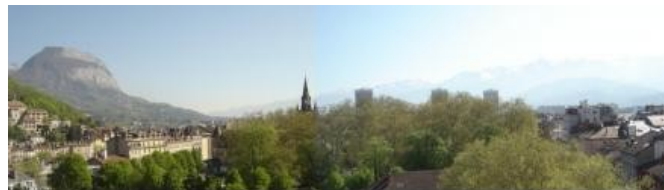


# Enregistrer et analyser pour découvrir

**Catherine Biscarat**

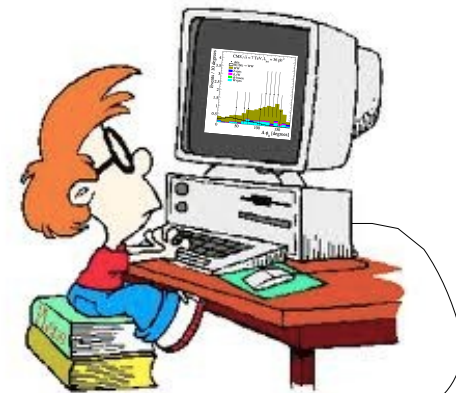
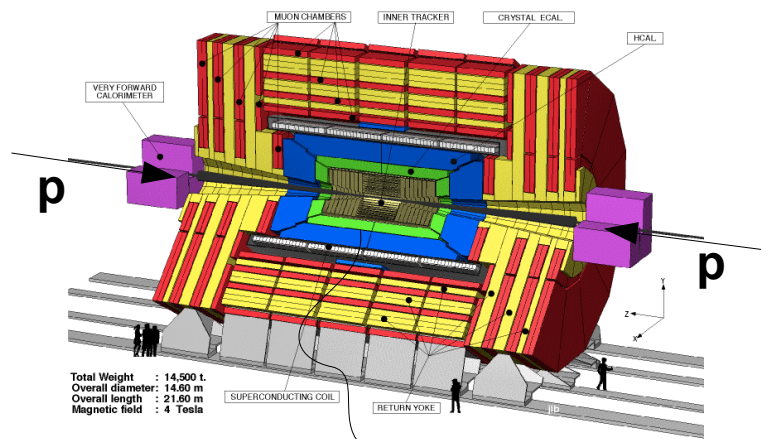
Laboratoire de Physique Subatomique et de Cosmologie  
Grenoble, France



Rencontres de physique de l'infiniment grand à l'infiniment petit,  
le mercredi 25 juillet 2012

# Ensemble, aujourd'hui

- Cadre de la physique des particules
- Problématiques liées à la prise de données
  - Traitement des données (computing)
    - Choix/tri des événements
    - Acheminement des données au physicien (analyse)
      - La grille de calcul



- Peu de temps
- Interactivité, “Interrompez-moi !”

# Petite intro sur l'oratrice

- Auparavant : expérimentaliste en physique des particules, sur collisionneur



Détecteur aux EU, à Chicago, collisionneur ppbar Tevatron à  $\sqrt{s} = 2$  TeV  
- calorimétrie, production d'événements simulés, recherche SUSY

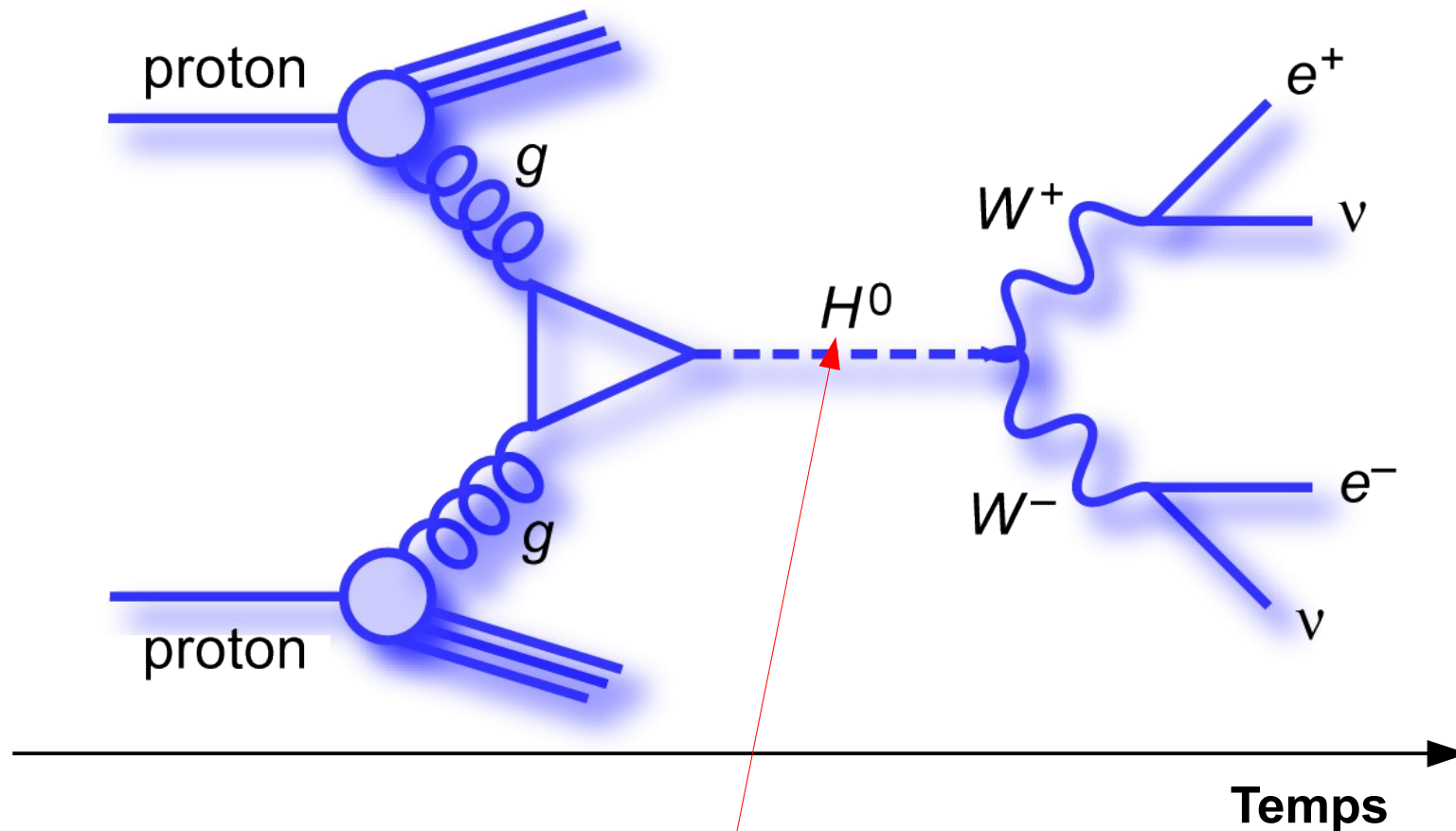


Détecteur au CERN, à Genève, collisionneur pp LHC à  $\sqrt{s} = 14$  TeV  
- calorimétrie, recherche de nouvelles particules  
- responsable des activités de calcul ATLAS dans un centre de calcul majeur

- Ingénieure en informatique à l'IN2P3/CNRS  
Grilles de calcul (WLCG et grille légère grenobloise CIGRI)

# Comment chercher le Higgs ?

Si le boson de Higgs existe, alors il peut être produit dans une collision de deux protons de grande énergie :



deux protons entrent en collision

deux gluons (constituants des protons) "fusionnent" pour créer un boson de Higgs

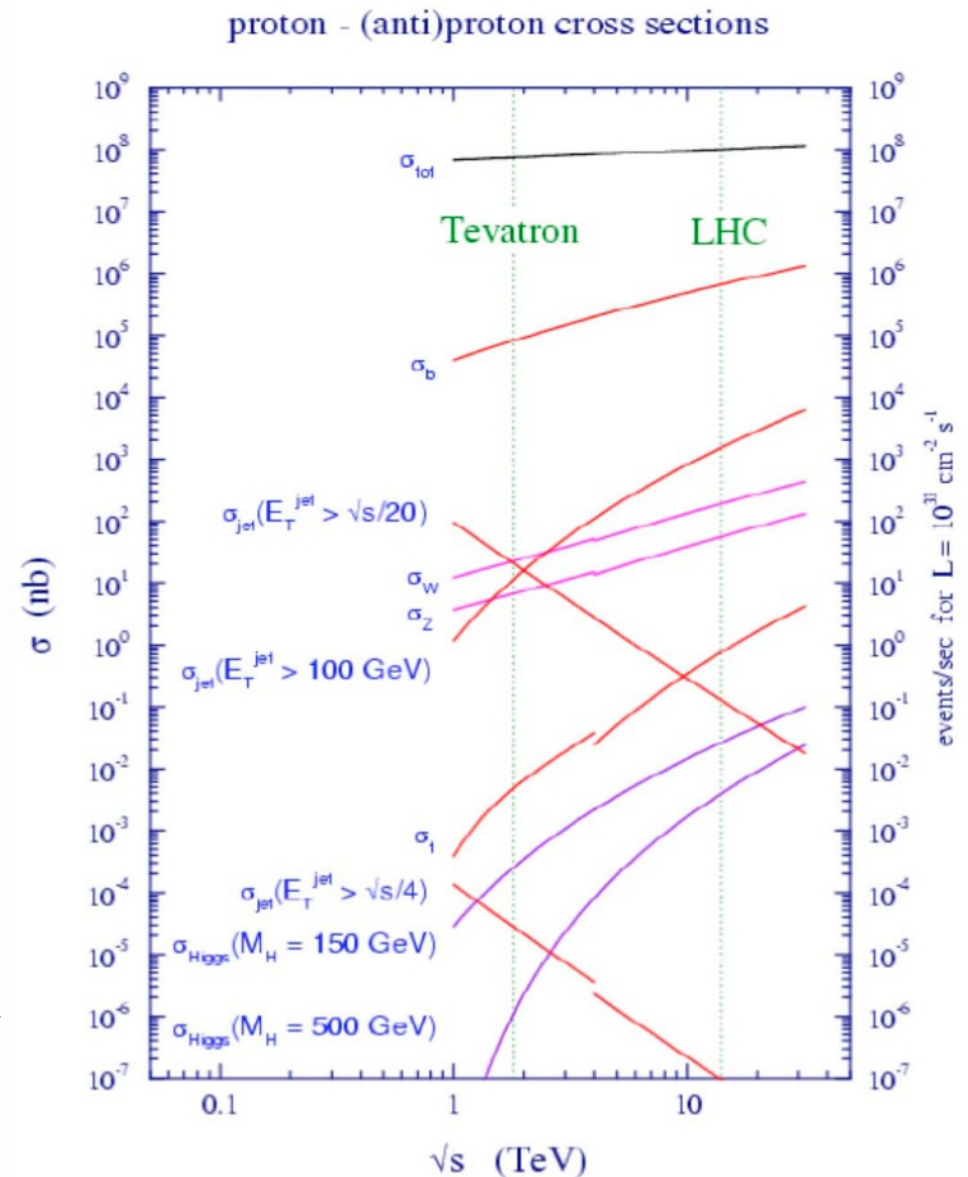
le Higgs se désintègre immédiatement en une paire de bosons W (qui se désintègrent immédiatement à leur tour)

les particules stables dans l'état final (ici  $e$ ,  $\nu$ ) atteignent le détecteur



# Taux de production des événements

- LHC:
  - croisement de faisceaux : 40 MHz
  - Taille d'un événement : 1,6 MB
- Difficile à transmettre
  - Coûteux à stocker
  - Long à analyser
- Mais tous les événements ne nous intéressent pas de la même façon
- Il faut ne pas louper les événements rares (type Higgs)
  - Sinon : perte définitive
- Il faut collecter une part d'événement bien "connus" par ailleurs
  - Vérification des mesures



# Quelques ordres de grandeur



- Les données accessibles (produites): les **Chutes du Niagara** (1.5 million gpm).
- 40 millions de croisements de paquets de protons par seconde
  - Qui correspondraient à 100 000 CDs écrits par seconde (4 x terre-lune/an)

# Quelques ordres de grandeur



- Ce que nous pouvons nous permettre d'écrire (bande) : **lance à incendie** (100 gpm).
- nous choisissons et stockons ~200 événements par seconde,
  - soit 27 CDs écrits par minute (1 expérience).



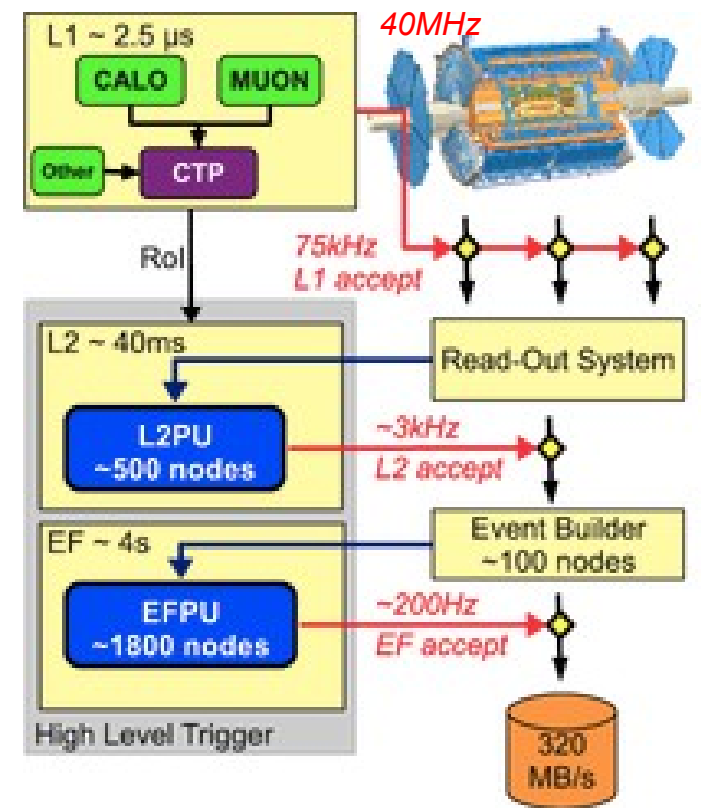
# Quelques ordres de grandeur



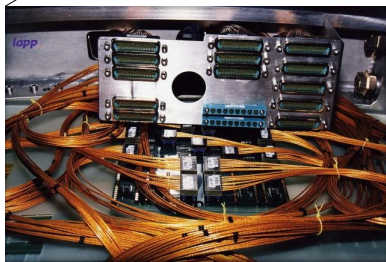
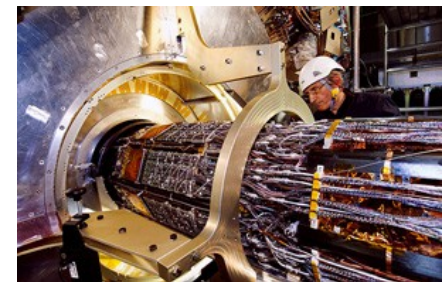
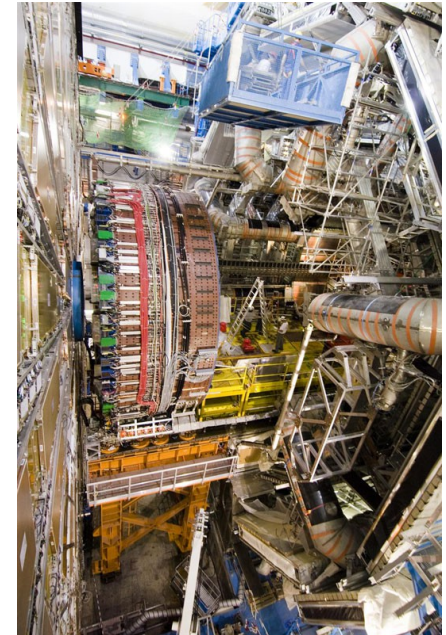
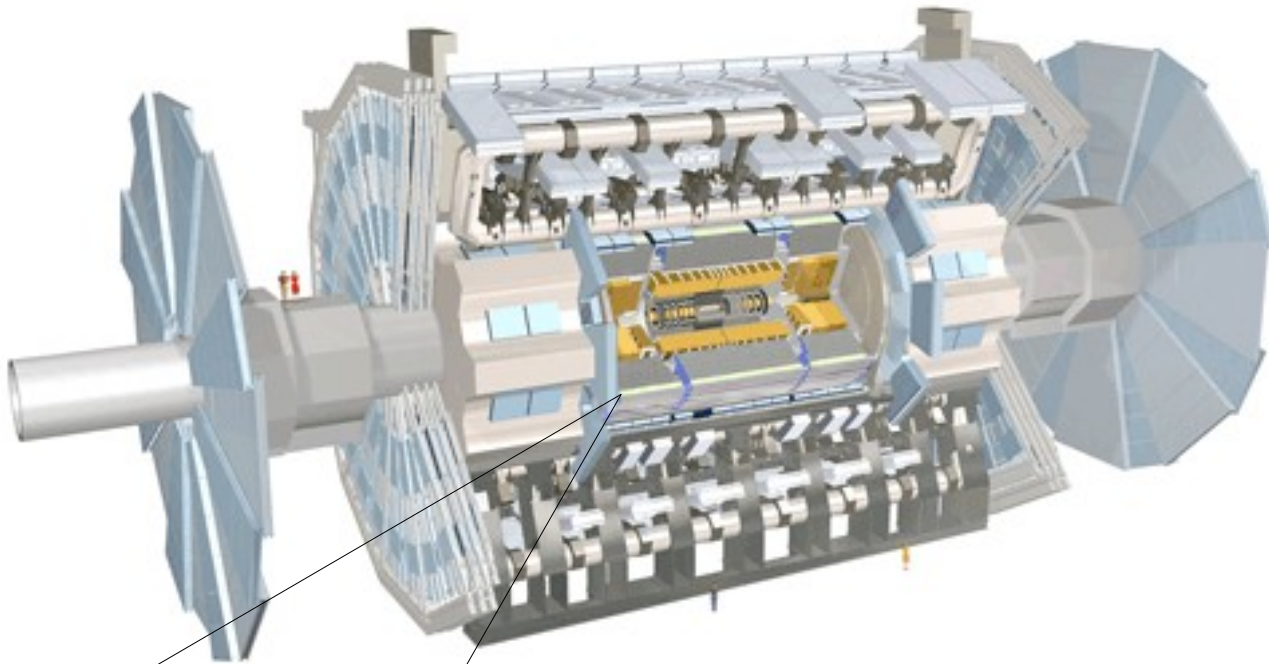
- Ce que nous publions : **quelques gouttes** !
- Soit, quelques poignées d'événements.

# Tri en ligne des événements

- Trois niveaux de **déclenchement**
  - **Temps de décision** de plus en plus grand
  - Événement de plus en plus **complet**
- Niveau 1
  - Circuits électroniques dédiés (FPGA)
  - Calorimètres et détecteurs de muons (une partie seulement de l'information)
- Niveau 2
  - Événement complet dans régions d'intérêt identifiées au niveau 1
  - Algorithmes spécialement rapides
- Niveau 3
  - Événement complet
  - Algorithmes raffinés, de type "analyse"



# Les données brutes (RAW)



```
101100 101011 010001
110111 001011 001100
100001 111100 100110
110101 110011 100101
001010 101000 001010
111001 100101 000011
010111 001001 010100
100010 010100 101111
100100 101001 001010
000010 100101 111001
```

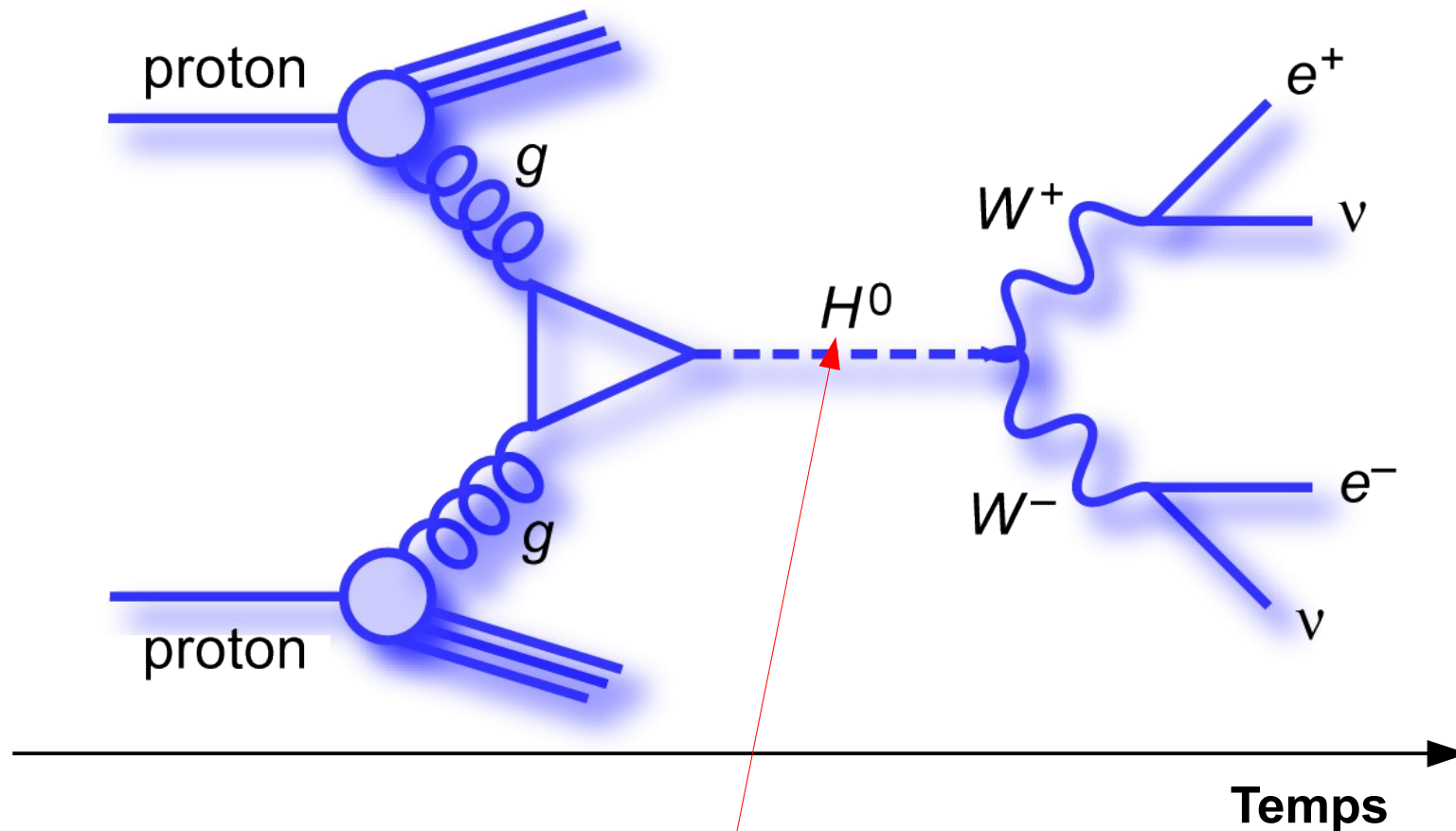
Pixels → oui/non  
Calo → tensions en "Volt"

Stockées sur bandes  
magnétiques au CERN



# Comment chercher le Higgs ?

Si le boson de Higgs existe, alors il peut être produit dans une collision de deux protons de grande énergie :



deux protons entrent en collision

deux gluons (constituants des protons) "fusionnent" pour créer un boson de Higgs

le Higgs se désintègre immédiatement en une paire de bosons W (qui se désintègrent immédiatement à leur tour)

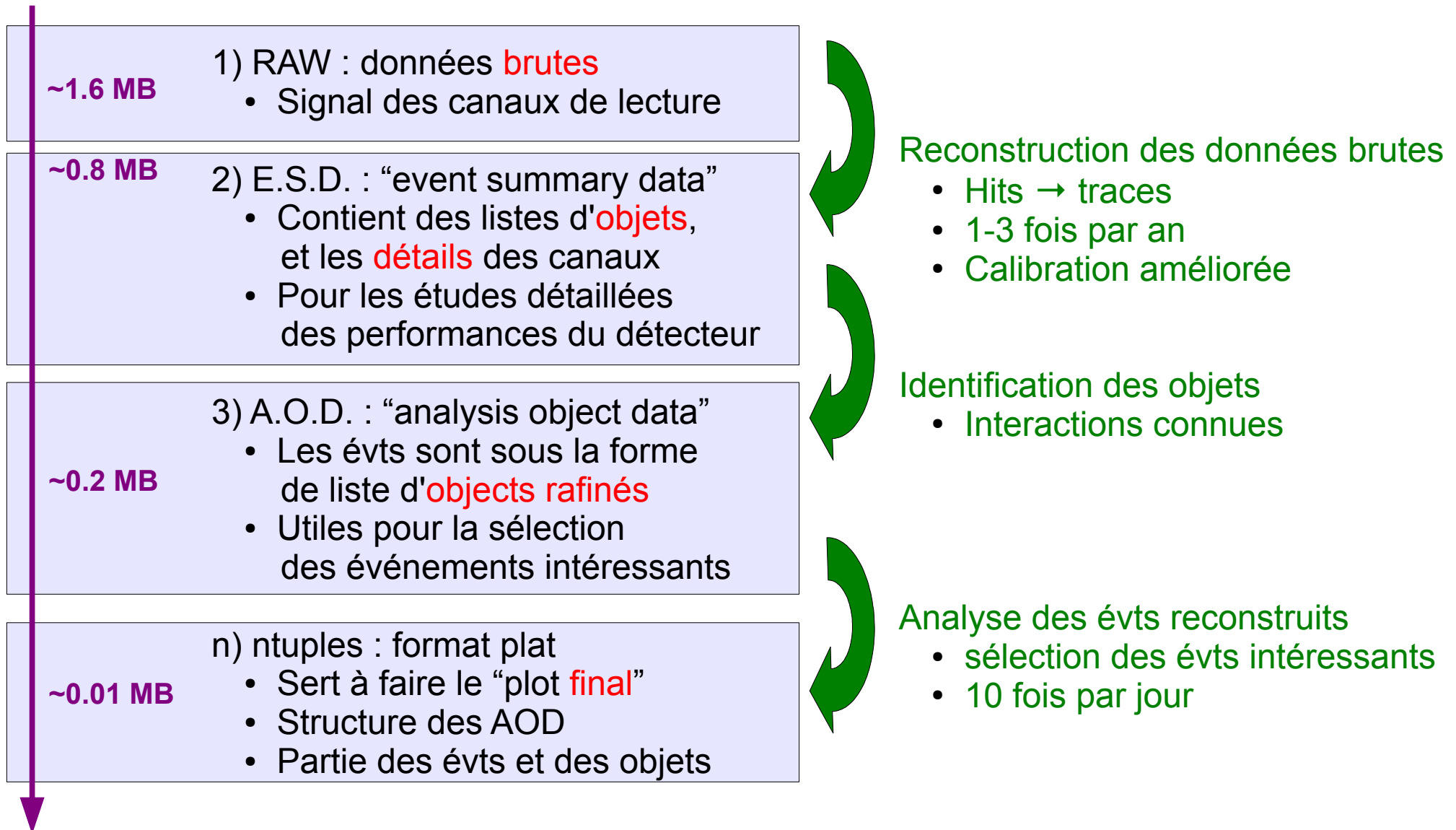
les particules stables dans l'état final (ici  $e, \nu$ ) atteignent le détecteur

# Vers l'analyse des données

Taille/évt

Format de données

Type de traitement



# Vers l'analyse des données

Taille/évt

Format de données

Type de calcul

~1.6 MB

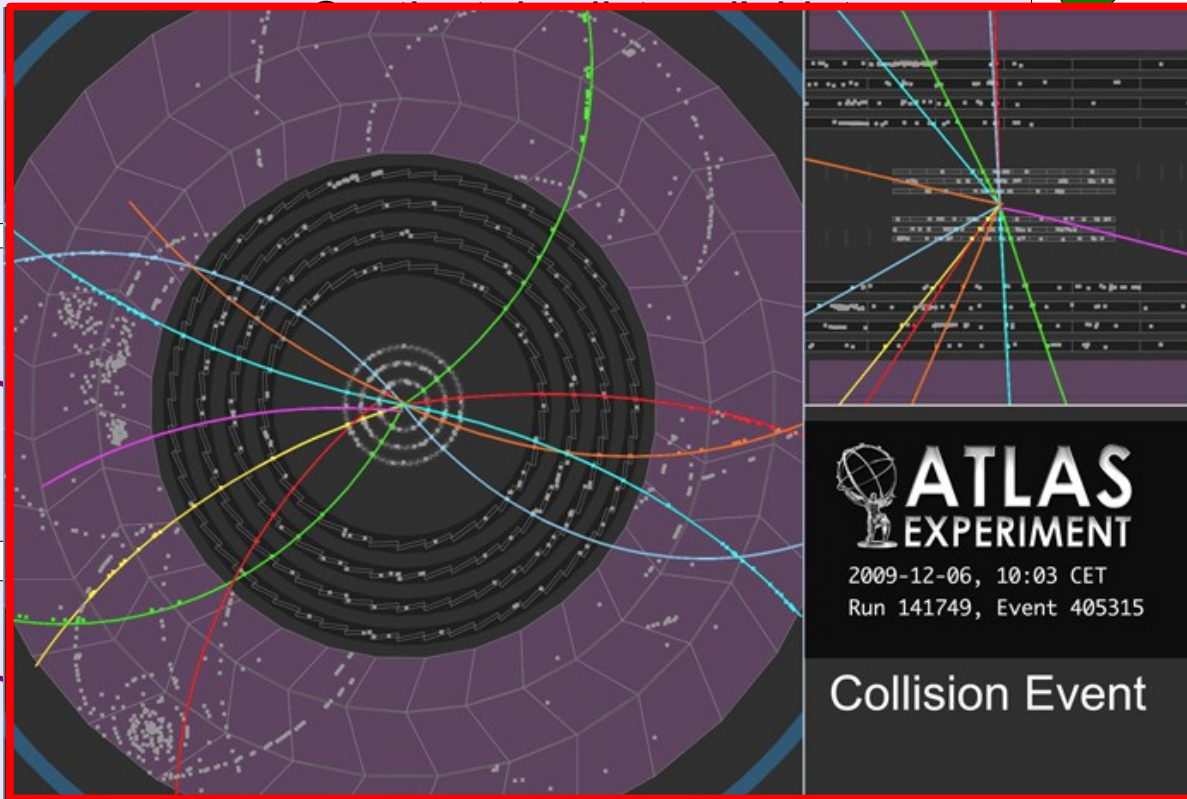
- 1) RAW : données brutes
  - Signal des canaux de lecture

~0.8 MB

- 2) E.S.D. : "event summary data"

Reconstruction des données brutes

- Hits → traces



Identification des objets

- Interactions connues

Analyse des évt reconstruits

- sélection des évt intéressants

# Vers l'analyse des données

Taille/évt

Format de données

Type de calcul

~1.6 MB

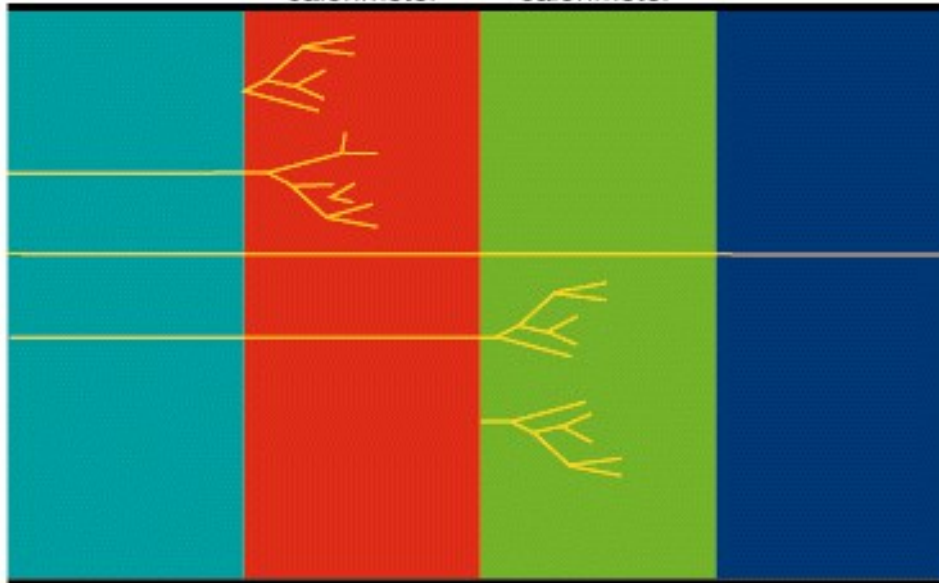
- 1) RAW : données brutes
  - Signal des canaux de lecture

~0.8 MB

- 2) E.S.D. : "event summary data"
  - Contient des listes d'objets

Tracking Electromagnetic calorimeter Hadronic calorimeter Muon detector

Photons  
Electrons  
Positrons  
Muons  
Charged hadrons  
Neutral hadrons  
Neutrinos



Innermost layer → Outermost layer

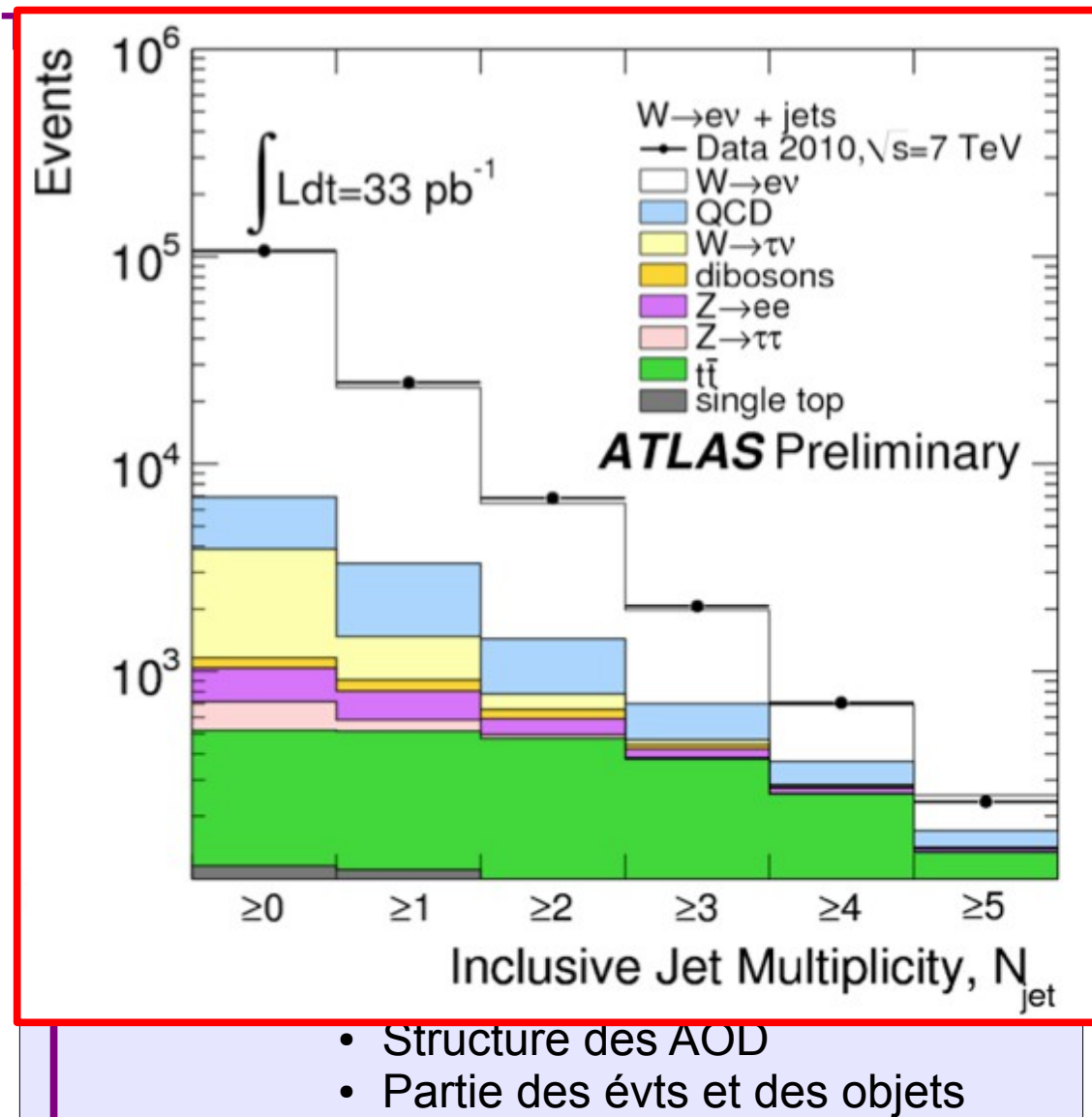
- Partie des évts et des objets

- Reconstruction des données brutes
- Hits → traces

- Identification des objets
- Interactions connues

- Analyse des évts reconstruits
- sélection des évts intéressants

# Vers l'analyse des données



## Type de calcul

Reconstruction des données brutes

- Hits → traces

Identification des objets

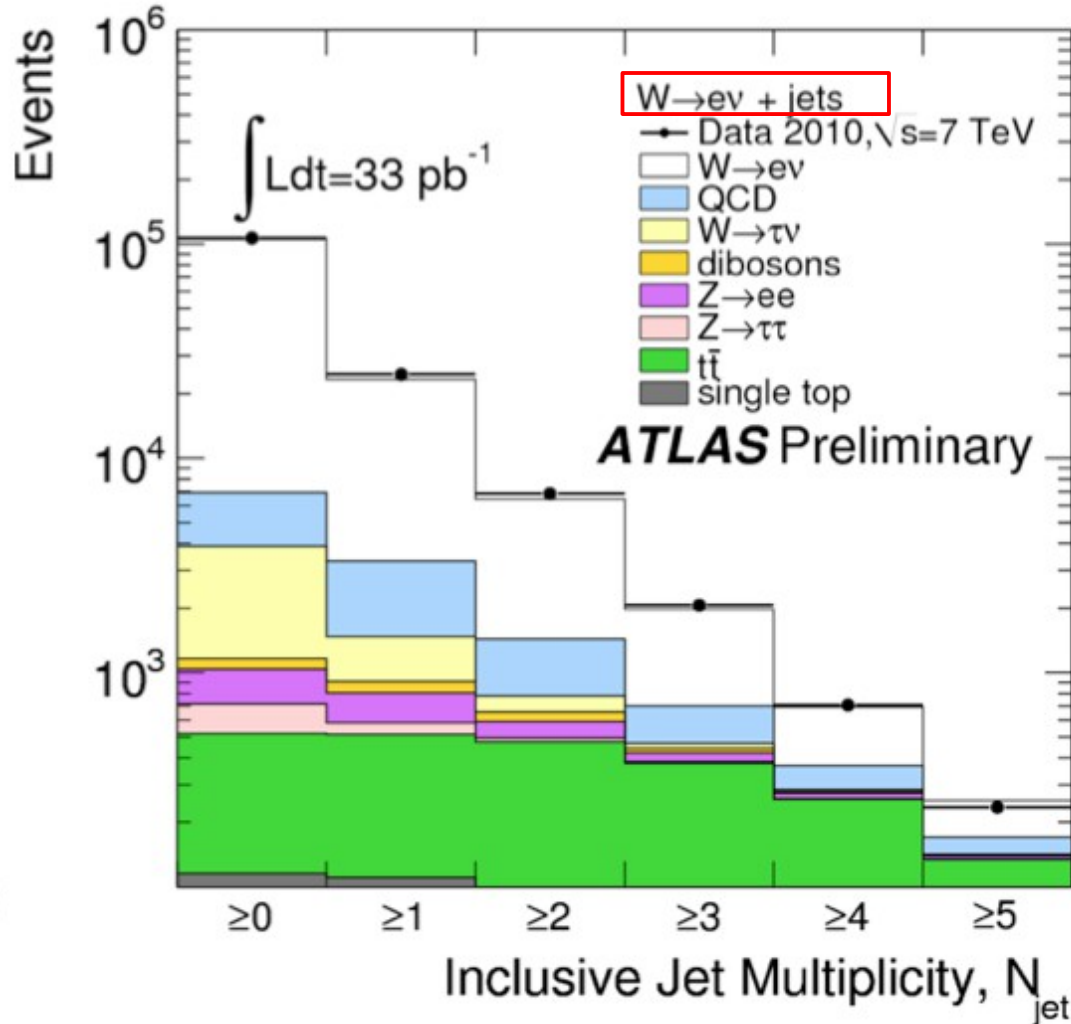
- Interactions connues

Analyse des évts reconstruits

- sélection des évts intéressants



# Interpréter les données



En d'autres termes :

## Confronter les données à un modèle (le MS)

- **Accord** données/simulation avec le MS (compréhension du détecteur)
- Trouver des **déviations** (découverte de nouveaux phénomènes)

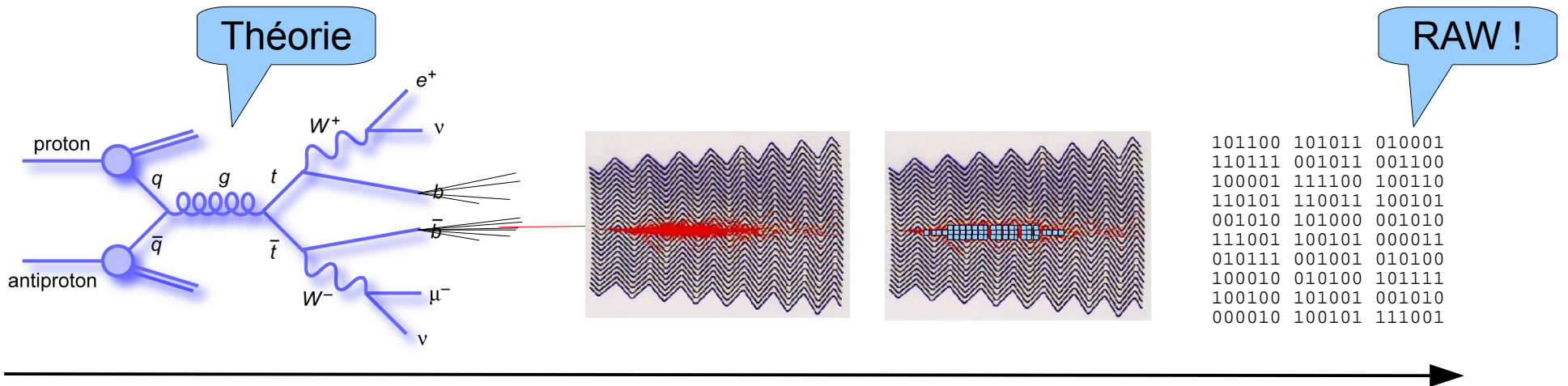
Exploitation d'une expérience : impossible sans simulation !!

# La simulation

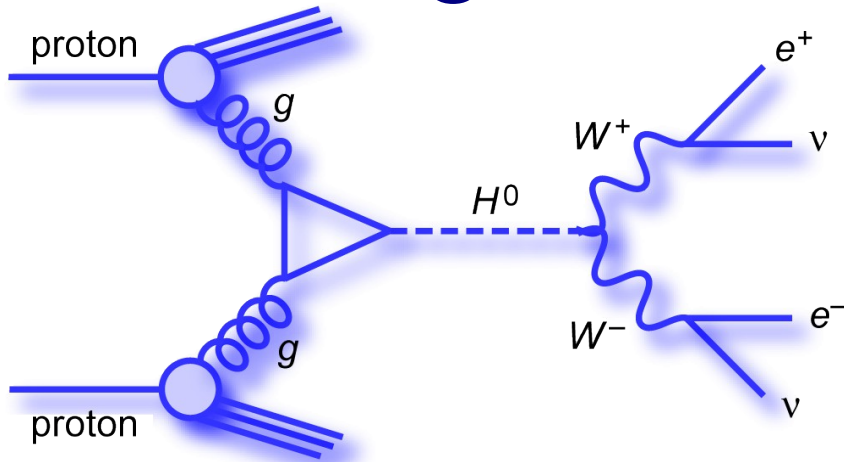
Simuler quoi au juste ? Les données **brutes** !

Trois ingrédients :

- 1) Modéliser la “physique” (collisions, processus)
- 2) Modéliser l'interaction des particules dans le détecteur
- 3) Modéliser les signaux transmis par le détecteur



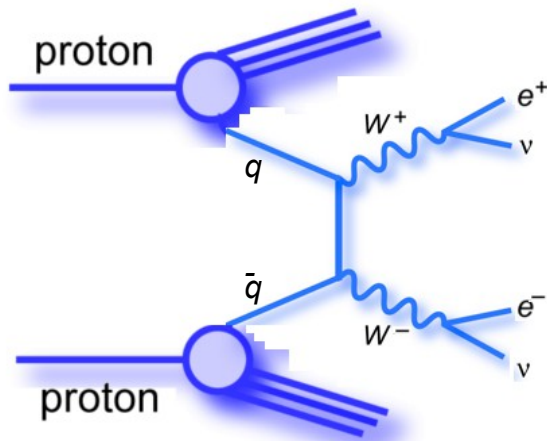
# Recherche d'un processus rare : “signal” et “bruit de fond”



Nous avons déjà discuté cette chaîne de réaction.

Pour la recherche du Higgs elle constitue “le signal”.

Rappelons-nous que seuls les particules stables de l'état final atteignent le détecteur.



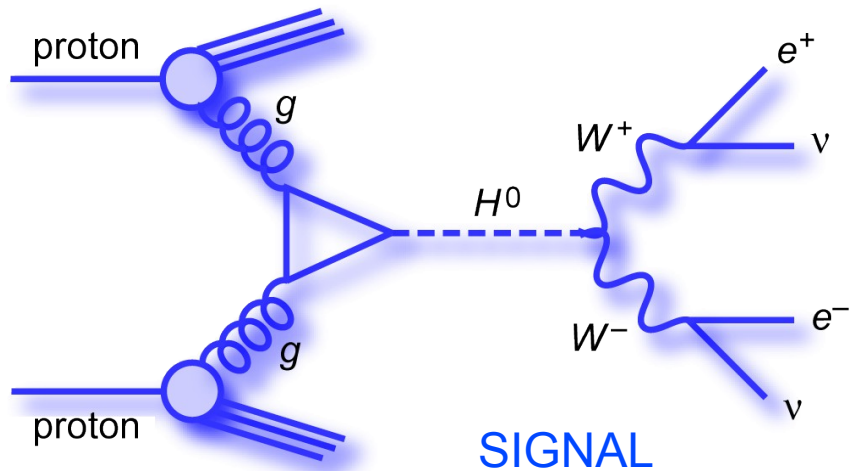
Malheureusement il existent d'autres chaînes qui donnent le même état final – et qui sont possibles même si le Higgs n'existe pas !!

Pour la recherche du Higgs elles constituent “un bruit de fond”.

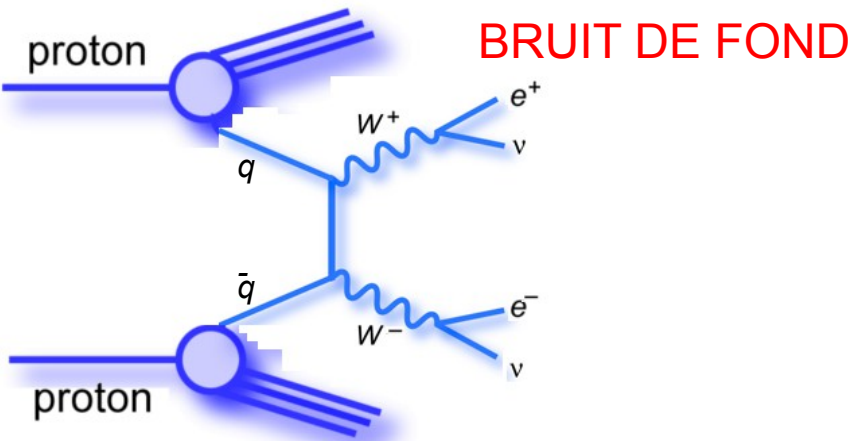
Pour rendre les choses encore pire : ce type de réaction est **beaucoup plus abondant que le signal**.

Temps →

# “Signal” et “bruit de fond”



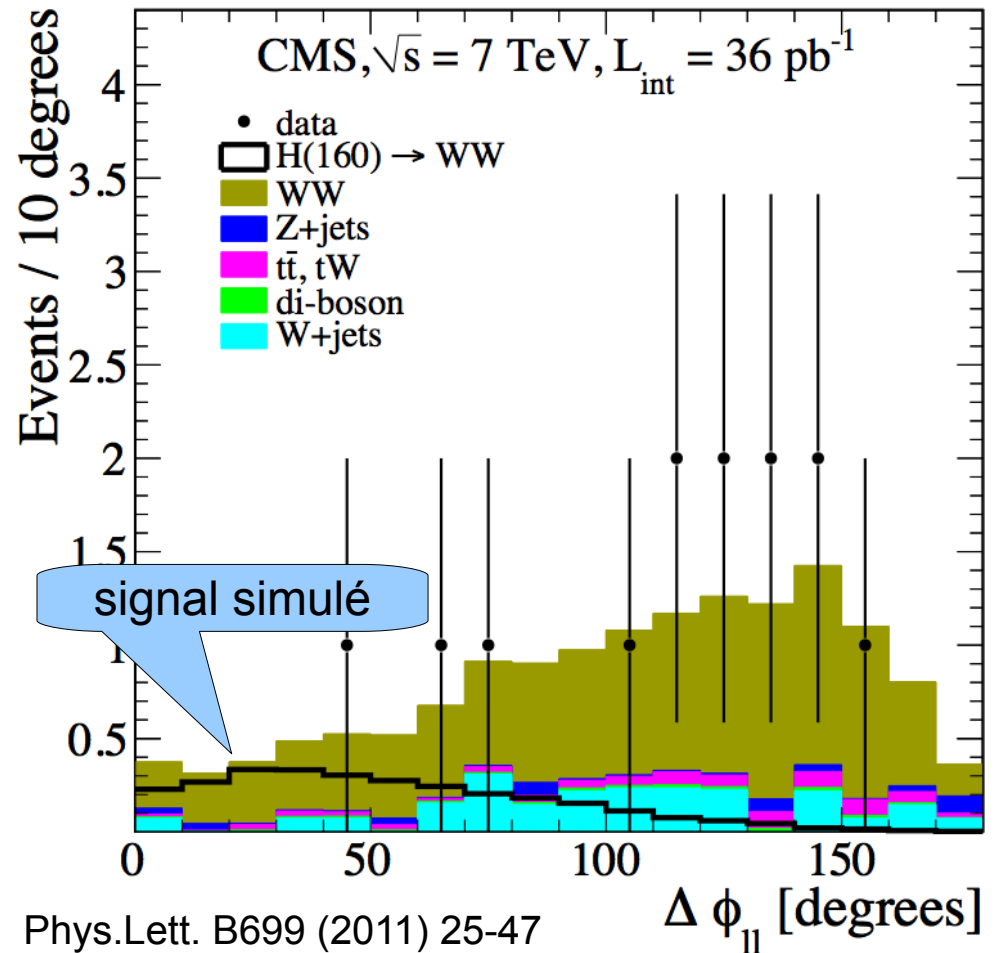
SIGNAL



BRUIT DE FOND

Temps

Ce lot de données réelles (la réalité) est-elle plus compatible avec l'hypothèse FOND SEUL ou bien avec FOND+SIGNAL ?



# Quantités de données au LHC

## A vos calculettes !

- \* 100 collisions enregistrées par sec.
  - \* 1-2 MB de données par collision
- quelques PB de données produites par an  
et pour un détecteur LHC (3 pour ATLAS)

Soit **600 000 films DVD produits**  
**par un détecteur en un an**

1 MB  
1 photo digitale  
1 dictionnaire  
1 CD = 650 MB

1 GB = 1000 MB  
5GB = 1 film DVD

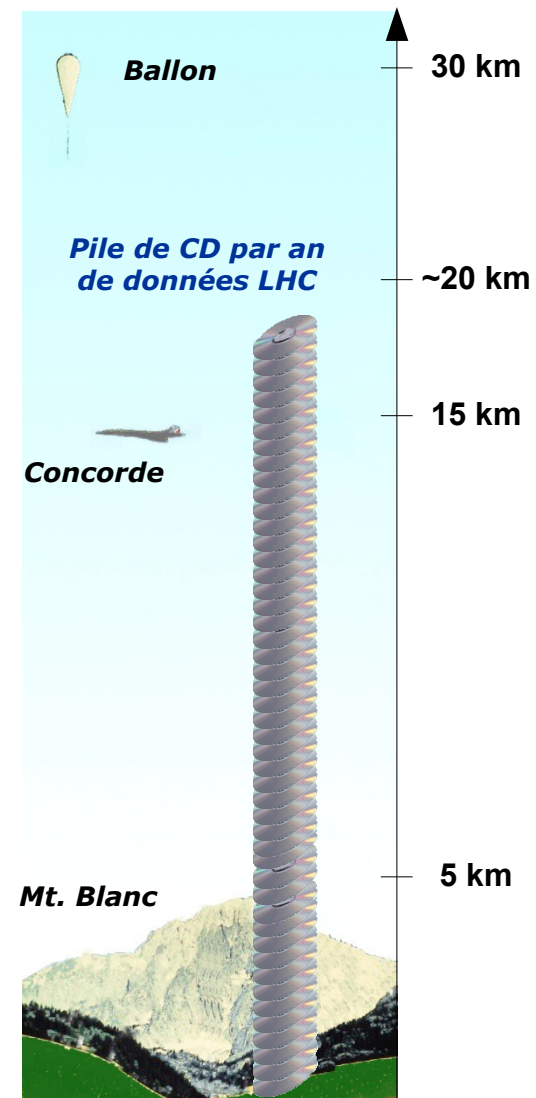
1TB = 1000 GB  
Livres produits par an

1PB = 1000 TB  
Production par an de  
1 expérience LHC

1 EB = 1000 PB  
Production mondiale  
d'information en 1 an

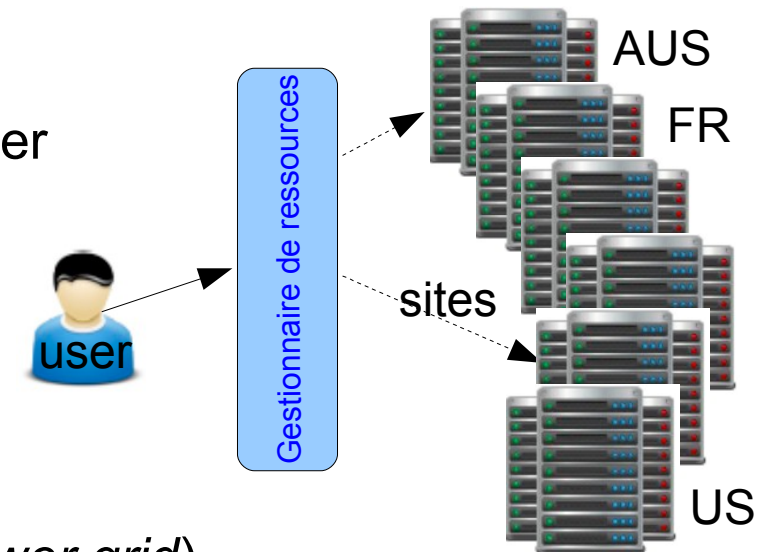


Enorme **quantité de données**  
à traiter et à stocker;  
aucun centre de calcul  
ne peut le faire seul.

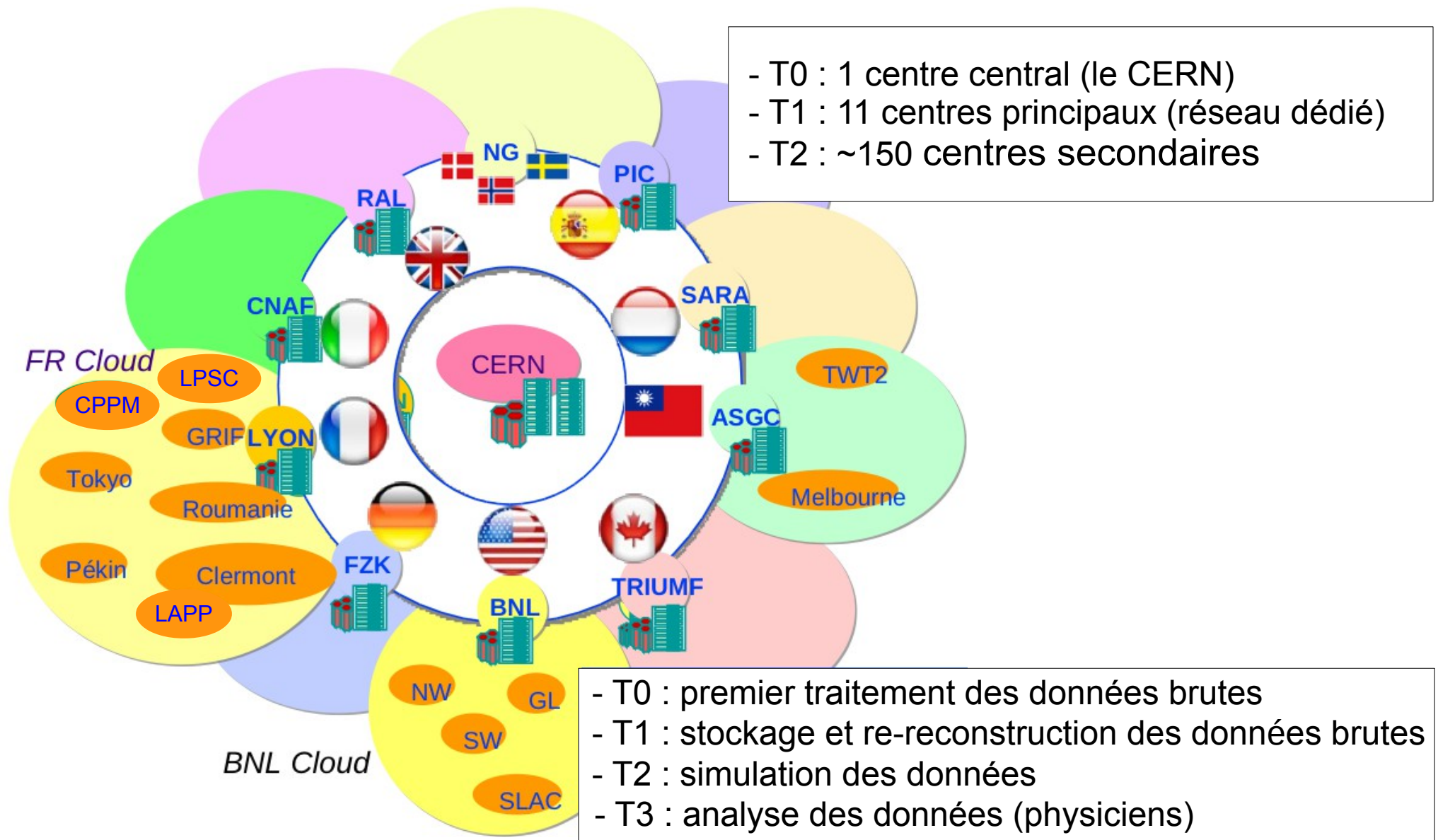


# Innovation : la grille de calcul

- Enorme **quantité de données** à traiter et stocker
- Utilisateurs **distribués partout** dans le monde
- Nécessité d'introduire la **grille de calcul**
  - Mutualisation de ressources de calcul de plusieurs unités pour un but commun
  - Terme pris du réseau électrique (*electric power grid*) où un appareil électrique est alimenté quelque soit où il est branché
- **Worldwide LHC Computing Grid (WLCG)**
  - 150 centres de calcul
  - 35 pays
  - 4 expériences LHC
  - réseau privé (LHCOPN)
  - première mondiale



# Hiérarchie de centres de calcul



# Architecture de grille

Les grilles sont complexes

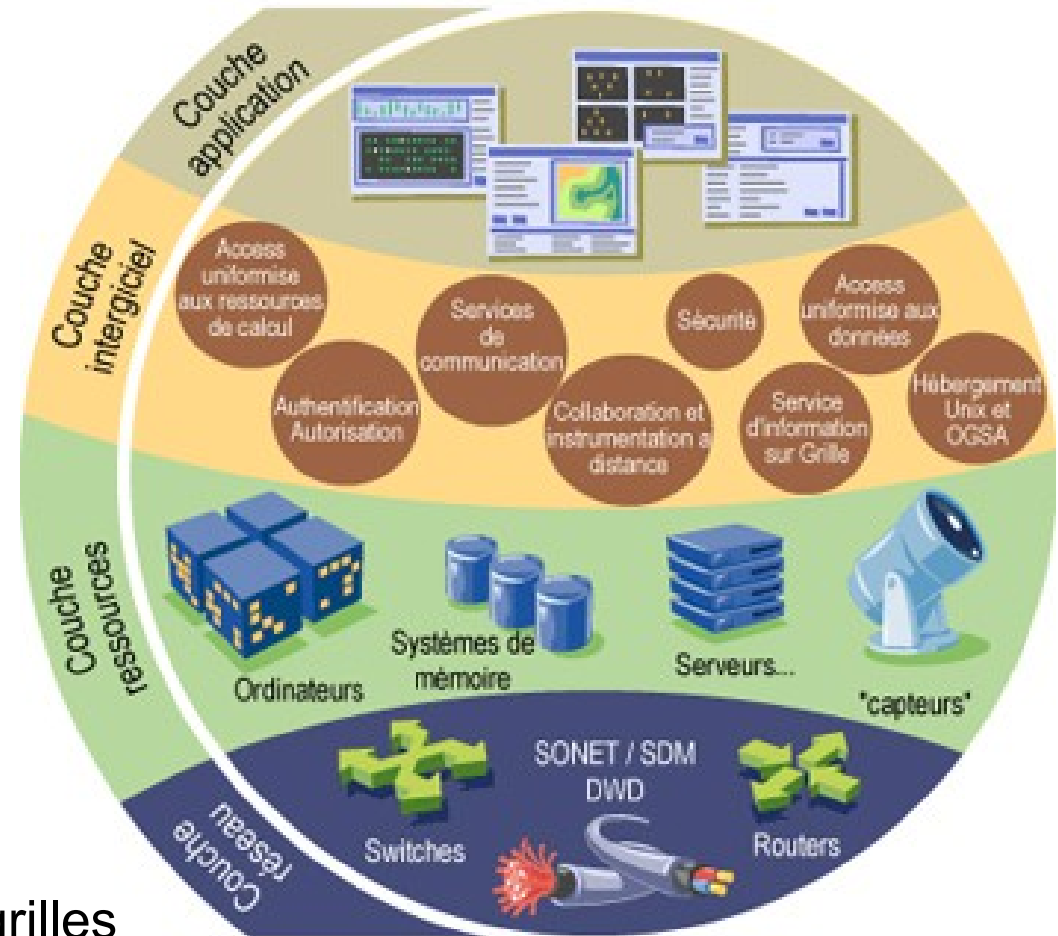
Le *Middleware* : le **liant**

→ définit **la saveur de la grille**

- WLCG : expériences LHC
- EGI : *European Grid Infrastructure*
- OSG : *Open Science Grid*
- GRISBI : biologie, santé (FR)
- CIMENT : universités de Grenoble
- ...

Le réseau est la moelle épinière des grilles

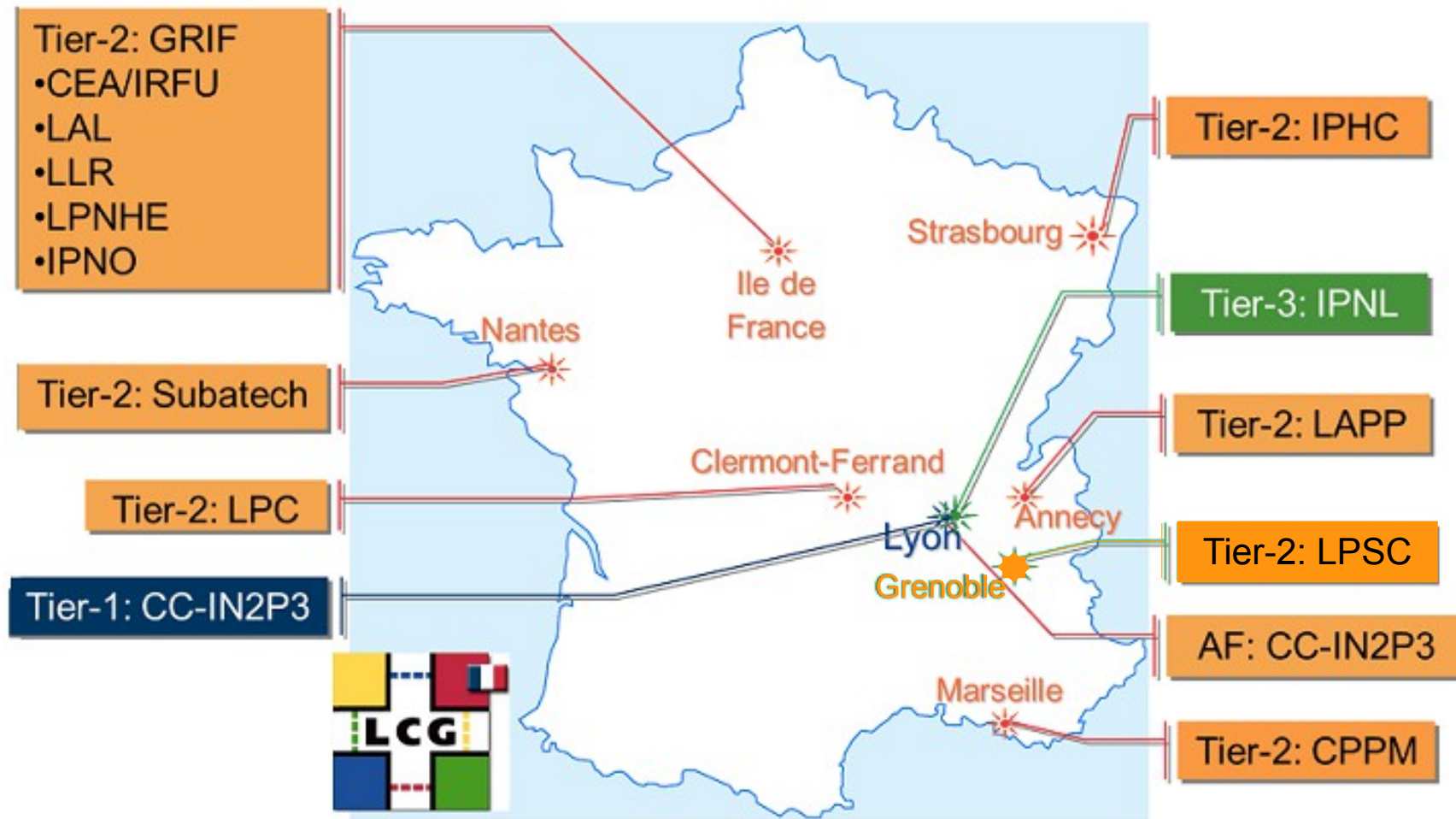
- 1-10 Gb/s (soit 2 CD/s !)
- 100 GB/s en test



Ref : gridCafe



# Centres de calcul WLCG en France



# Le Tier-1 français

- Centre de Calcul de l'IN2P3, à Lyon
- ~100 ingénieurs
- Site majeur des expériences LHC (4 fois T1 et T2)
- Seul site WLCG si complet dans le monde



## Grille

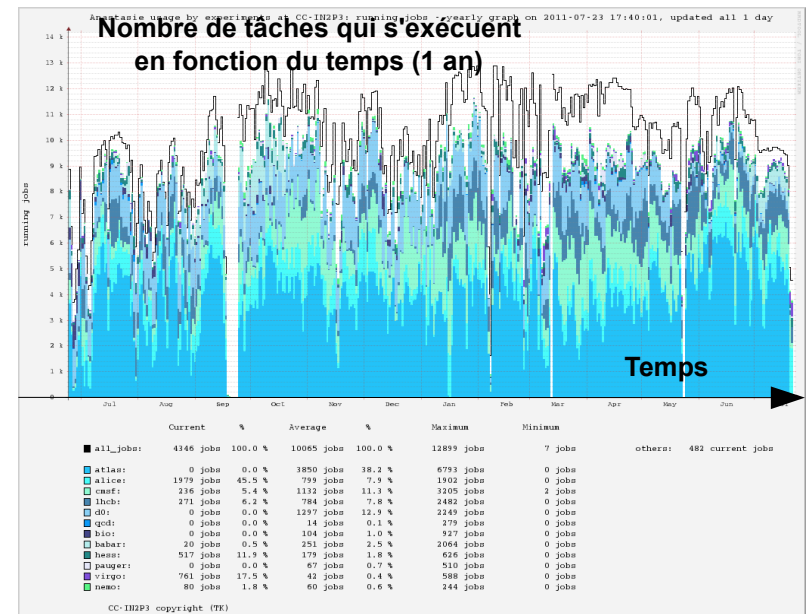
- Site grille complet, leader en FR (services centralisés)

## CPU

- 13 000 tâches de calcul simultanées
- Flot de plus de 100 000 tâches / jour
- LHC = 2/3 du centre.

## Rythme

- 24/7
- Réactivité très demandeuse



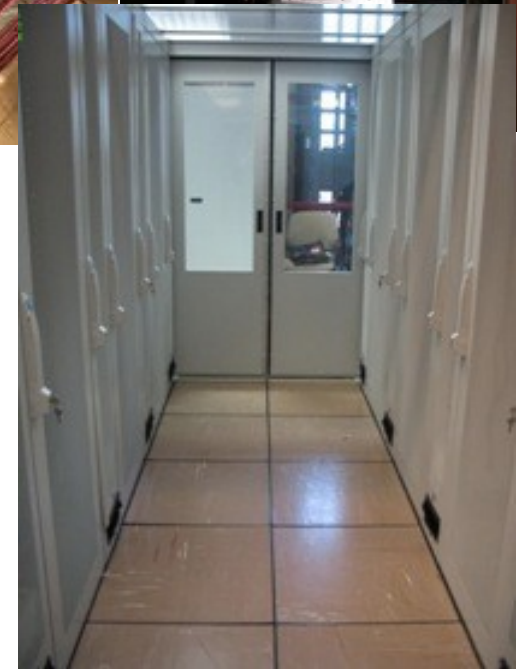
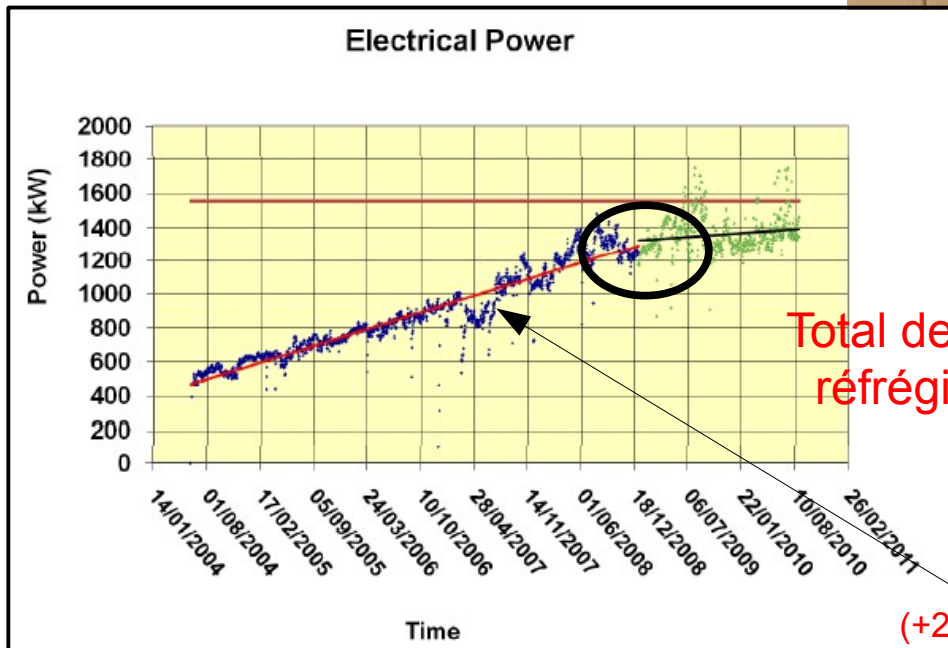
# Le Tier-1 français

## Stockage

- Diverses technologies (dcache, xrootd)
- ~ 10 PB de disk
- ~ 12 PB de bande

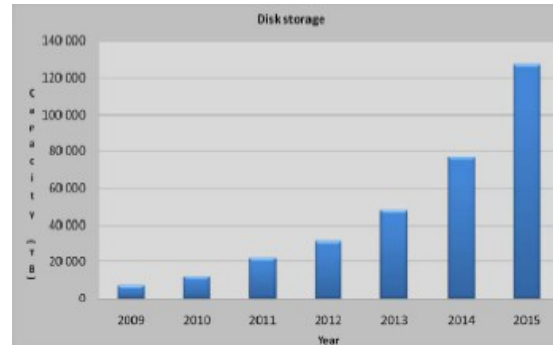
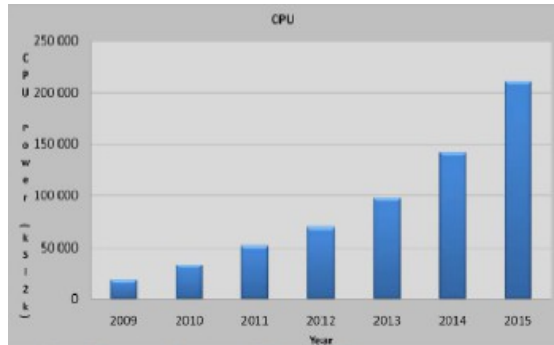
## Puissance électrique

- **Difficulté majeure** dans les centres de calcul



# Le Tier-1 français

## Projections



## Nouvelle salle machines

- 2011: 600 kW (ancienne salle = 1 MW)
- 2015: 1,5 MW
- 2019: 3,2 MW



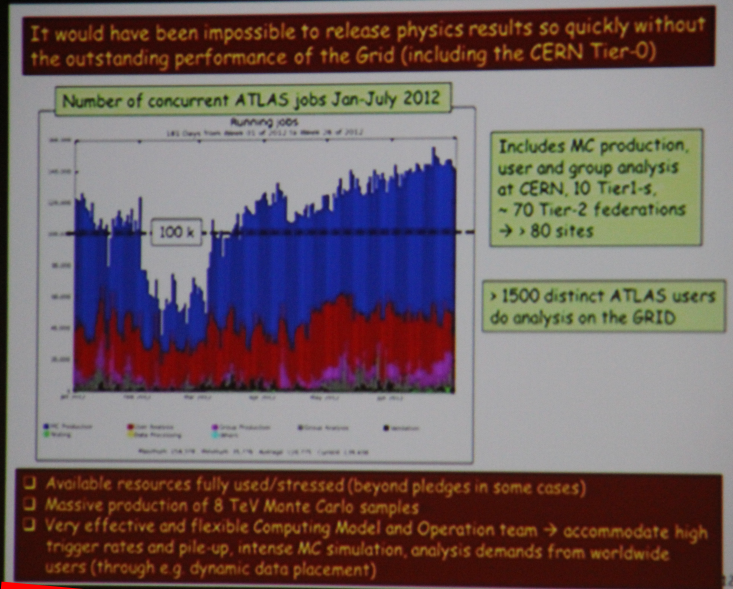
# Le Tier-1 français

## Ouverture

- Autres autres communautés scientifiques
- Sciences humaines et sociales (une infrastructure numérique d'accès aux données et documents des sciences humaines et sociales)
- Sciences de la vie (neurologie, biologie) → grille

# « Computing enables physics »

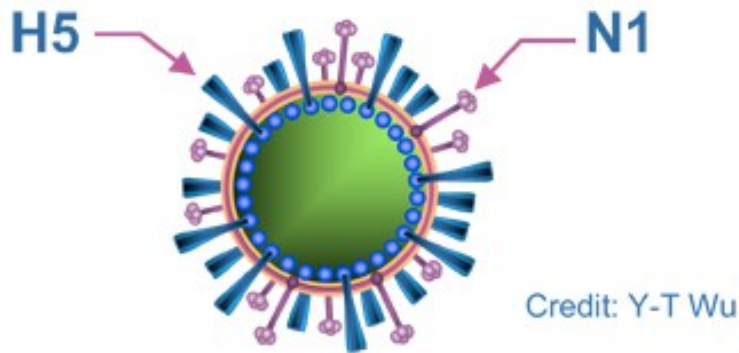
Photography: C. Biscarat



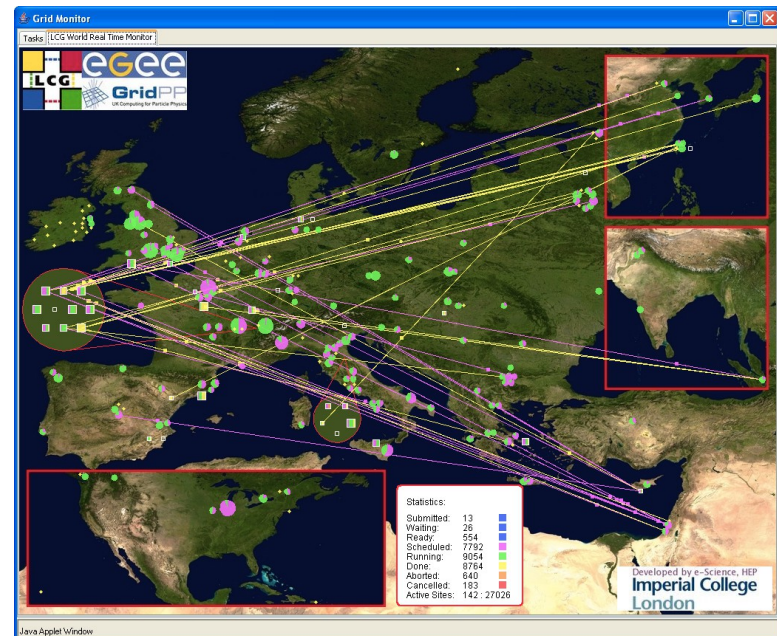
CERN seminar,  
July 4<sup>th</sup> 2012,  
retransmitted at  
ICHEP (Melbourne)

# Grippe aviaire

- Calculs de probabilité d'accrochage sur les sites actifs du virus pour le bloquer
- Accélération avec utilisation de la Grille de calcul Européenne EGEE (EGI)
- Avril 2005 :
  - 300 000 calculs de probabilités
  - **100 années** de calcul sur un ordinateur



Sites participants



# Résumé – points forts

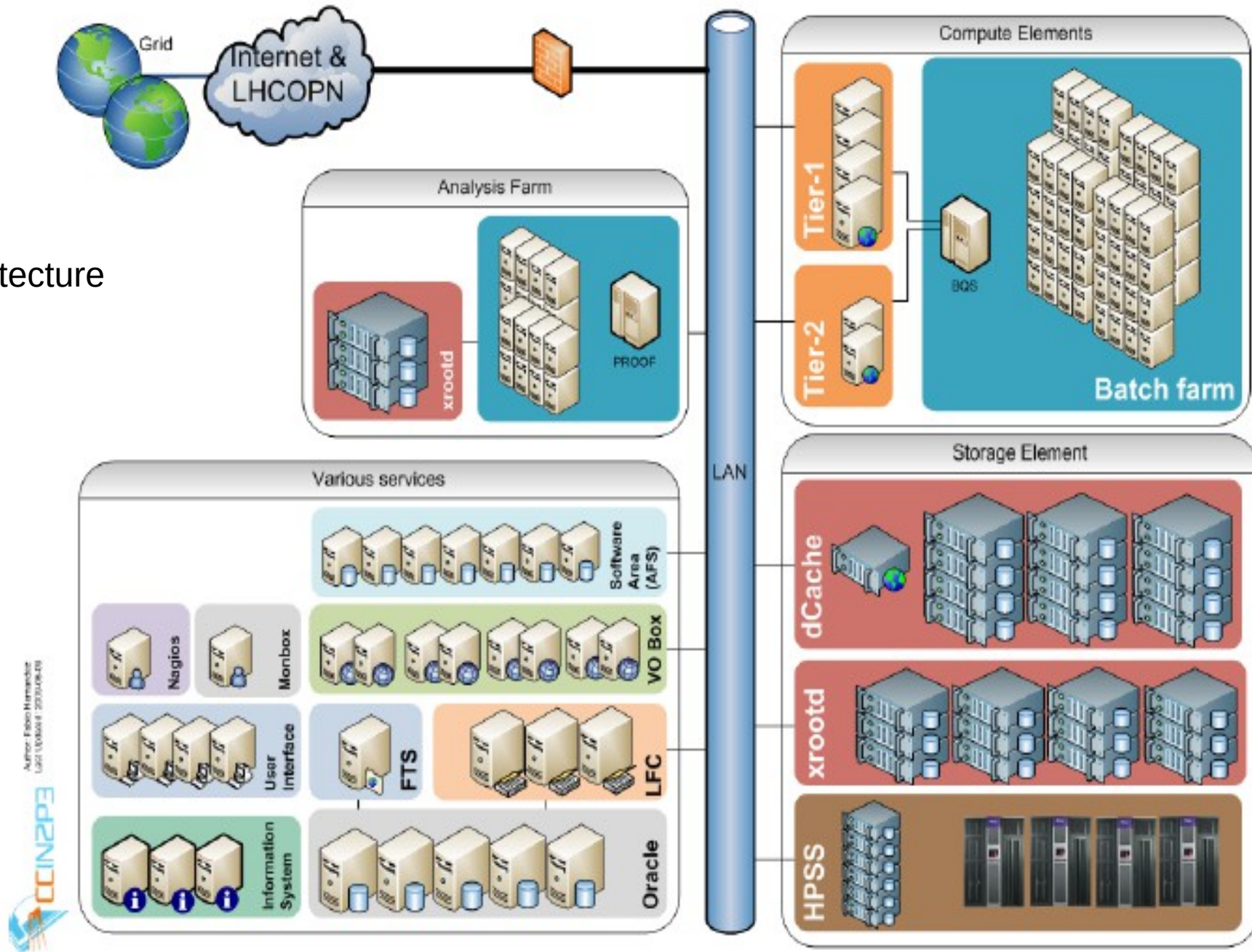
- Recherche de processus très **rares** cachés dans un flux de collisions banales
  - Nécessité de détecteurs très **précis** (nombreux canaux)
  - De simulation détaillées
  - **Enorme besoin en informatique** (stockage, calcul, transfert, logistique)
    - **Un papier et un crayon ne suffisent pas à analyser ça !**
- Développement de **la grille de calcul pour le LHC**
  - Pionnière, mondiale
- Les infrastructures de calcul sont lourdes
  - la france est très bien placée !
- **« Computing enables physics »**
  - Les résultats sont là - toute **cette chaîne est performante !**
  - **Découverte du Higgs annoncée ce mois-ci**
  - Richesse d'autres résultats de physique
- **Retombées** : recyclage de nos techniques pour d'autres disciplines et le public
  - **Impact dans la qualité de vie (médecine, ...)**



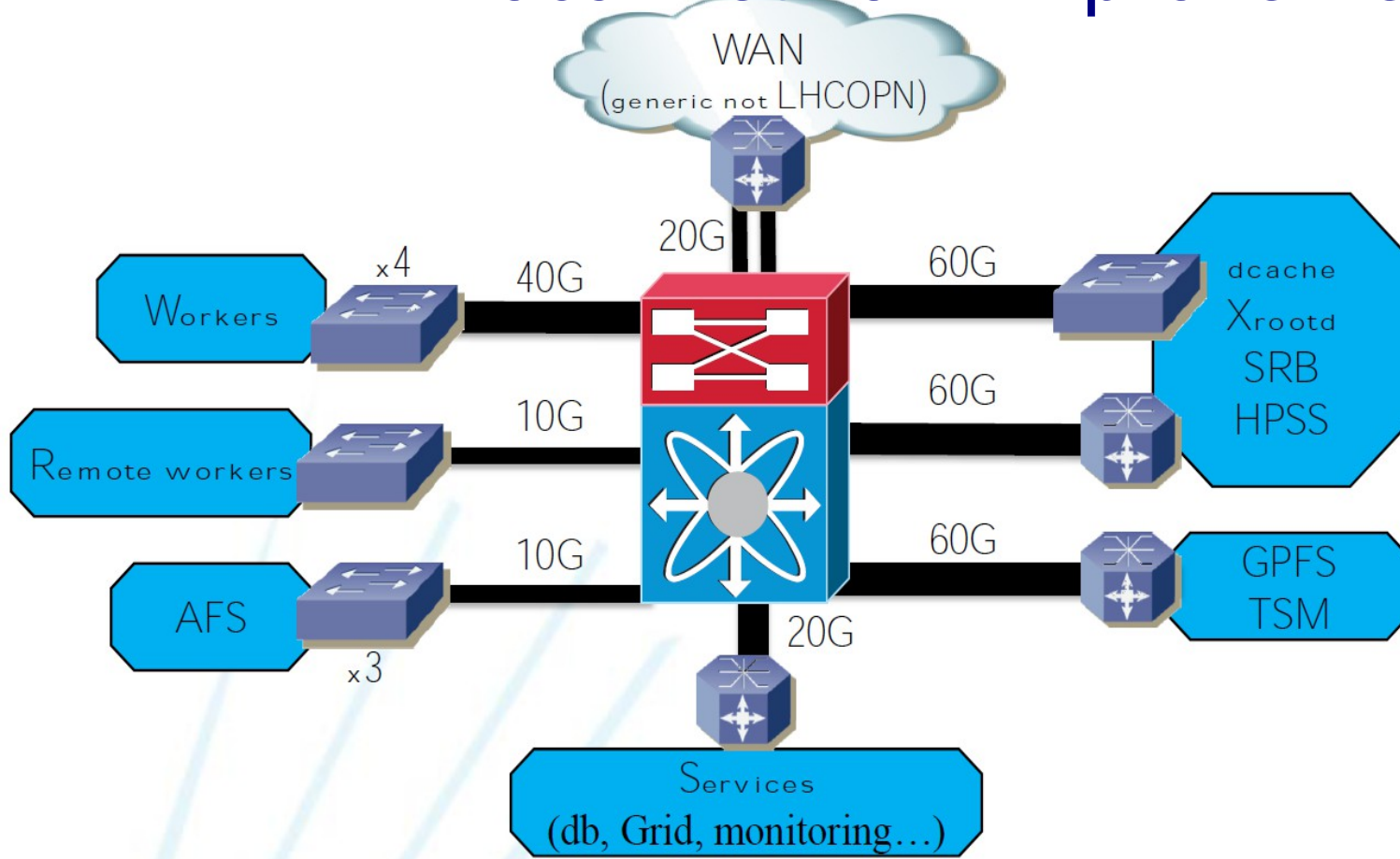
# Back-up

# CC-IN2P3 site overview

- Shared architecture



# Local network improvement



- Increased core capacity
- Isolate services
- Remove bottlenecks
- Shortened paths

Area	Old bandwidth	New bandwidth
AFS	30G <i>shared</i>	30G
GPFS TSM	40G <i>shared</i>	60G
Dcache Xrootd srb HPSS	40G <i>shared</i>	120G
Workers	40G <i>shared</i>	170G
WAN	10G	20G

# Operations at CC-IN2P3

- MOU requirements for T1 centres:

Memorandum of Understanding between CERN and the institutions participating in WLCG

(CERN-C-RRB-2005-1/  
Rev. April 2009)

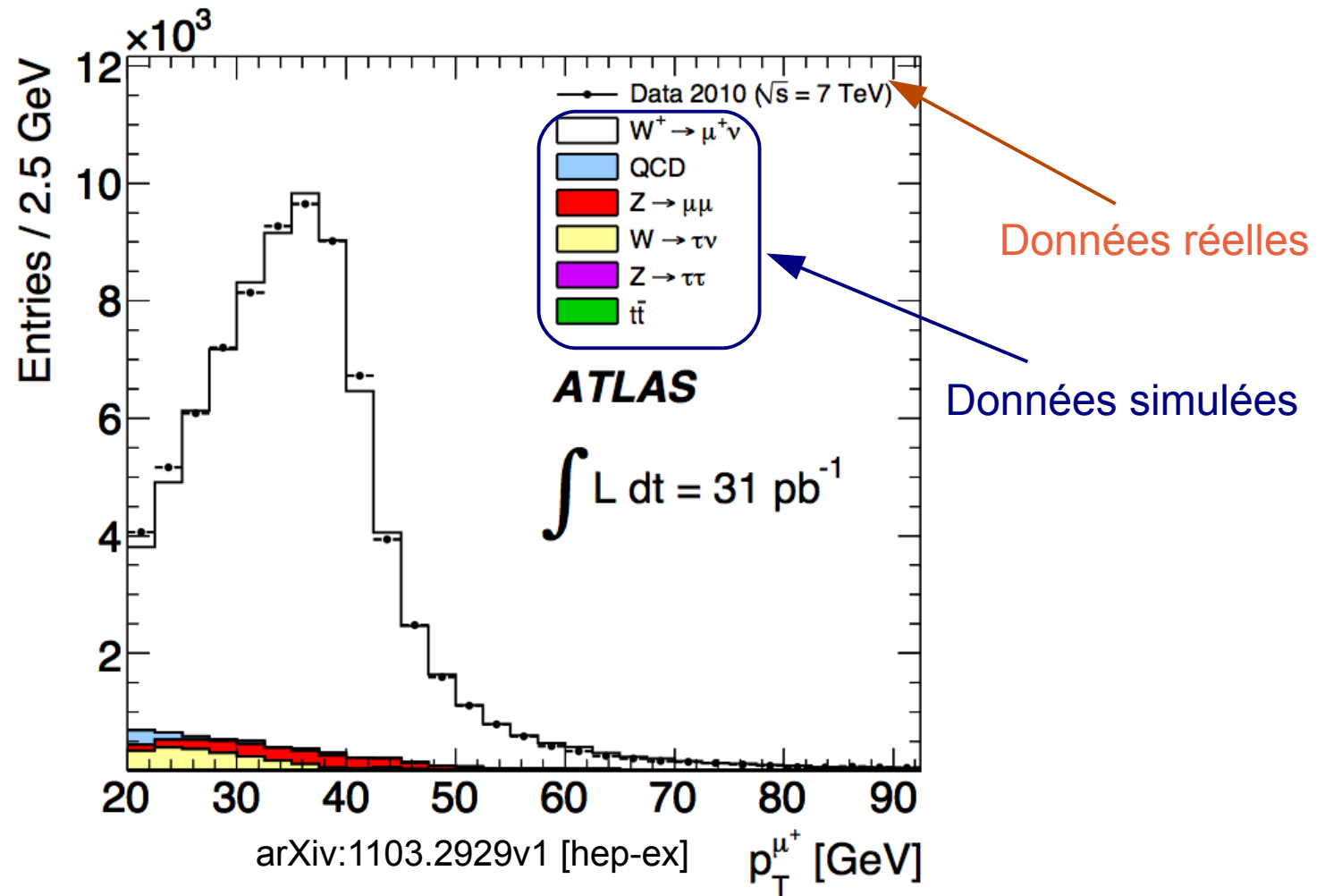
<i>Service</i>	<i>Maximum delay in responding to operational problems</i>			<i>Average availability<sup>5</sup> measured on an annual basis</i>	
	<i>Service interruption</i>	<i>Degradation of the capacity of the service by more than 50%</i>	<i>Degradation of the capacity of the service by more than 20%</i>	<i>During accelerator operation</i>	<i>At all other times</i>
Acceptance of data from the Tier-0 Centre during accelerator operation	12 hours	12 hours	24 hours	99%	n/a
Networking service to the Tier-0 Centre during accelerator operation	12 hours	24 hours	48 hours	98%	n/a
Data-intensive analysis services, including networking to Tier-0, Tier-1 Centres outwith accelerator operation	24 hours	48 hours	48 hours	n/a	98%
All other services <sup>6</sup> – prime service hours <sup>9</sup>	2 hour	2 hour	4 hours	98%	98%
All other services <sup>6</sup> – outwith prime service hours <sup>9</sup>	24 hours	48 hours	48 hours	97%	97%

The response times in the above table refer only to the maximum delay before action is taken to repair the problem. The mean time to repair is also a very important factor that is only covered in this table indirectly through the availability targets. All of these parameters will require an adequate level of staffing of the services, including on-call coverage outside of prime shift.

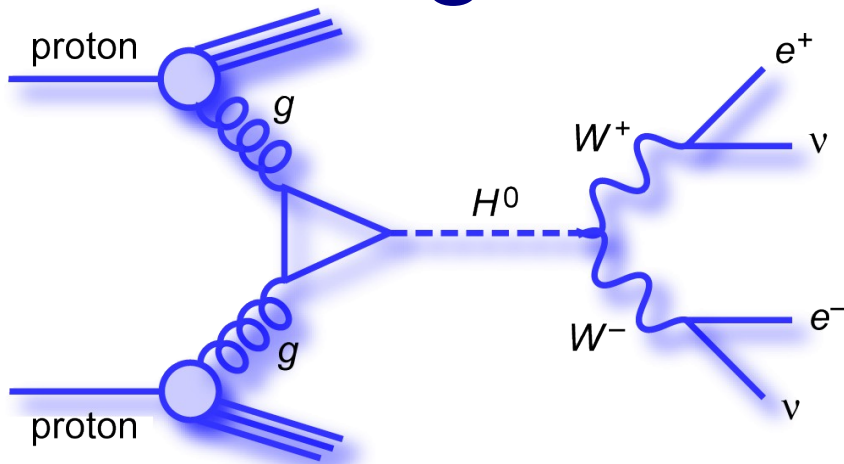


# Les chandelles standards

Sélection d'événements "W" dans les données 2010 de ATLAS.



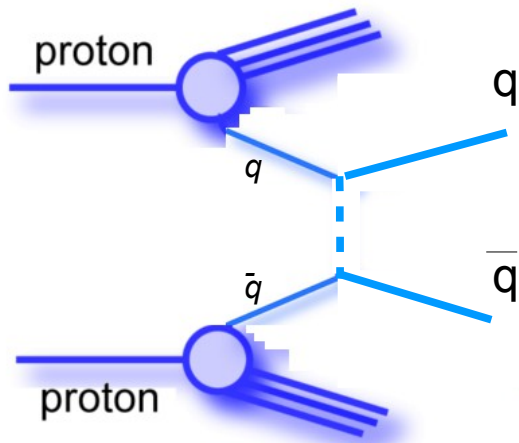
# Recherche d'un processus rare : “signal” et “bruit de fond”



Nous avons déjà discuté cette chaîne de réaction.

Pour la recherche du Higgs elle constitue “le signal”.

Rappelons-nous que seuls les particules stables de l'état final atteignent le détecteur.



De mauvaises identifications dans le détecteur peuvent donner le même état final apparent – et qui sont possibles même si le Higgs n'existe pas !!

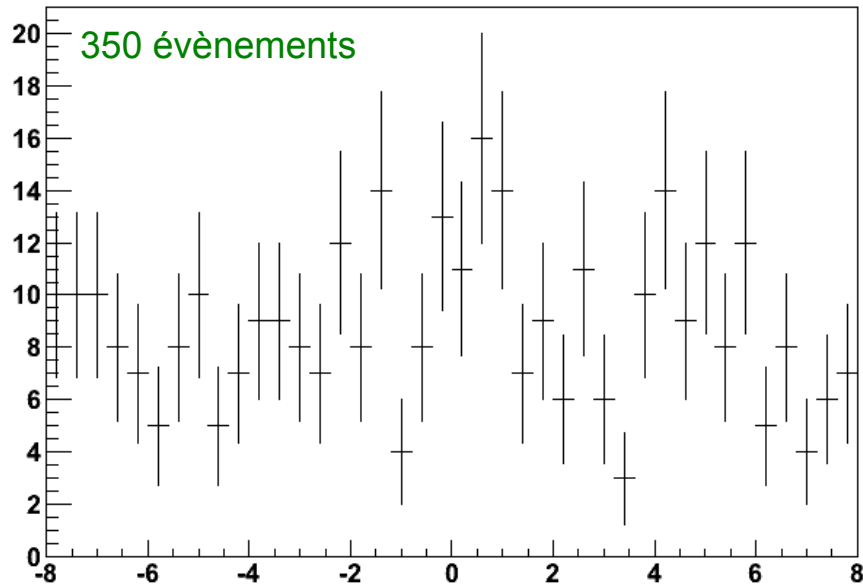
Pour la recherche du Higgs elles constituent un autre “bruit de fond”.

Temps

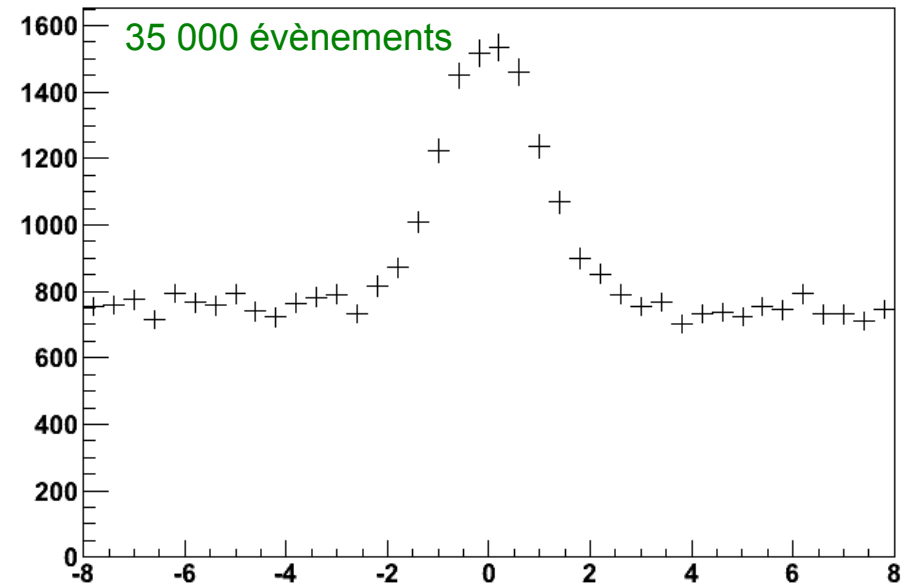
# Interlude sur la statistique

Les deux graphes en bas montrent la même distribution, à gauche avec peu de données, à droite avec 100 fois plus de données :

histogram



histogram



Avec peu de données la situation est bien moins claire :

- est-ce tout simplement un spectre plat ?
- ou est-ce qu'il y a un pic quelque part ?

Avec beaucoup de données nous voyons clairement la structure : un spectre plat (dû au bruit de fond), plus un pic (dû au Higgs).



# Trouver une nouvelle bestiole

Le chien



L'écureuil



Le renard

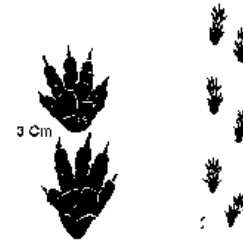


Hey ! Regarde, il y a 3 doigts !  
C'est une nouvelle bestiole ?

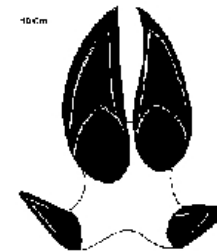


© AGSE - Droits réservés - www.scoutorama.org

Le hérisson



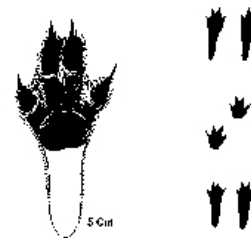
Le sanglier



1. Vieux mâle, au pas rapide.  
2. Laie en marche lente.



Le lièvre



Le chevreuil

