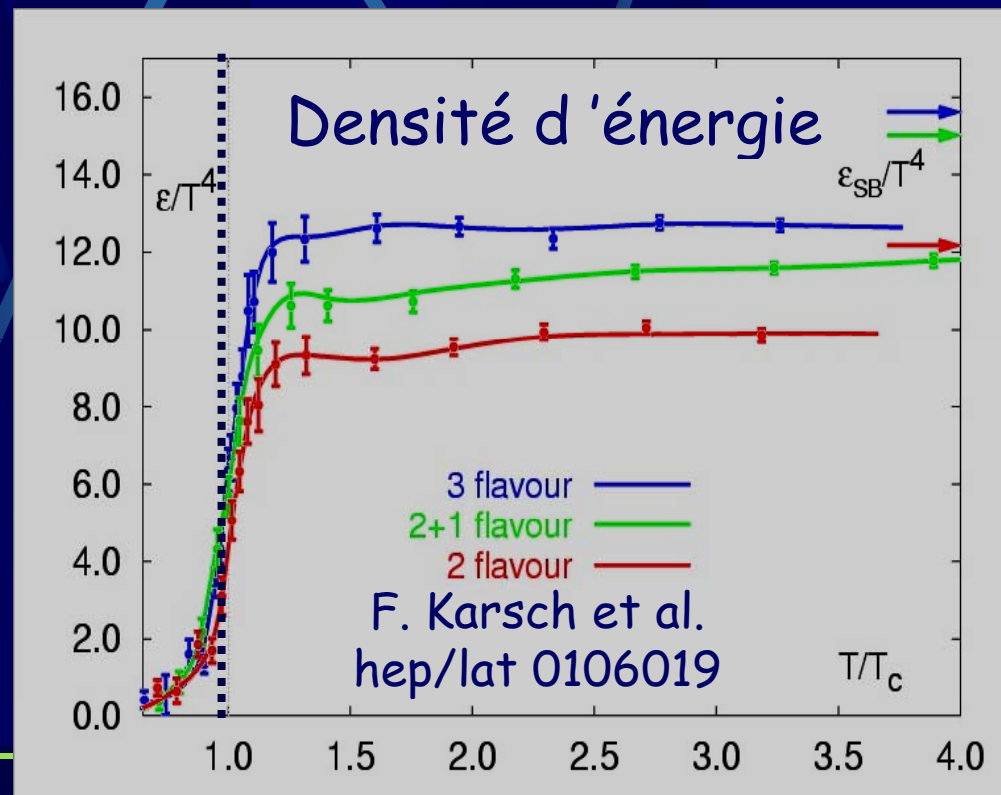
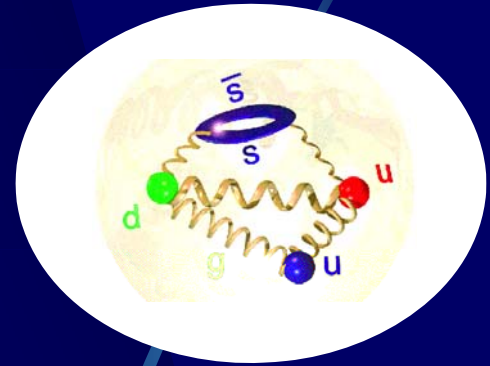
(Cf. présentation de Matthias sur l'expérience H1)



II. Le confinement

(force forte à basse énergie)

- Quarks et gluons sont confinés dans les hadrons... Quoique...
- À grande densité d'énergie, peuvent se libérer.
 - $T_c \sim 10^{13}$ K ($T_\odot \sim 10^8$)
 - $\epsilon_c \sim 0,7$ GeV/fm³
- Déconfinement
« Plasma de Quarks et de Gluons »



Intermède

- Avant le SPS (et même l'AGS) :

« There was a general feeling that if the quark-gluon plasma was indeed produced, it would manifest itself in a variety of unknown but dramatic ways, including... the end of the world »

H. Satz @ Lattice 2000 hep-ph/0009099

- De nombreuses phénomènes prédits pour le PQG furent observés... (augmentation de l'étrangeté...)

- Y compris en $p+A$!

- Règle d'or ions lourds :

- Référence $p+p$

- Référence $p+A$

- Physique $A+A$!

Cf. histoire du J/ψ au CERN

- Mesure de la section efficace

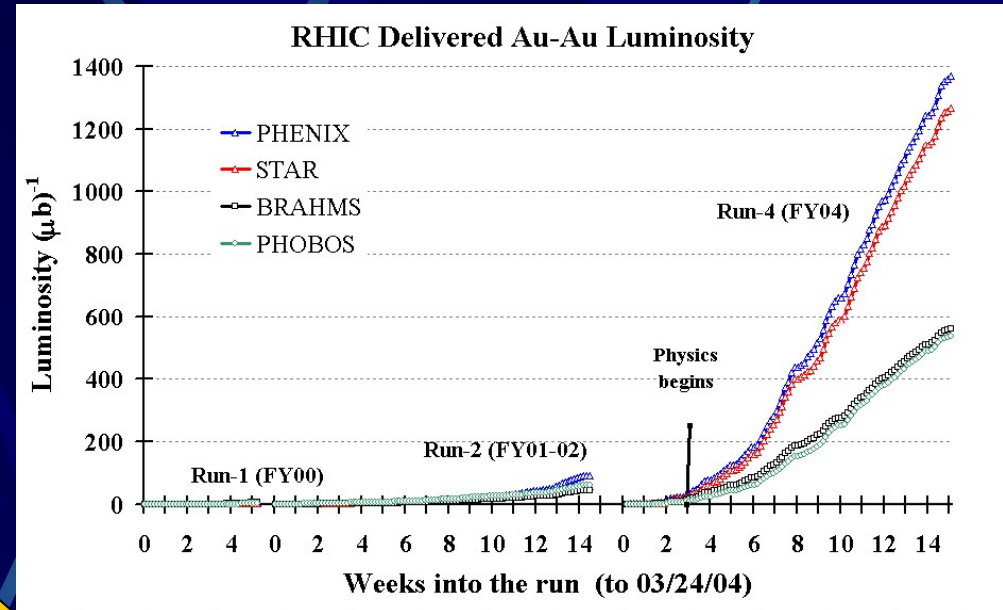
- Effets nucléaires « froids »

- Suppression anormale



Le calendrier

- **Run 1**
 - 5 sem. en été 2000
 - or+or 130 GeV
- **Run 2**
 - 15 sem. automne 2001
 - or+or @ 200 GeV
 - p+p @ 200 GeV
- **Run 3 en 2003**
 - d+or @ 200 GeV
 - (p+p polarisés)
- **Run 4 en 2004**
 - or+or @ 200 GeV
 - x 10 luminosité
- **Etc.**



« Jet quenching »
Premiers signes du PQG ?
Runs 1 + 2 + 3

Suppression du J/ψ ?
Confirmation du PQG ?

Abrégé de jet quenching...



Vu de deux manières :

1. Suppression des particules par rapport à $pp \times N_{\text{collisions}}$
2. Affaiblissement des jets opposés ($\Delta\phi=180^\circ$)

- En or+or ! D'autant plus que les collisions sont centrales...
- Pas en d+or !
- Par les 4 expériences...

(foule de résultats à QM04 :
<http://qm2004.lbl.gov>)

Histoire des J/ψ à RHIC

Year	Ions	$\sqrt{s_{NN}}$	Luminosity	Detectors	J/Ψ
2000	Au-Au	130 GeV	$1 \mu\text{b}^{-1}$	Central (électrons)	0
2001	Au-Au	200 GeV	$24 \mu\text{b}^{-1}$	Central	13 + 0 [1]
2002	p-p	200 GeV	$0,15 \text{ pb}^{-1}$	+ 1 bras muon	46 + 66 [2]
2002	d-Au	200 GeV	$2,74 \text{ nb}^{-1}$	Central	300+800+600 [3]
2003	p-p	200 GeV	$0,35 \text{ pb}^{-1}$	+ 2 bras muon	100+300+120 [3]
2004	Au-Au	200 GeV 62,3 GeV	$240 \mu\text{b}^{-1}$ $9,1 \mu\text{b}^{-1}$	idem	Qqs milliers ? Qqs dizaines ?

[1] [nucl-ex/0305030](https://arxiv.org/abs/nucl-ex/0305030) / PRC 69, 014901 (2004)

[2] [hep-ex/0307019](https://arxiv.org/abs/hep-ex/0307019) / PRL 92, 051802 (2004)

[3] [nucl-ex/0403030](https://arxiv.org/abs/nucl-ex/0403030) / (RGdC @ QM04)