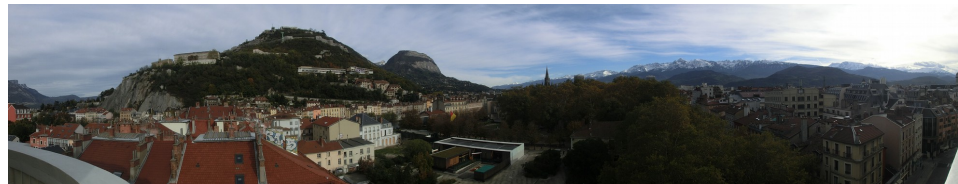


# Enregistrer et analyser pour découvrir

**Catherine Biscarat**

biscarat@lpsc.in2p3.fr

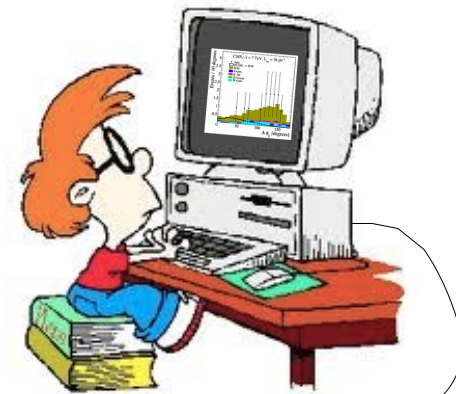
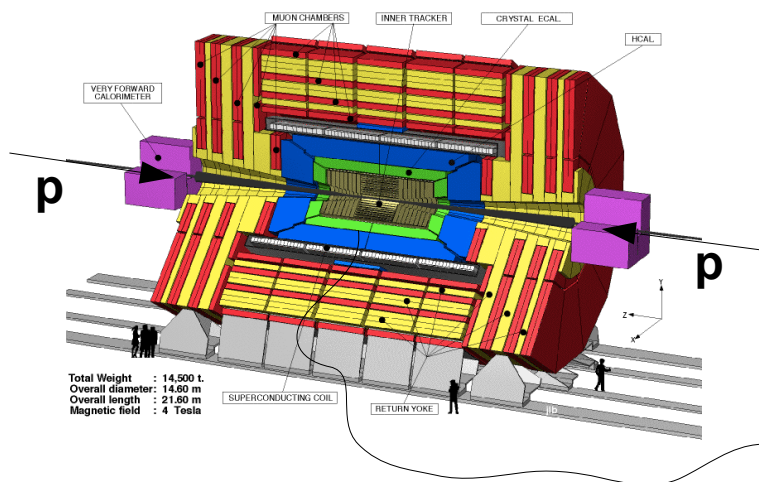
Laboratoire de Physique Subatomique et de Cosmologie de Grenoble



Rencontres de physique de l'infiniment grand à l'infiniment petit,  
le lundi 20 juillet 2015

# 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 du LHC



# Petite intro sur l'oratrice

- Jusqu'en 2011 : expérimentaliste en physique des particules, sur collisionneur



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



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

- Depuis 2011 : ingénieur en informatique à l'IN2P3, un des instituts du CNRS

- Grilles de calcul
- Centre secondaire pour le LHC
- Portage d'applications



- Depuis une année : responsable technique du projet LCG-France

Running jobs: 236092  
Transfer rate: 11.41 GiB/sec



# Enregistrer les données

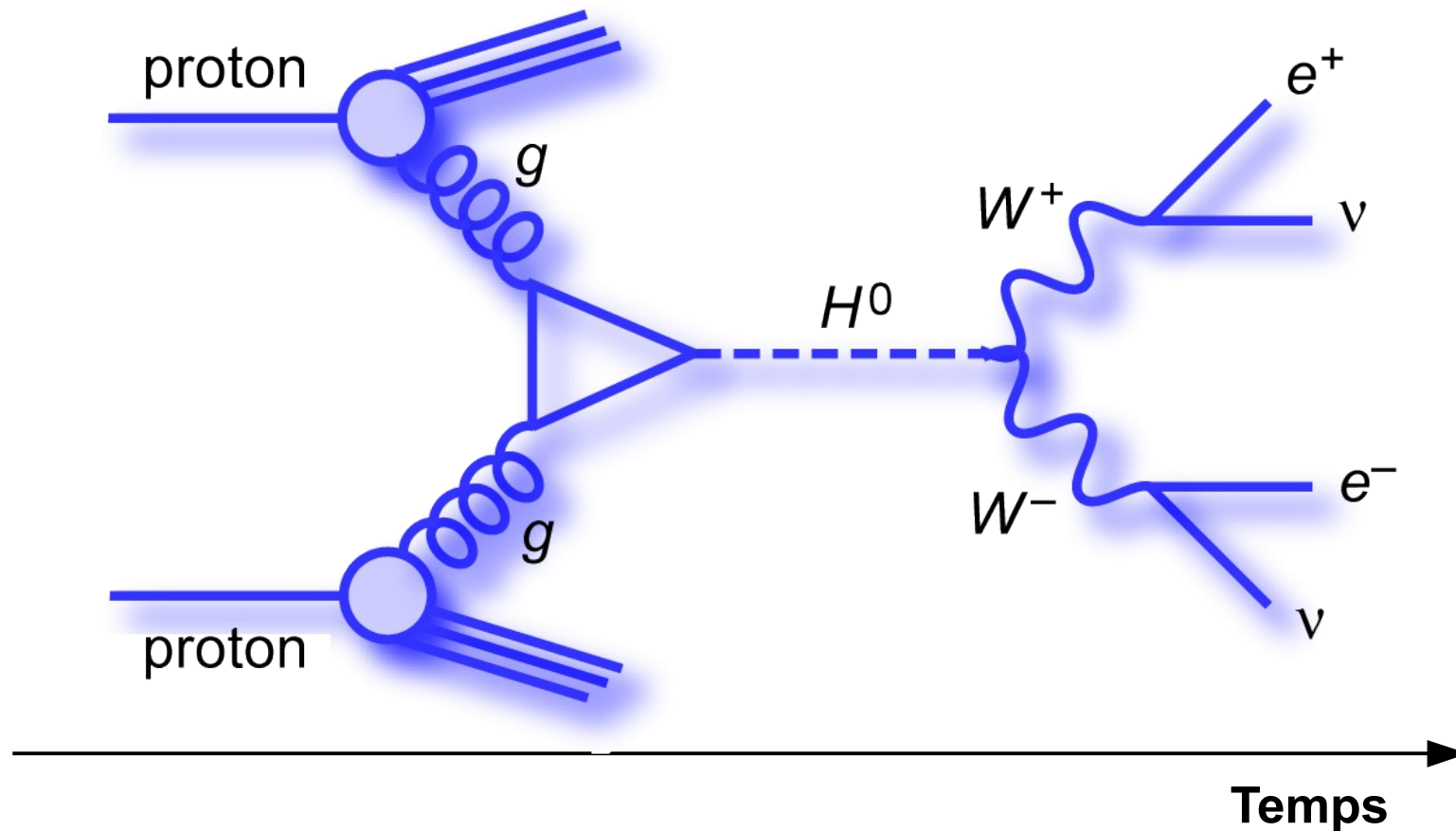
ographer

/BKG

NGA, GEBCO

# Comment chercher le Higgs ?

Le boson de Higgs peut être produit dans une collision de deux protons de grande énergie :



deux protons  
entrent en collision

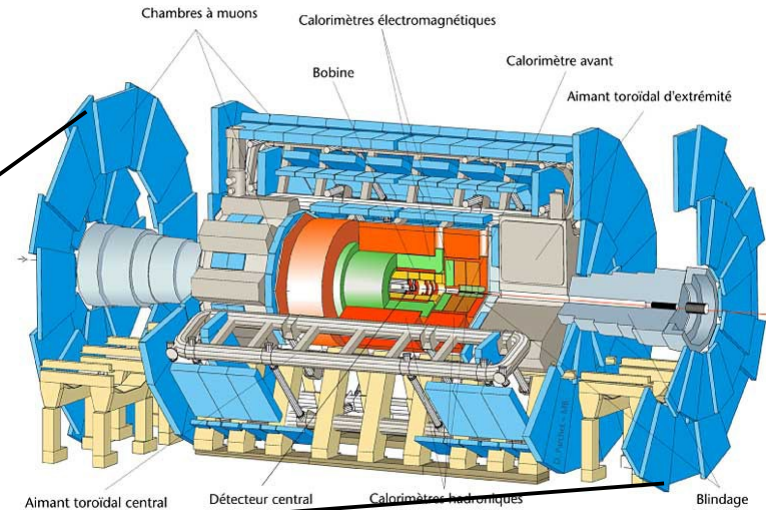
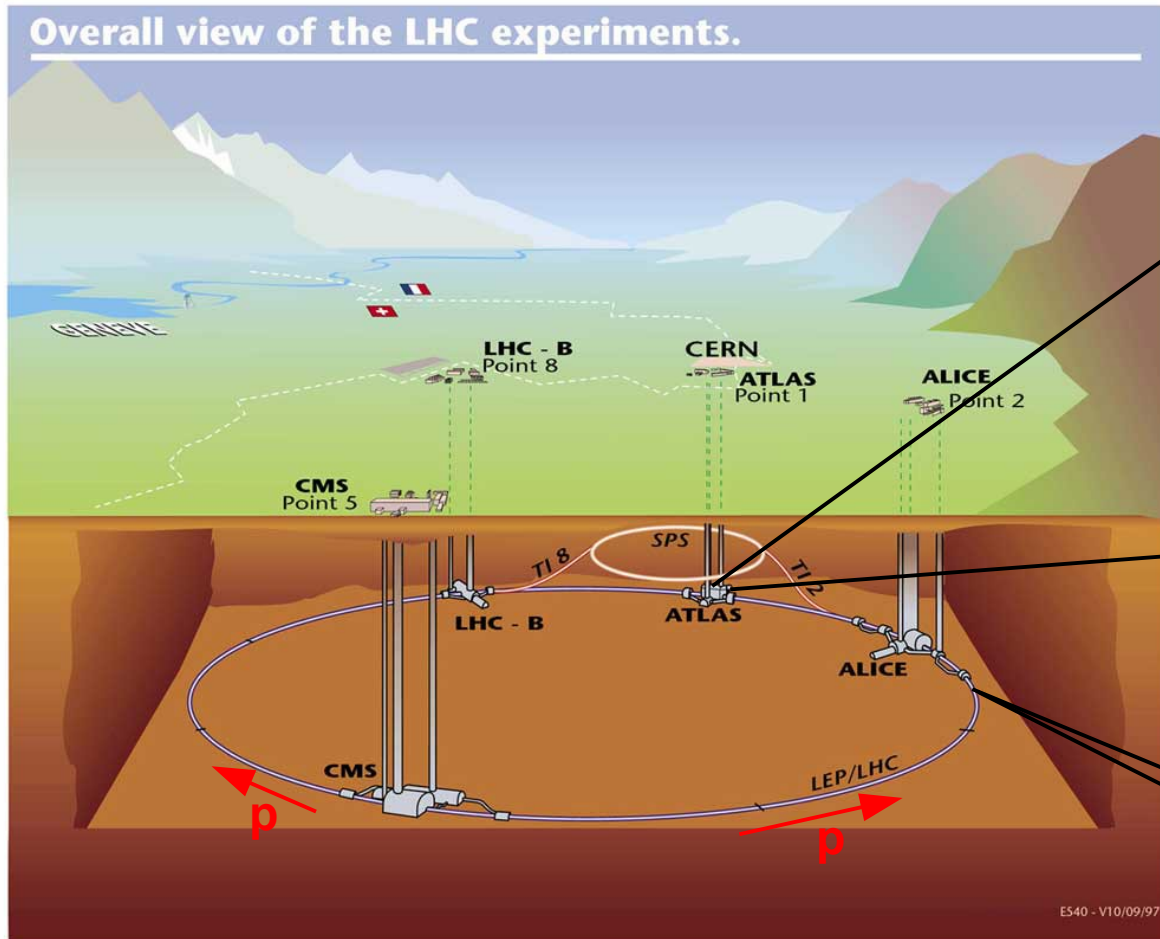
deux gluons (constituants  
des protons) "fusionnent"  
pour créer un  
boson de Higgs

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



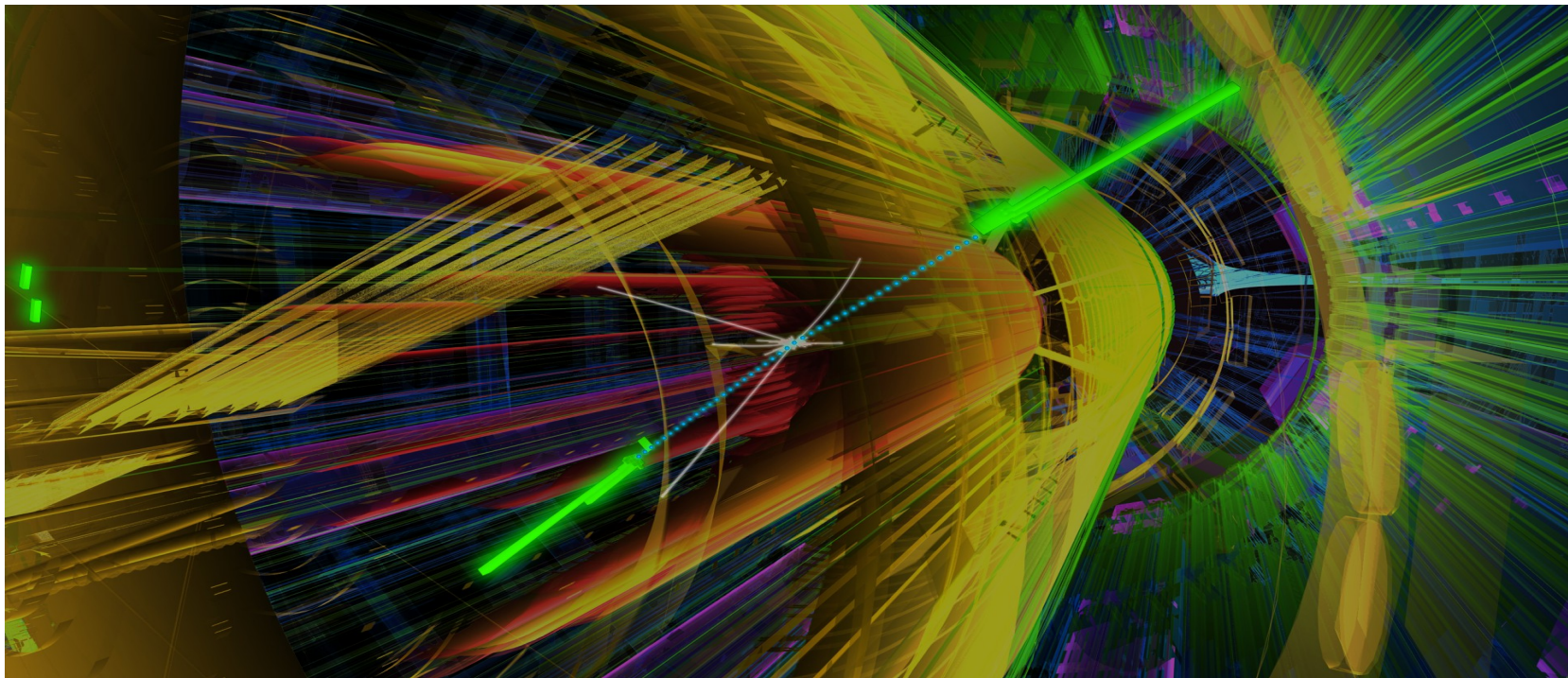
# L'appareillage en pratique



# Les « événements »

---

- Les données sont organisées en « événements »
  - Une image de la collision
  - Des millions de capteurs
- Chaque événement est :
  - indépendant des autres
  - assez « petit »
- Les événements sont traités un par un



# Taux de production des événements

## LHC

- croisement de faisceaux : 40 MHz
- Taille d'un événement : 1,6 MB
- 100 000 CD écrits/s

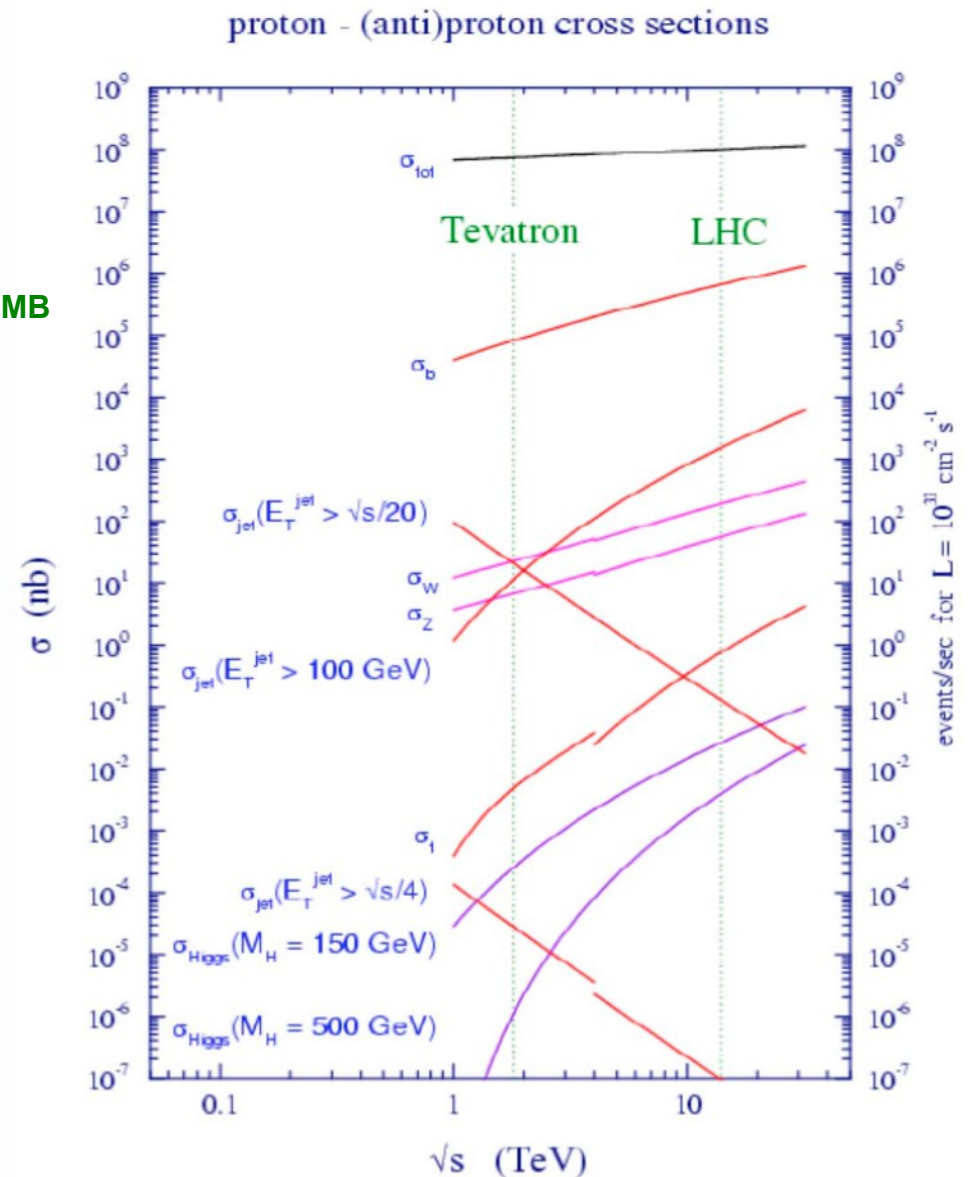
1 CD = 650 MB

- 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**
- collecter une part d'événements 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)

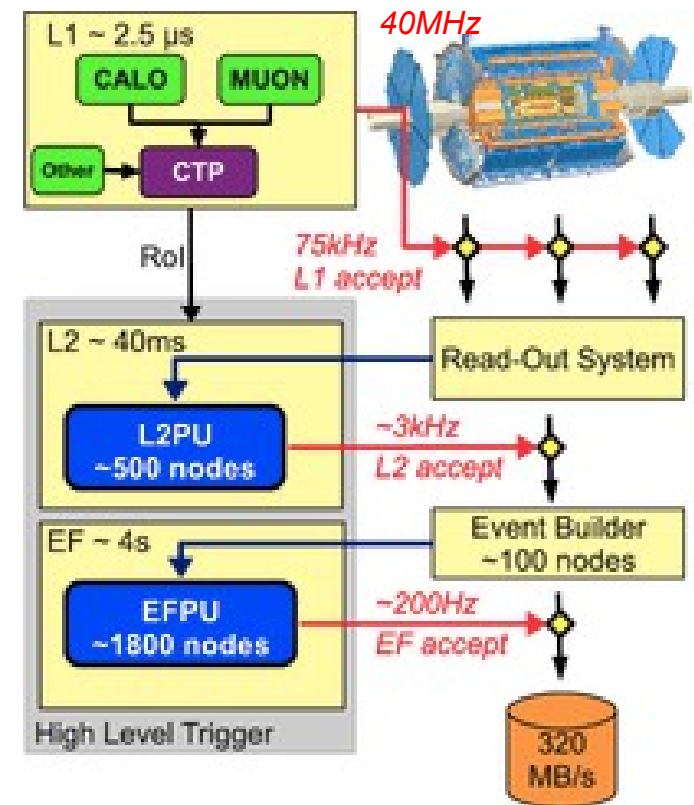
## Niveau 2

- Événement complet dans régions d'intérêt identifiées au niveau 1
- Algorithmes spécialement rapides

## Niveau 3

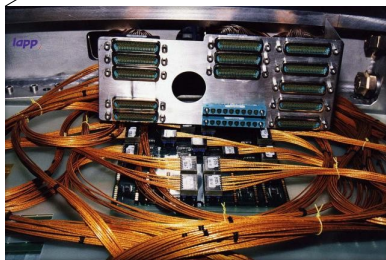
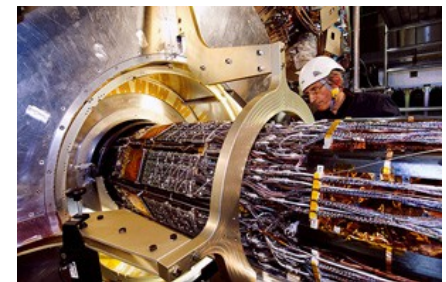
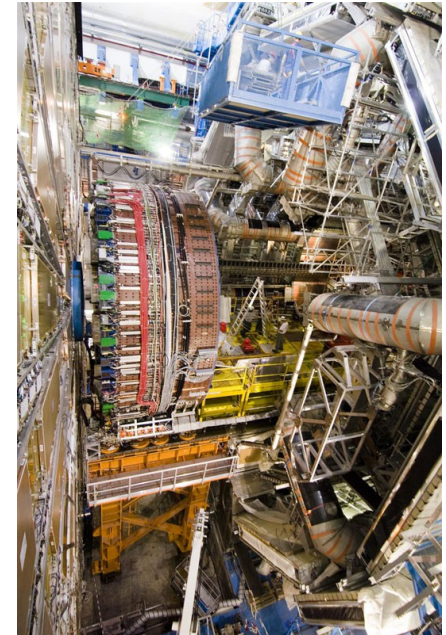
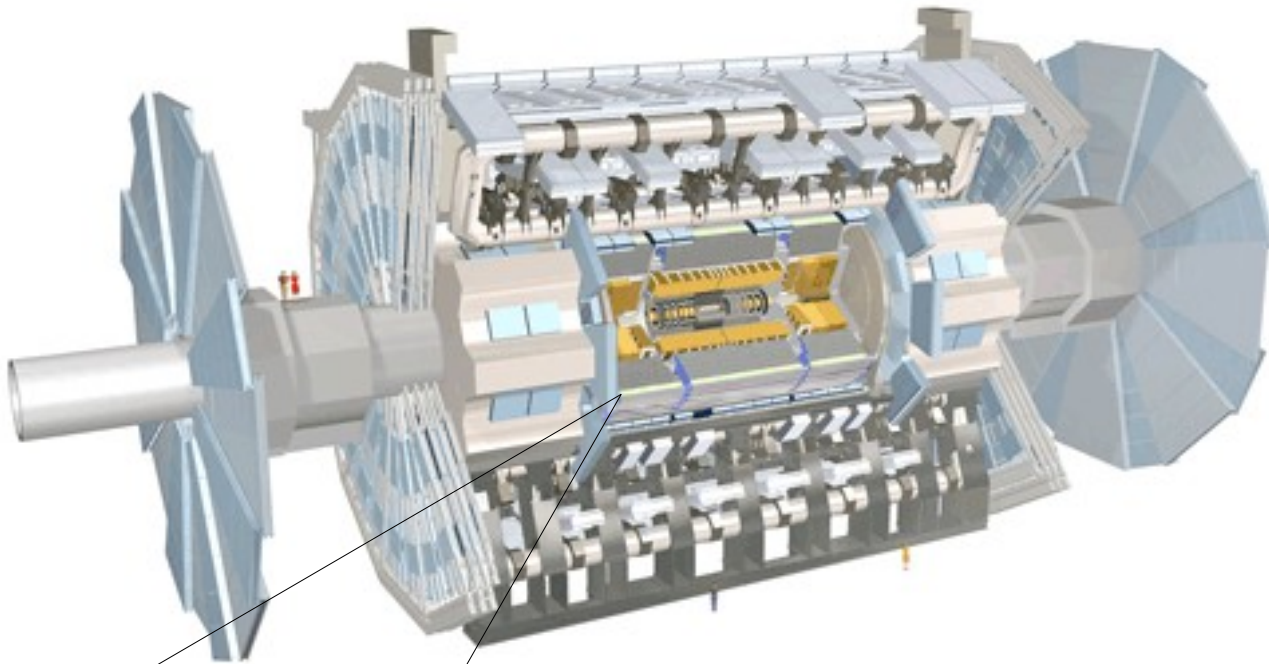
- Événement complet
- Algorithmes raffinés, de type "analyse"

## Exemple Run 1-2 ATLAS





# 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



Running jobs: 236092  
Transfer rate: 11.41 GiB/sec

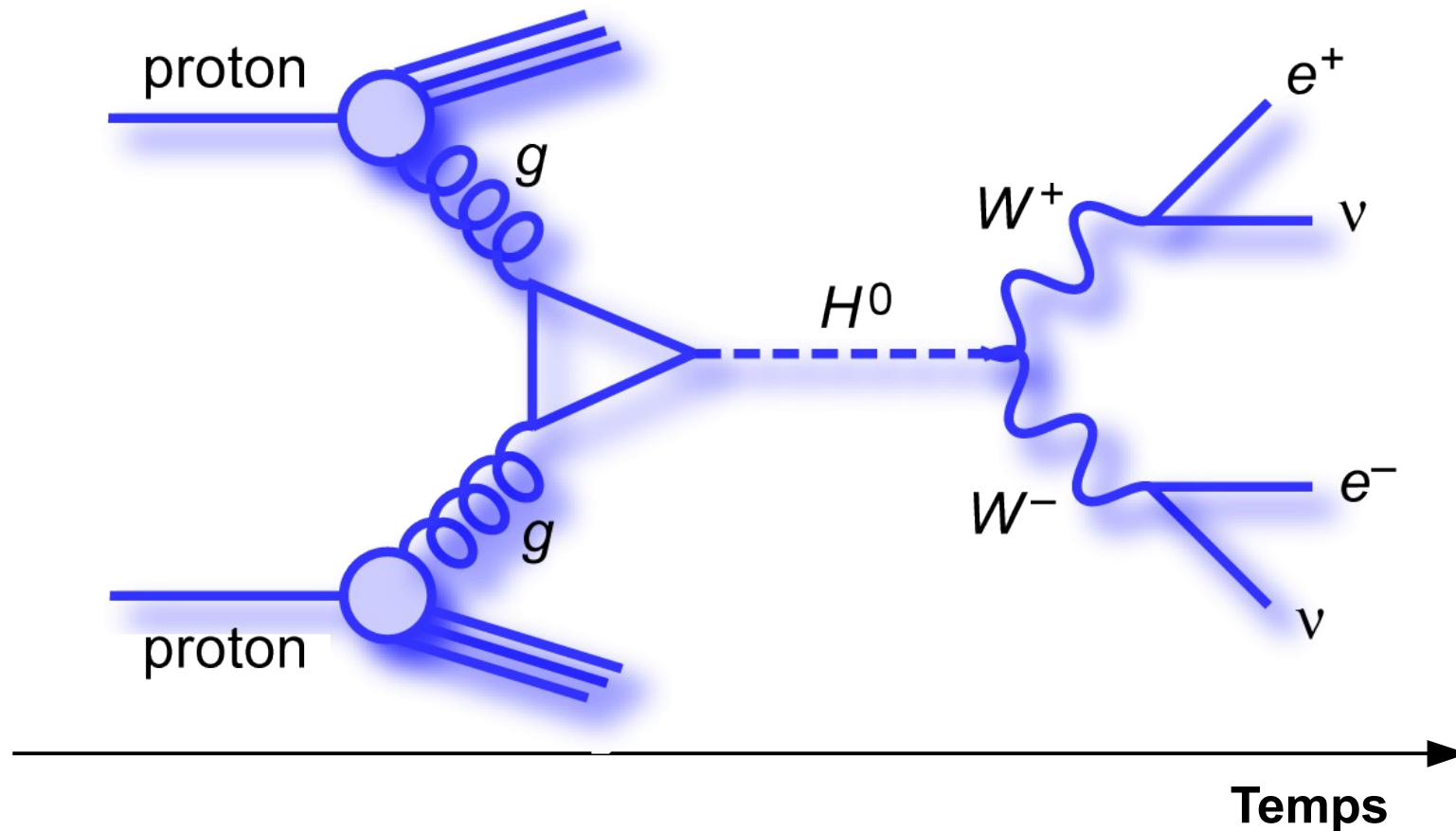


# Analyser les données

ographer  
/BKG  
NGA, GEBCO

# Comment chercher le Higgs ?

Le boson de Higgs 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

~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, et les détails des canaux
  - Pour les études détaillées des performances du détecteur

~0.2 MB

- 3) A.O.D. : “analysis object data”
  - Les évtS sont sous la forme de liste d'objets raffinés
  - Utiles pour la sélection des événements intéressants

~0.01 MB

- n) n-tuples : format plat
  - Sert à faire le “plot final”
  - Structure des AOD
  - Partie des évtS et des objets

Reconstruction des données brutes

- Hits → traces
- 1-3 fois par an
- Calibration améliorée

Identification des objets

- Interactions connues

Analyse des évtS reconstruits

- sélection des évtS intéressants
- 10 fois par jour



# Vers l'analyse des données

Taille/évt

Format de données

Type de calcul

~1.6 MB

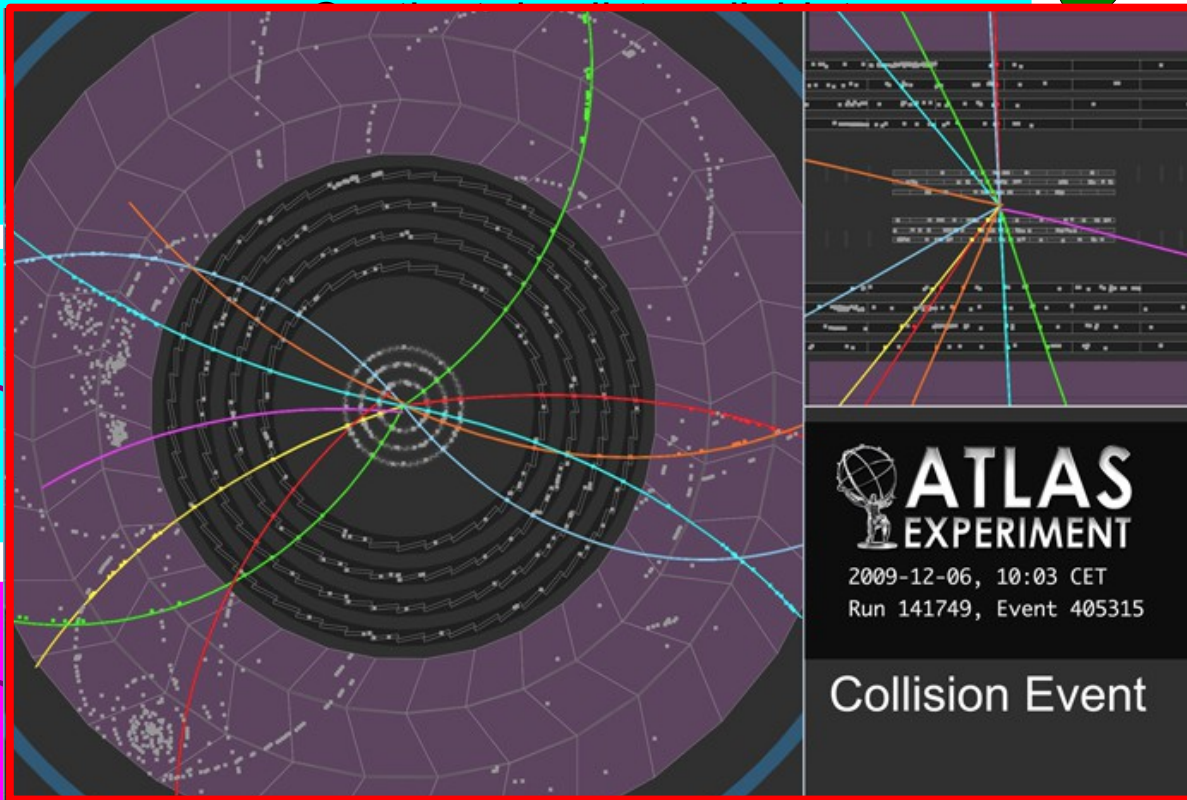
- 1) RAW : données brutes
  - Signal des canaux de lecture

~0.8 MB

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

Reconstruction des données brutes

- Hits → traces



<http://atlas.web.cern.ch/Atlas/public/EVTDISPLAY/events.html>

# 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

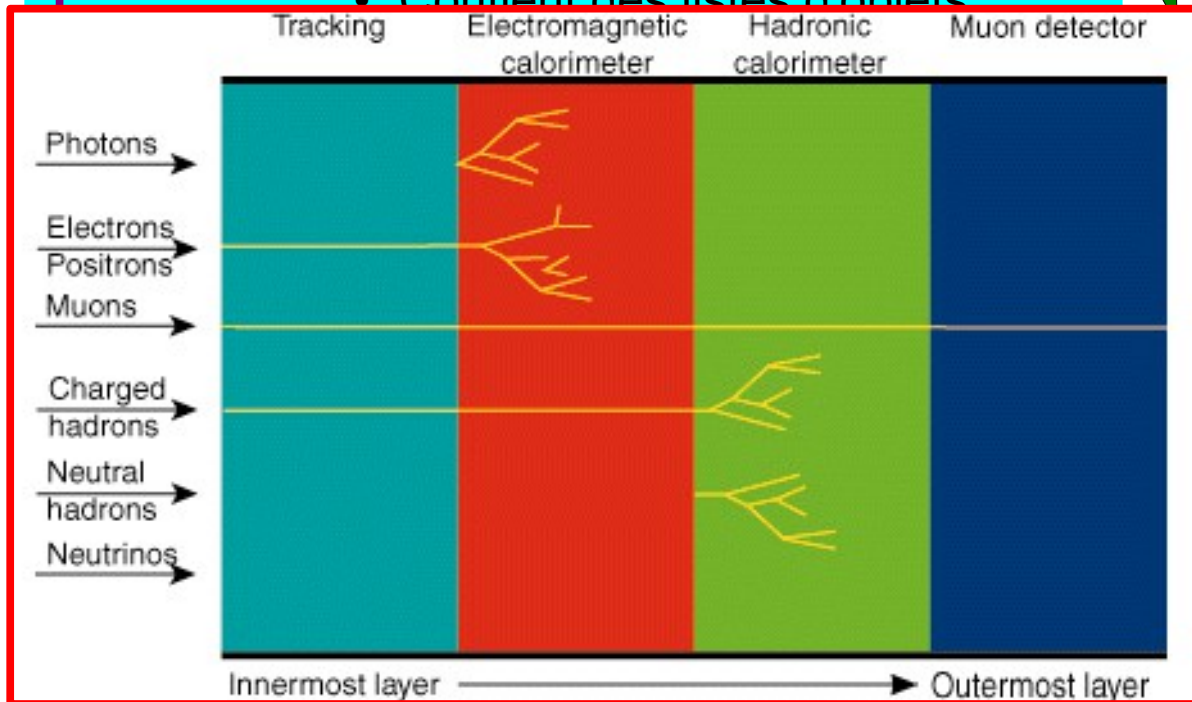
~0.8 MB

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

- Reconstruction des données brutes
- Hits → traces

- Identification des objets
- Interactions connues

- Analyse des évts reconstruits
- sélection des évts intéressants



- Structure des TCD
- Partie des évts et des objets

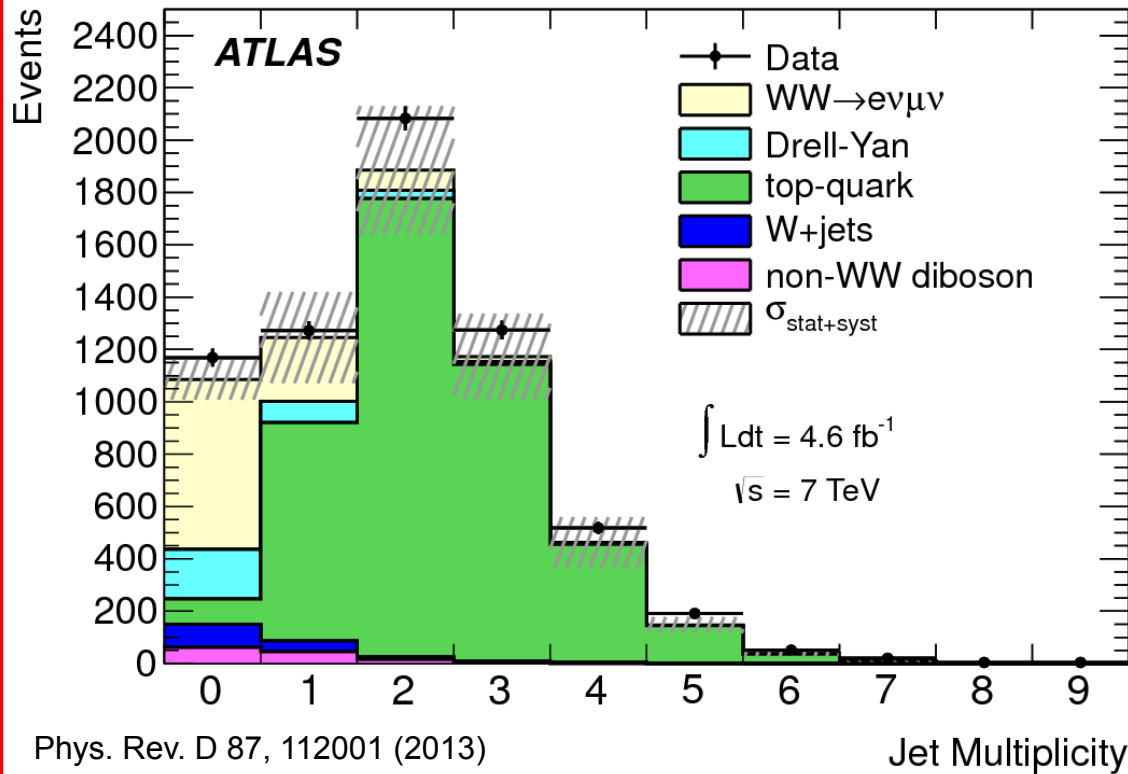
# Vers l'analyse des données

Taille/évt

Format de données

Type de calcul

1) RAW : données brutes



Reconstruction des données brutes

- Hits → traces

Identification des objets

- Interactions connues

Analyse des évtS reconstruits

- sélection des évtS intéressants

~0.01 MB

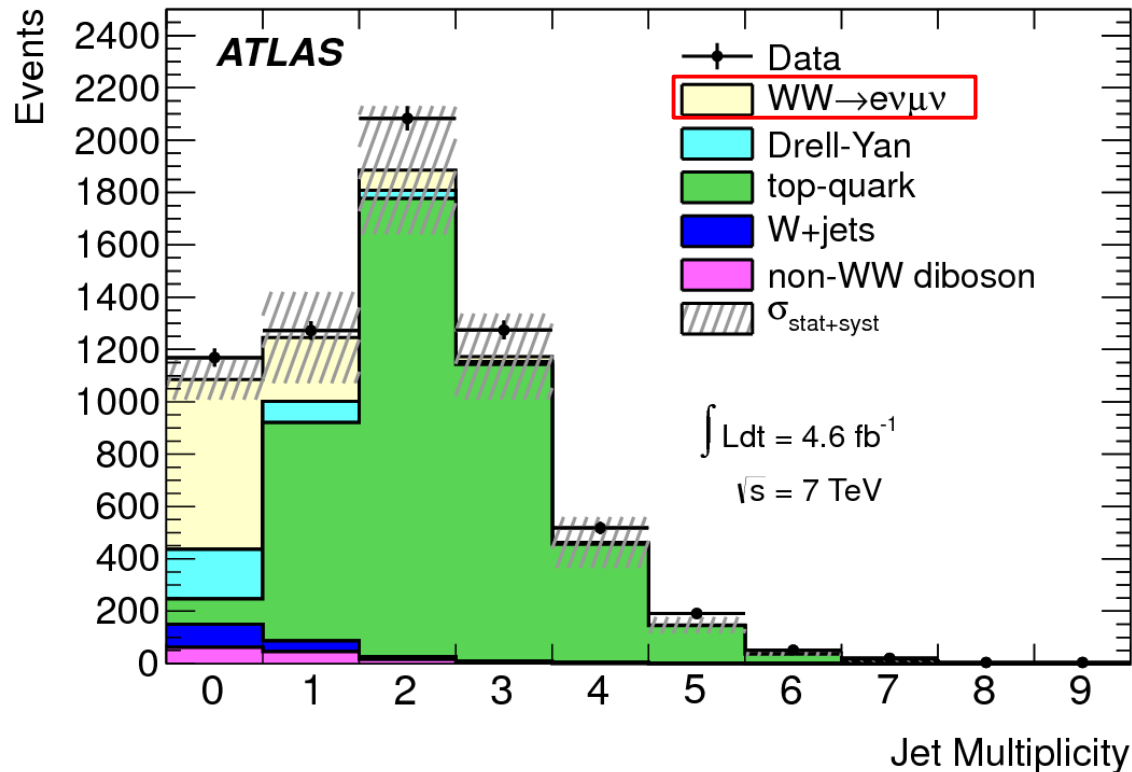
- Sert à faire le “plot final”
- Structure des AOD
- Partie des évtS et des objets

# 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 !!

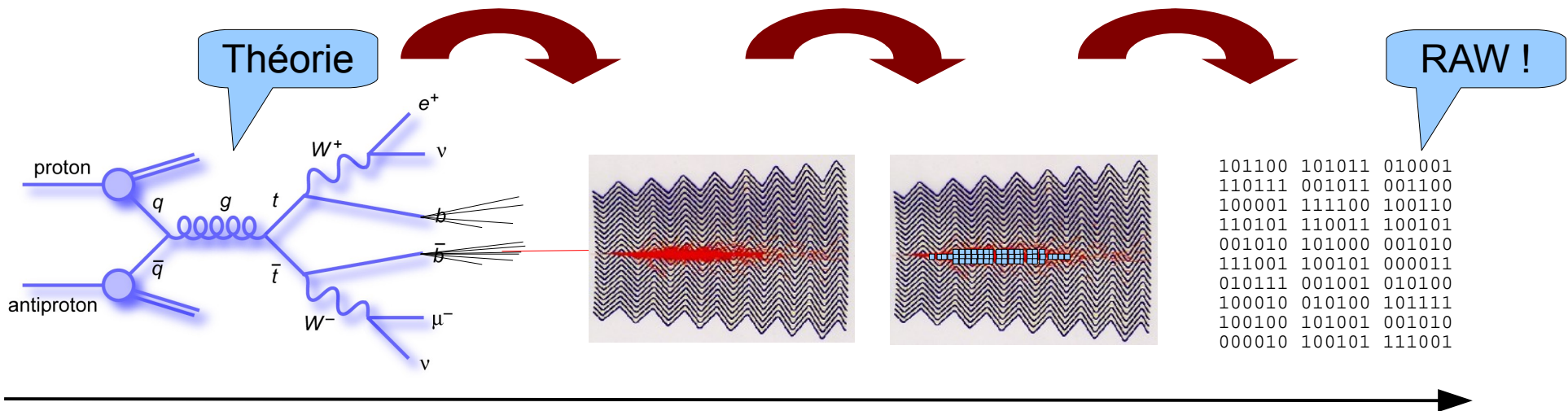


# La simulation

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

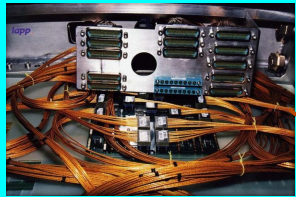


# En résumé

## Traitement centralisé

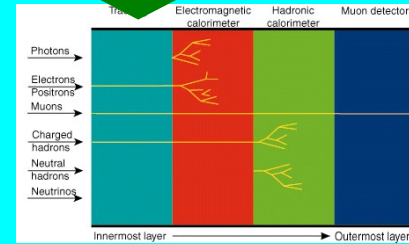
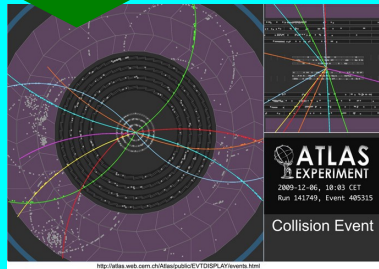
Reconstruction  
des données brutes

Identification des objets  
et sélection d'état final



```

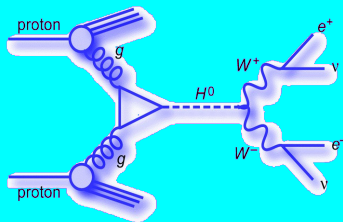
101100 010001
110111 001100
111100 100110
110101 110011
001010 001010
100101 000011
010111 010100
    
```



## groupe/individu

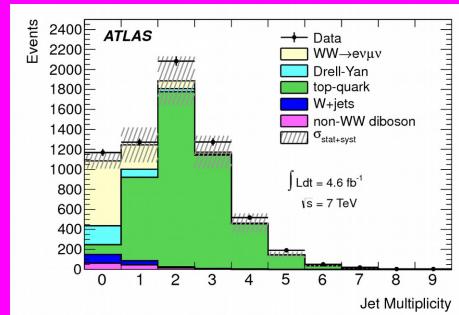
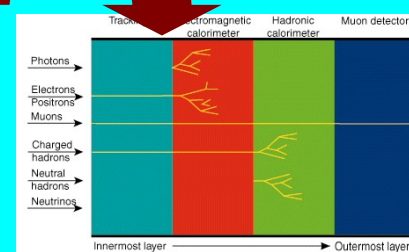
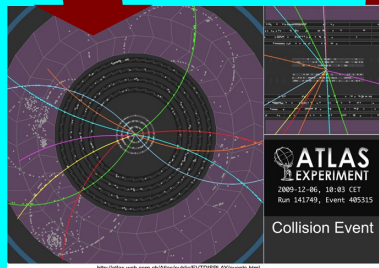
Analyse finale  
(n fois / jour)

## Simulation des événements

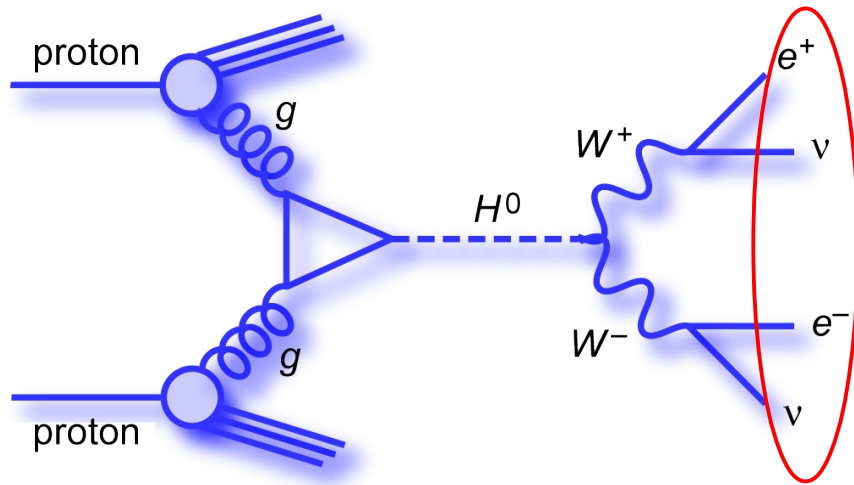


```

101100 010001
110111 001100
111100 100110
110101 110011
001010 001010
100101 000011
010111 010100
    
```



# Recherche d'un processus rare

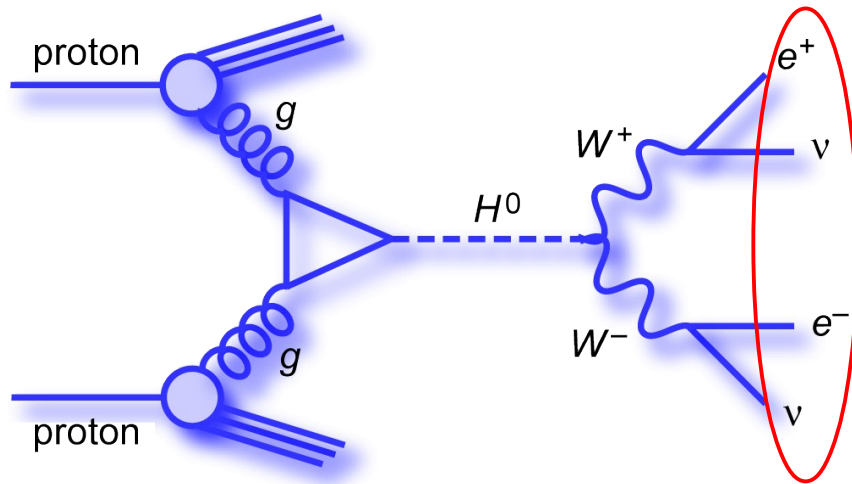


Nous avons déjà discuté cette chaîne de réaction.

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

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

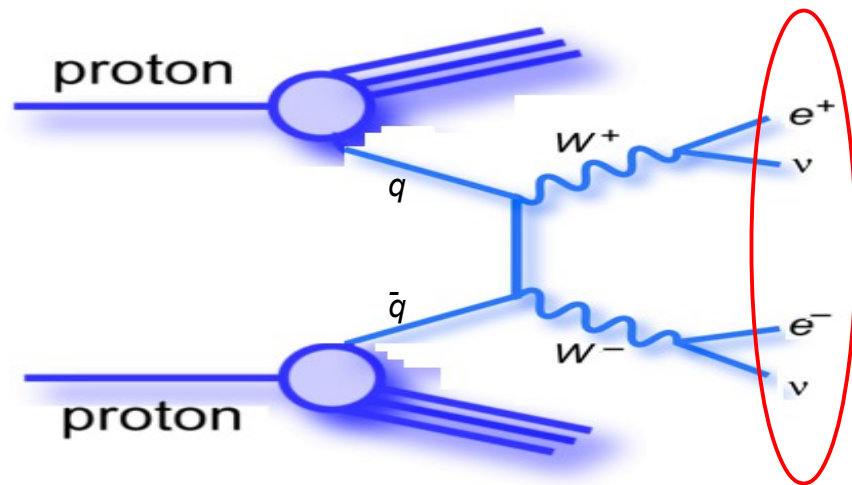
# Recherche d'un processus rare



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.



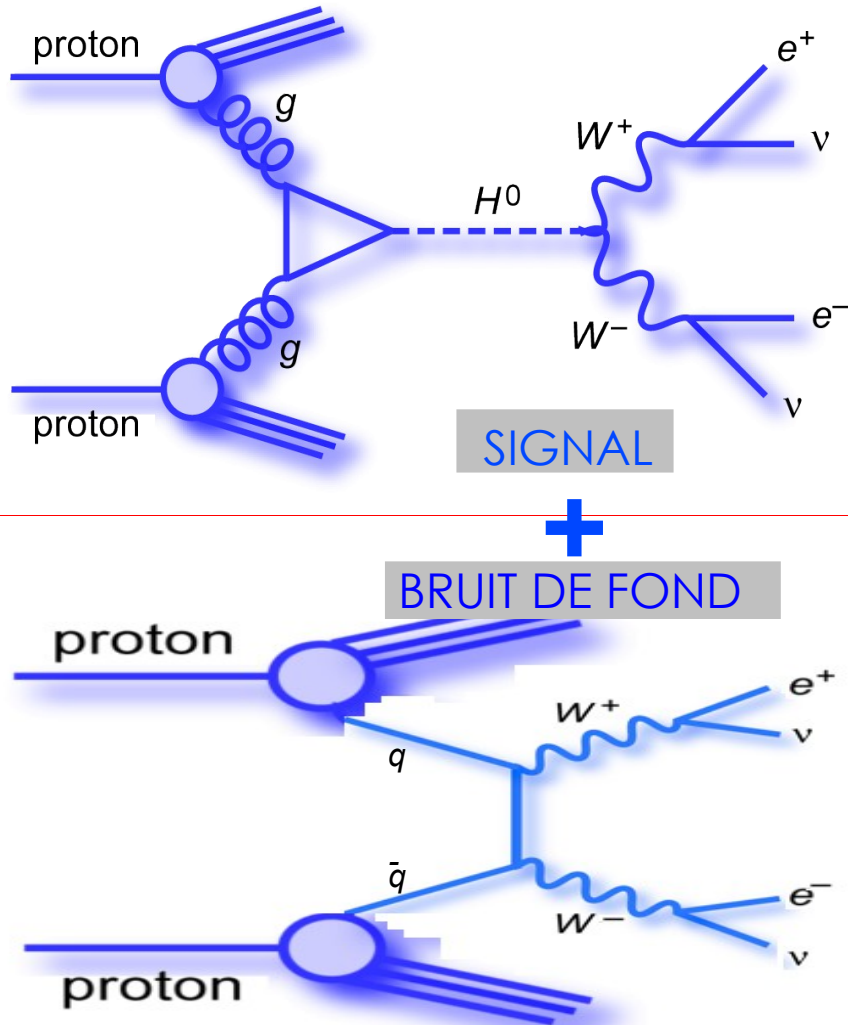
Malheureusement il existe d'autres chaînes qui donnent le même état final – et qui sont possibles même si le Higgs n'existait pas !!

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

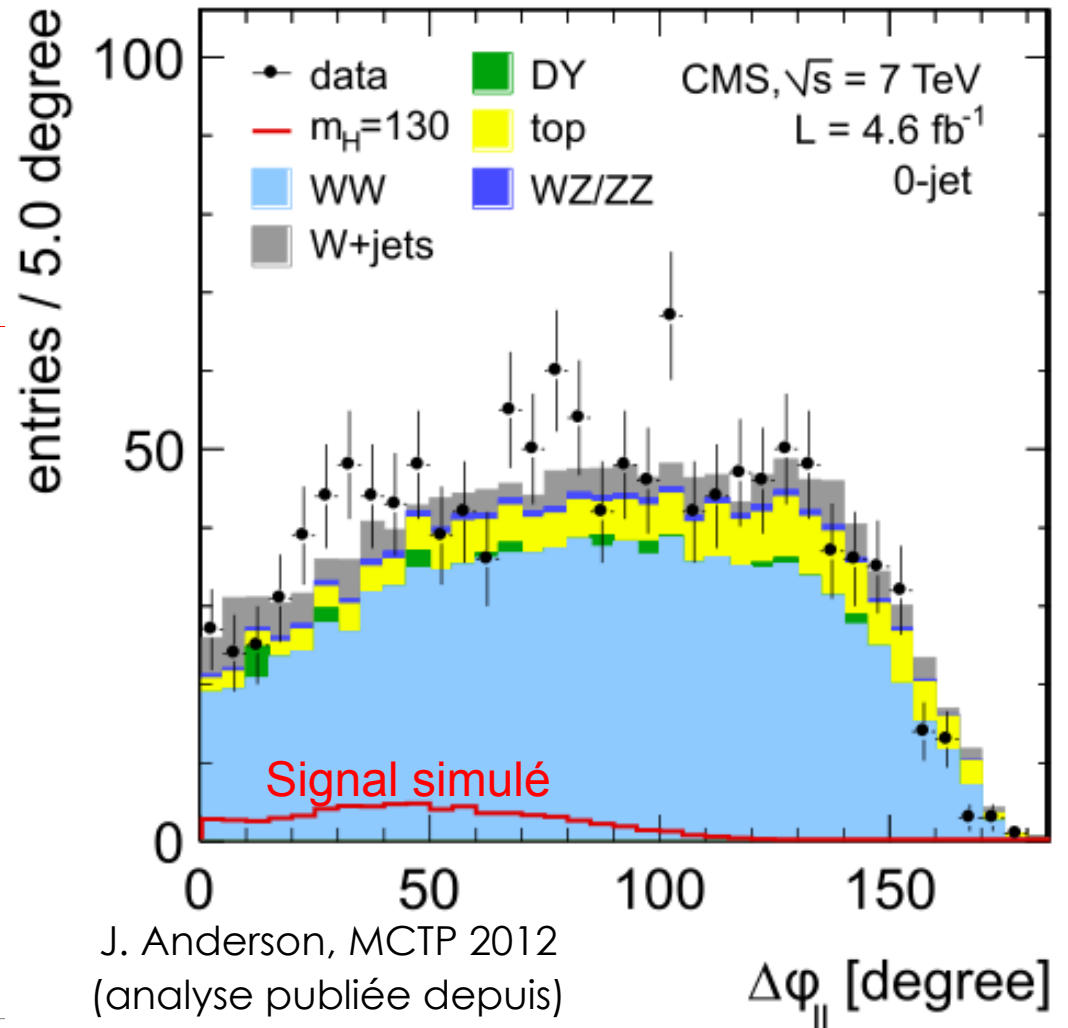
Pour rendre les choses encore pire : ce type de réaction est **beaucoup plus abondant que le signal**.



# “Signal” et “bruit de fond”



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



J. Anderson, MCTP 2012  
(analyse publiée depuis)

Running jobs: 236092  
Transfer rate: 11.41 GiB/sec

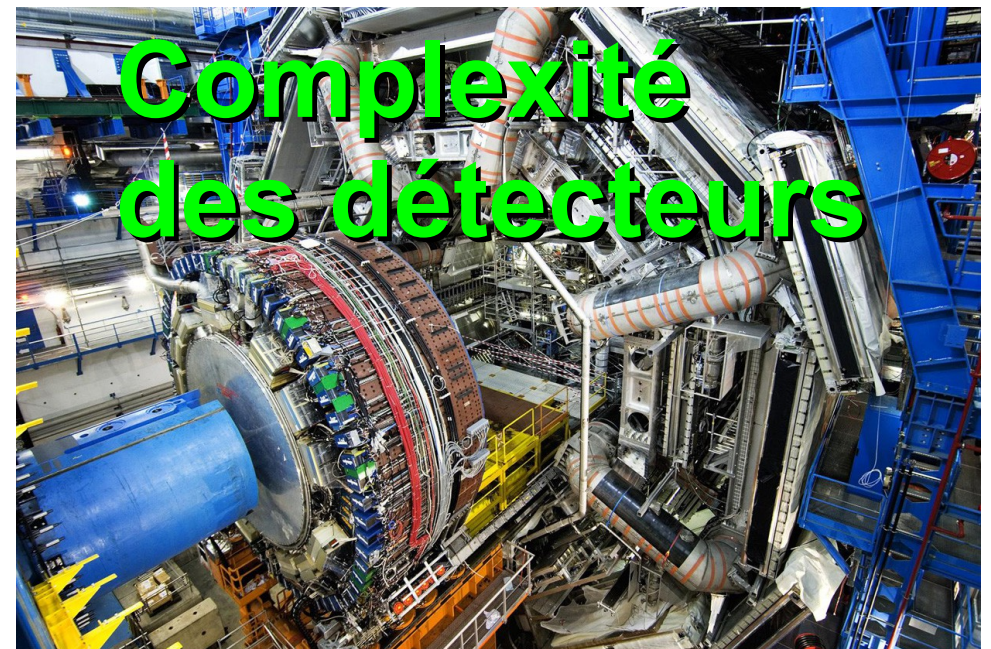
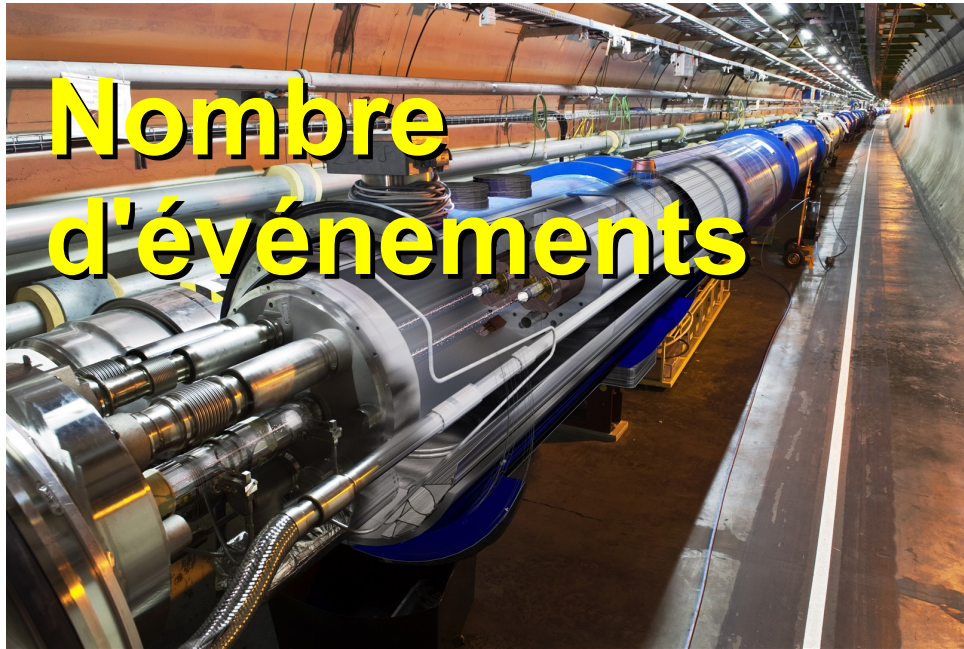


# Traiter les données

ographer  
/BKG  
NGA, GEBCO



# De nouveaux ordres de grandeur



 CMS Experiment at LHC, CERN  
Data recorded: Mon Nov 8 11:30:53 2010 CEST  
Run/Event: 150431 / 630470  
Lumi section: 173



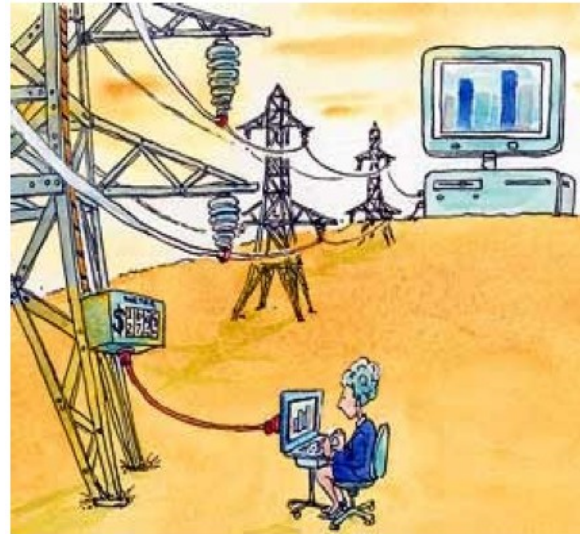
**Complexité des algorithmes**





# Nouvelle problématique

Un centre informatique “classique”

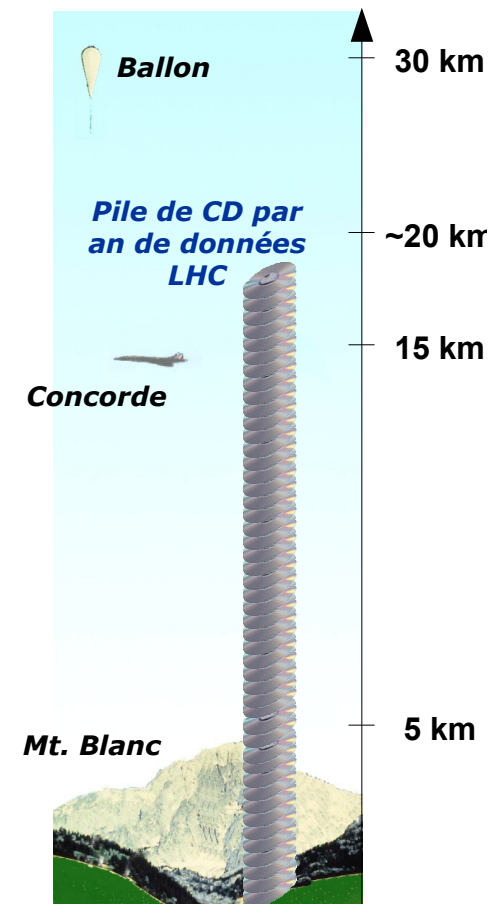


## Une nécessité

- 600 000 films DVD produits par un détecteur en un an
- Un site seul n'aurait pas suffi (ressources, infra, \$\$)
- Utilisateurs **distribués partout** dans le monde

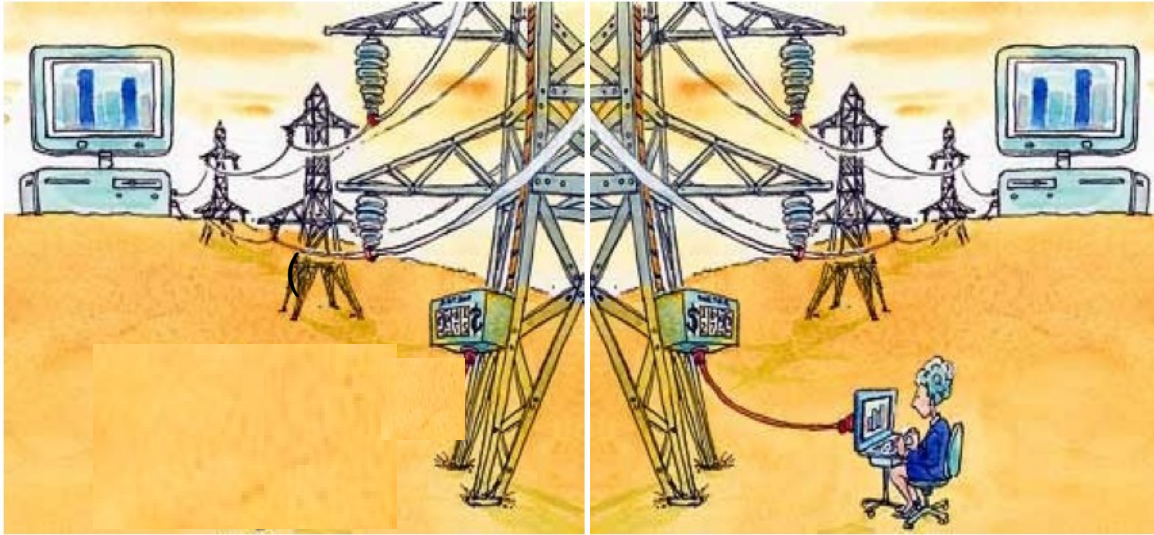
## Or, des sites existaient déjà de part le monde

- Des moyens financiers régionaux
- Souvent partagés entre différentes communautés





# Innovation : la grille de calcul



Terme pris de "electric power grid"

Décision de construire une **grille de calcul pour le LHC**

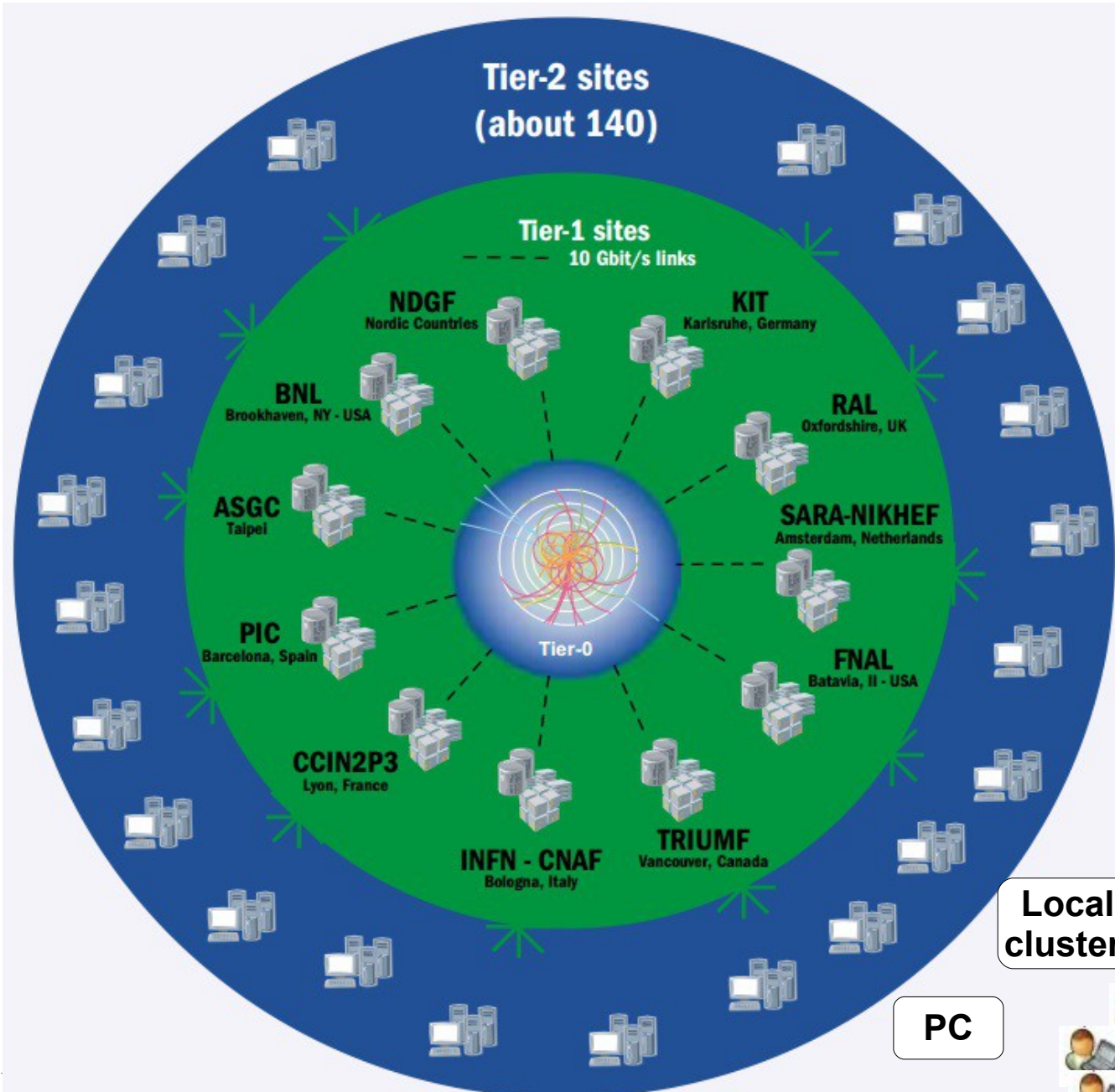
- Mutualisation de ressources de plusieurs unités pour un but commun
- Correspond bien à notre problématique (évts indépendants)

# Worldwide LHC Computing Grid (WLCG)





# Hiérarchie des sites



## Tier0 (CERN+Budapest):

- Stockage des données brutes
- Première passe de reco
- Distribution des données

## Tier-1 (centres primaires):

- Stockage permanent
- Re-reco ds données

## Tier-2 (centres secondaires):

- Simulation des données
- Analyses finales (physiciens)

## En plus (end user analysis):

- Tier-3
- Clusters locaux

# Architecture de grille

## Le Middleware (intergiciel)

le **liant** : définit **la saveur de la grille**

- Pas d'authentification locale
- Abstraction des ressources
- EGI : *European Grid Infrastructure*
- OSG : *Open Science Grid*

## Les ressources

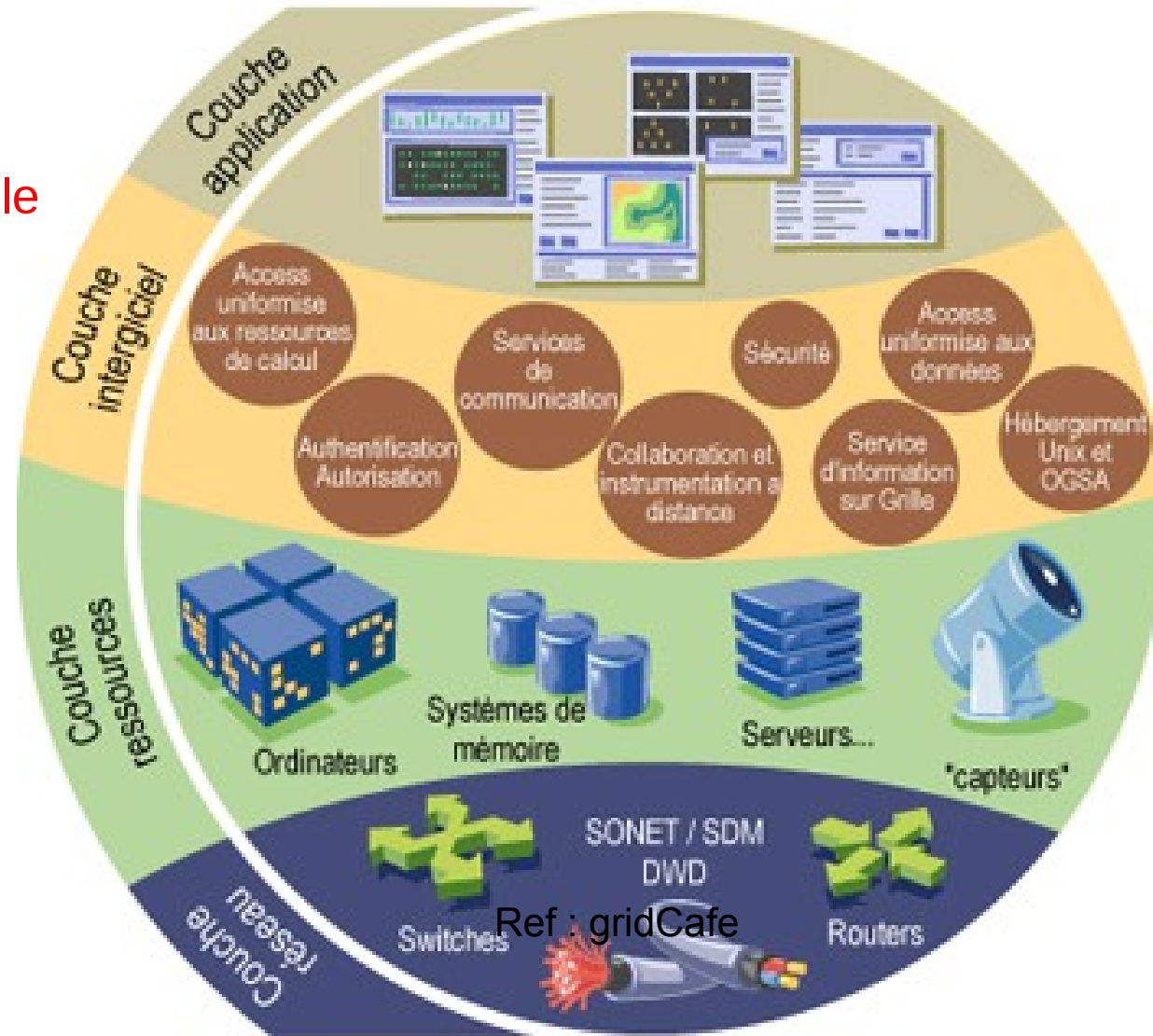
la partie **classique** d'un site

- Calcul & stockage

## Le réseau

la **moelle épinière**

- 1-10 Gb/s (soit 2 CD/s !)
- 100 Gb/s sur certaines lignes

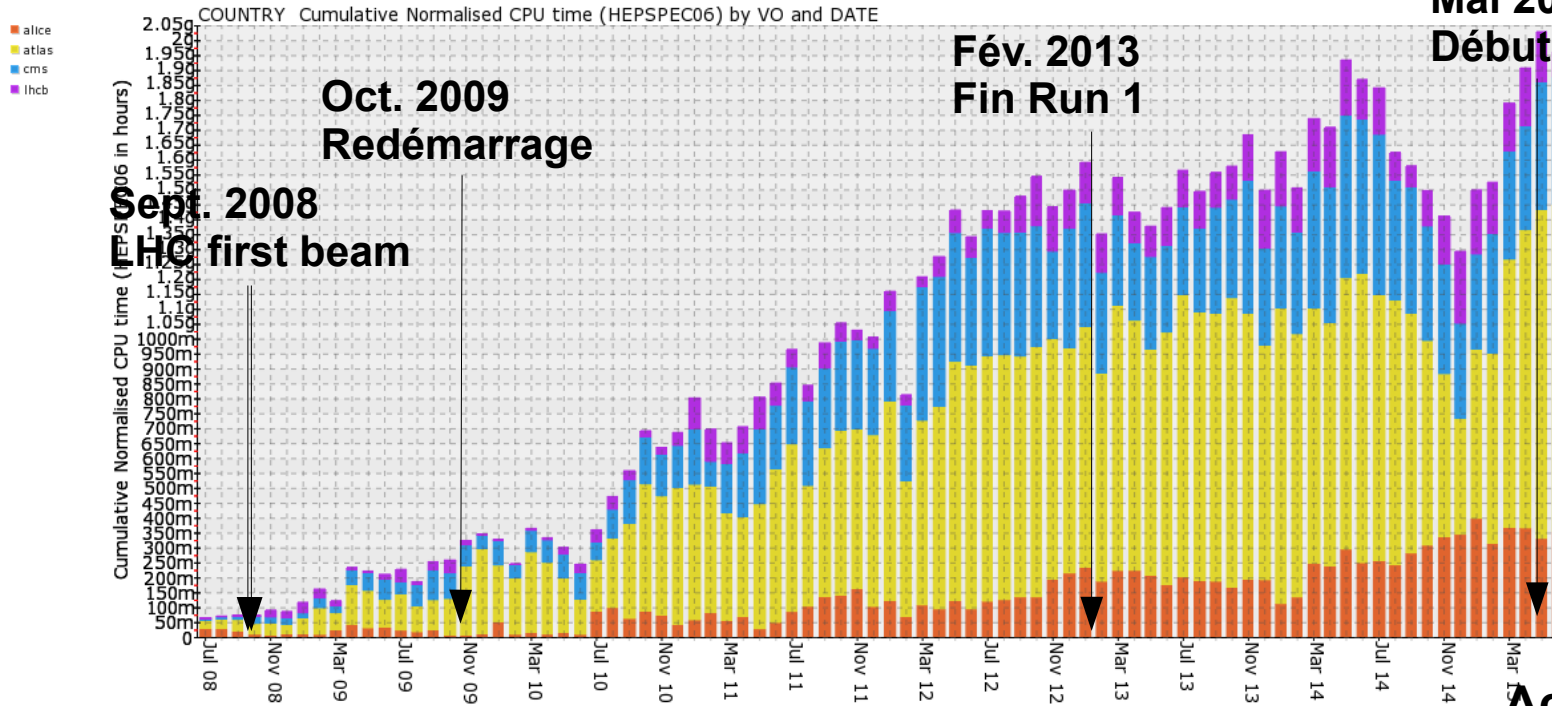




# Flash sur les activités de WLCG

Developed by CESGA EGI View: / nomcpu-HEPSPEC06 / 2008:7-2015:6 / VO-DATE / lhc (x) / ACCBAR-LIN / i

2015-07-19 07:27

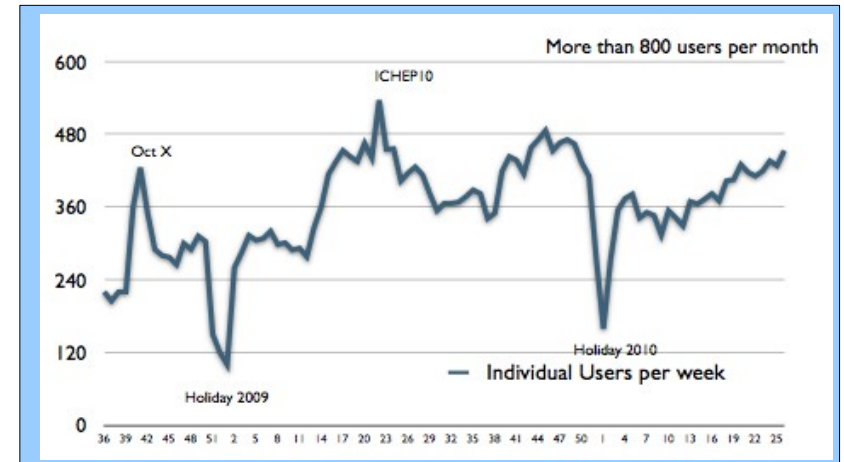
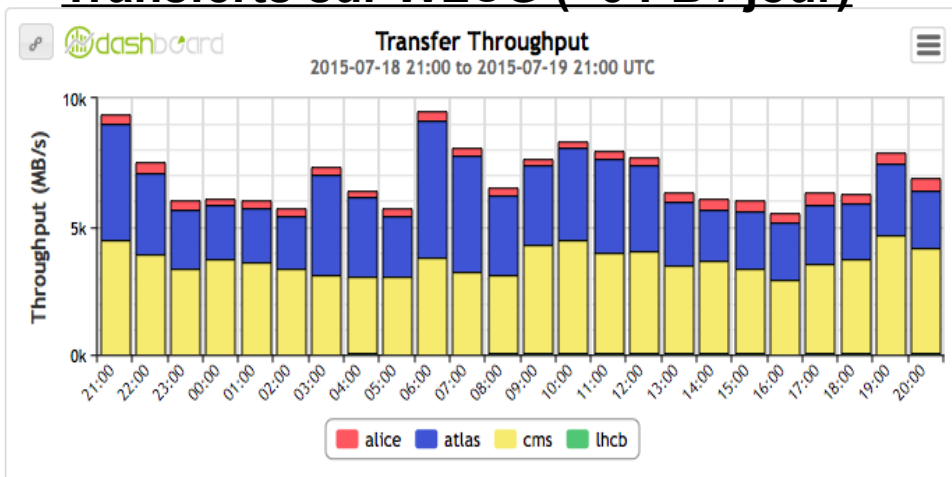


**CPU normalisé**

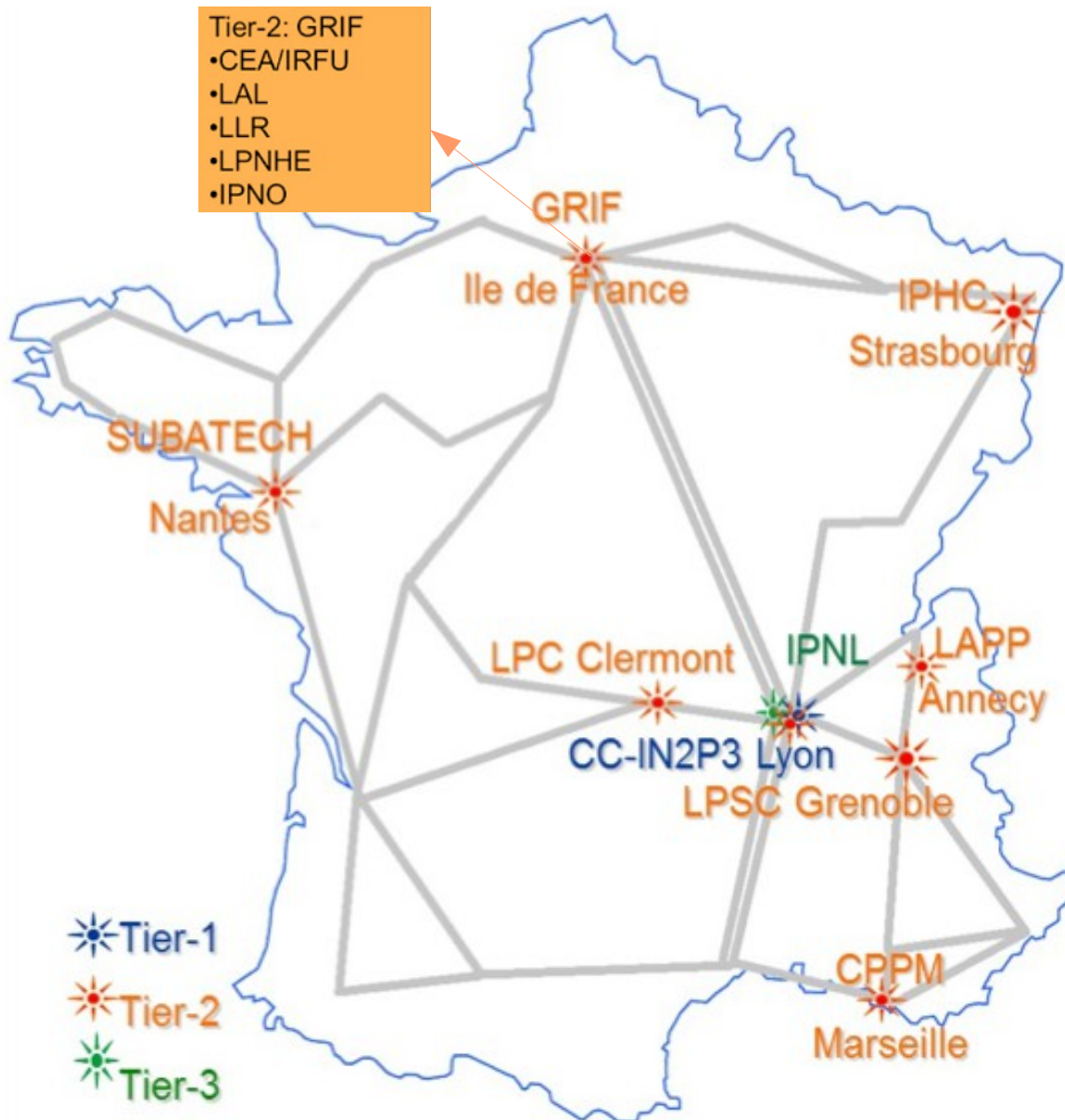
Ref : <http://accounting.egi.eu/>

**Activités d'analyse**  
Ce matin 50 k jobs ATLAS

## Transferts sur WLCG (~6 PB / jour)



# Sites WLCG en France



Role	Site	ALICE	ATLAS	CMS	LHCb
Tier-1	IN2P3-CC	✓	✓	✓	✓
Tier-2	IN2P3-CC-T2 (AF)		✓	✓	
	IN2P3-CPPM		✓		✓
	GRIF	✓	✓	✓	✓
	IN2P3-LPC	✓	✓		✓
	IN2P3-IPHC	✓		✓	
	IN2P3-LAPP		✓		✓
	IN2P3-LPSC	✓	✓		
	IN2P3-SUBATECH	✓			
Tier-3	IN2P3-IPNL	✓		✓	

Accords sites/CERN pour une haute disponibilité (>98% pour le T1, 7/24)

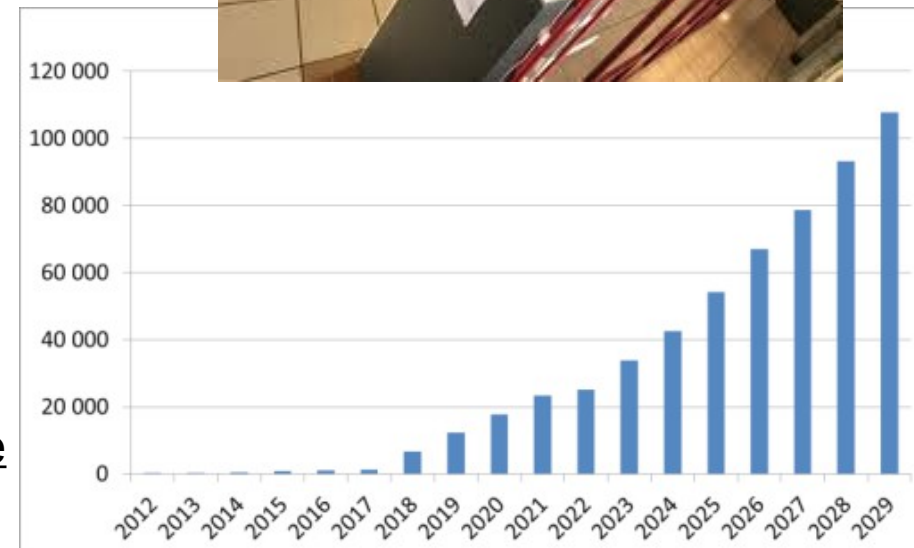
## Centre de Calcul de l'IN2P3, à Villeurbanne (Lyon)

- ~60 ingénieurs
- Site majeur des expériences LHC (4 fois T1 et T2)
- Seul site WLCG si complet dans le monde
- Ouvert à d'autres disciplines (sciences de la vie, ...)
- Assure ~10% des ressources de WLCG
- LHC ~ 2/3 du centre



## Ressources

- Flot de plus de 100 000 tâches / jour
- 40 PB de stockage (disque et bande)
- 2011 : extension de la salle machine

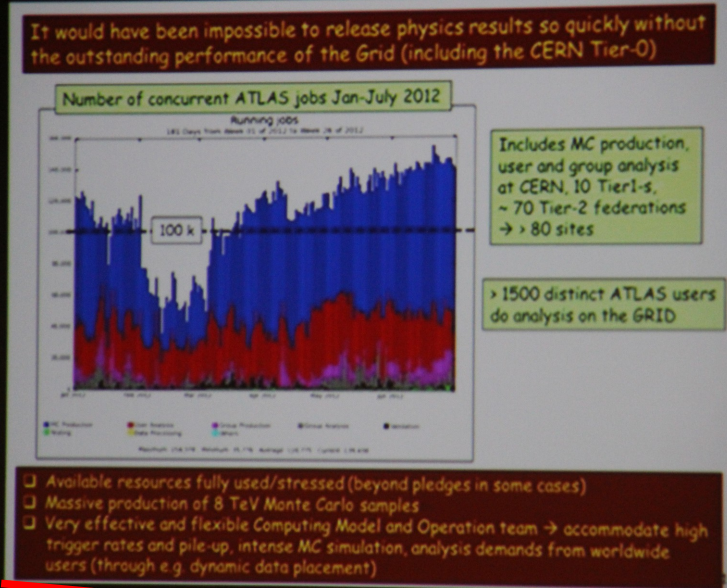


Estimation du nombre de coeurs physiques



# « Computing enables physics »

Photography: C. Biscarat



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



Running jobs: 236092  
Transfer rate: 11.41 GiB/sec



# Evolution

ographer  
/BKG  
NGA, GEBCO

# Et maintenant ?

## Derrière le succès de la grille

- Complexité importante
- Efforts humains importants



Notre expérience de la grille → simplification des opérations

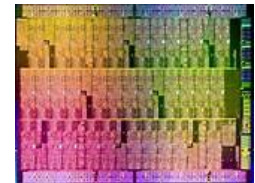
## Pendant que nous développons la grille

- D'autres disciplines traitent maintenant de grandes masses de données
- Apparition de protocoles/processus standards
- Naissance des technologies de « clouds »
- Evolution technologique vers de nouvelles architectures



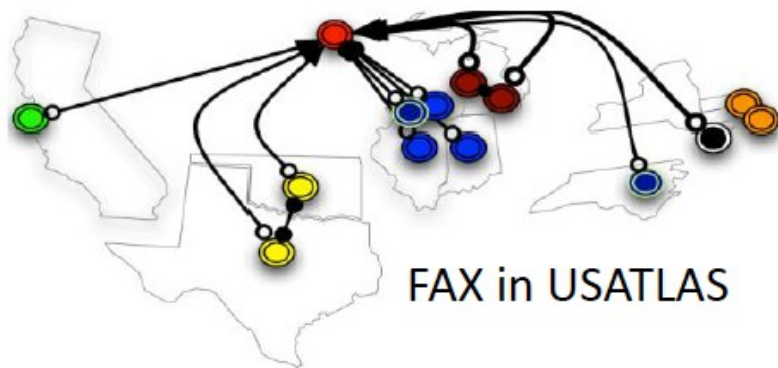
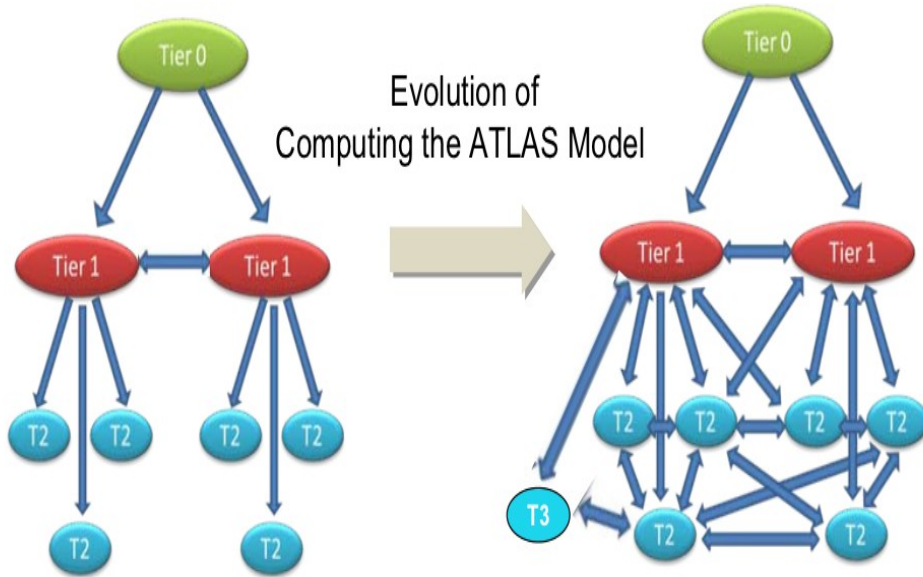
amazon

facebook

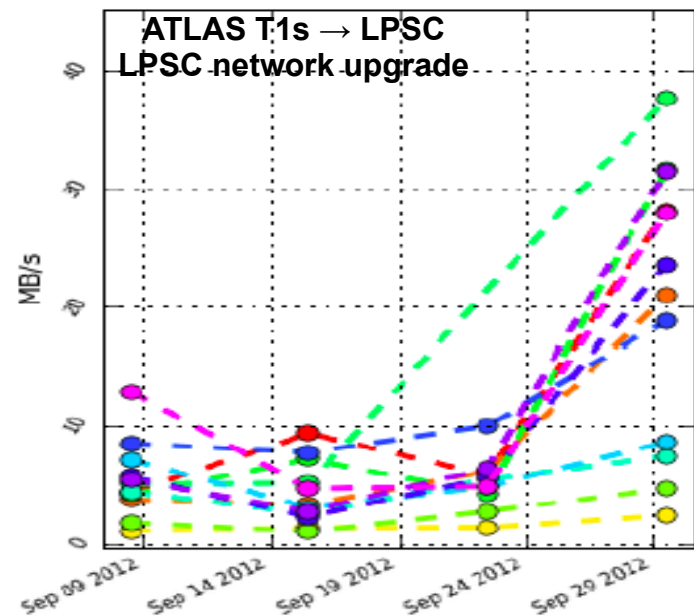


Nouvelles idées sur le marché → intégration dans le calcul pour le LHC

# Quelques évolutions

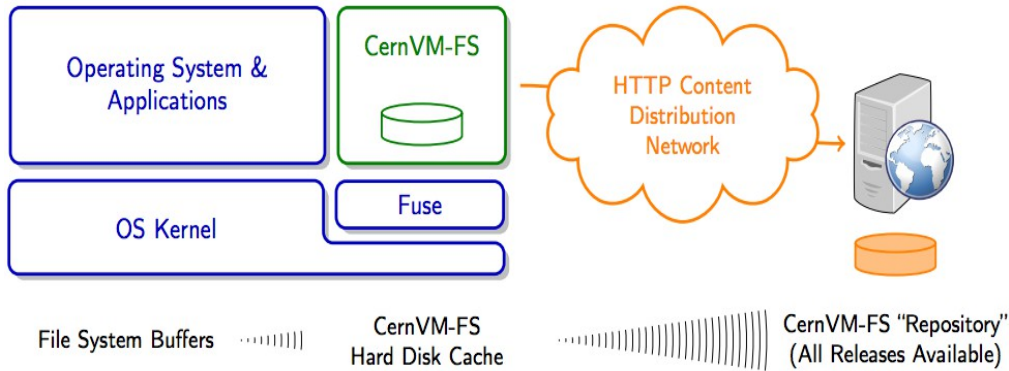


FTS transfer rates

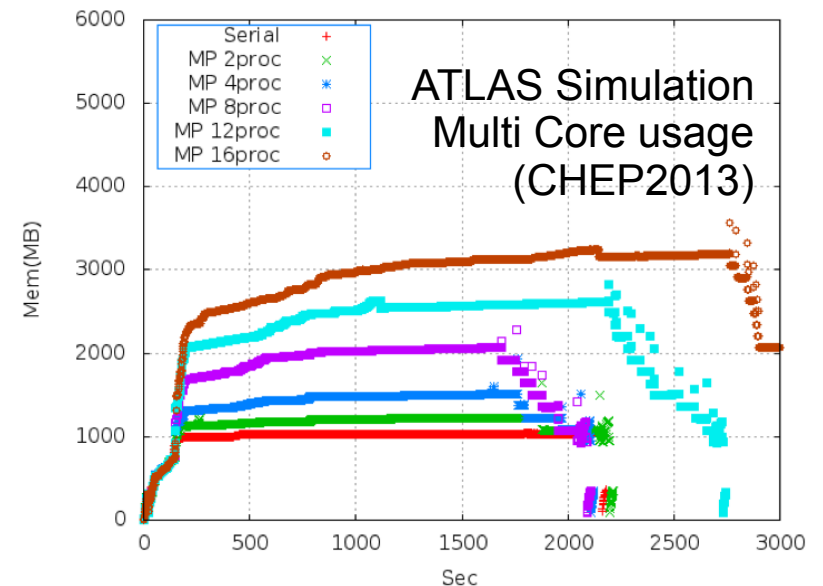
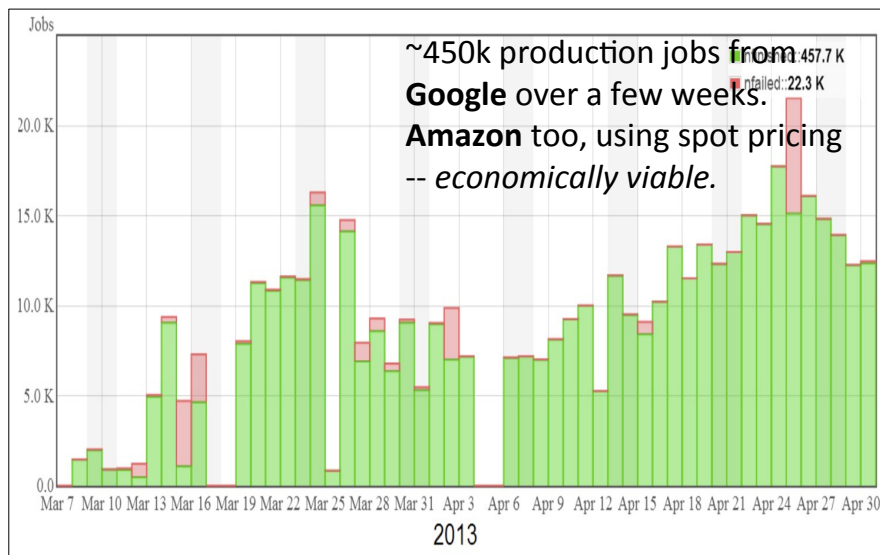




# Quelques évolutions



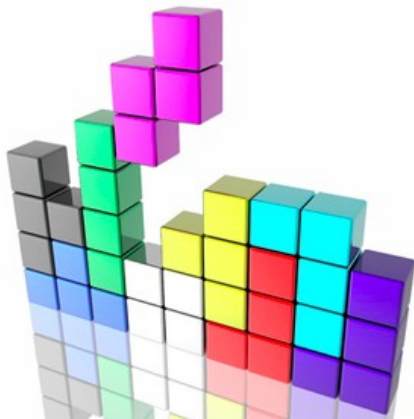
<http://atlasathome.cern.ch/>



# Un autre modèle que la grille

## Les super-calculateurs

- Un calcul doit être traité sur des centaines de cœurs à la fois
  - Communication extrêmement rapide entre les nœuds
  - Grande mémoire disponible
- QCD sur réseau, astroparticule, sismologie, mathématiques, chimie, méca. des fluides ...
- HPC (**High Performance Computing**)
  - Pyramide de Tiers-0/1/2 en France
  - Machine Curie : 92 000 cœurs, 15 PB de stockage



# Au-delà de la physique des particules

## Un modèle de calcul très particulier

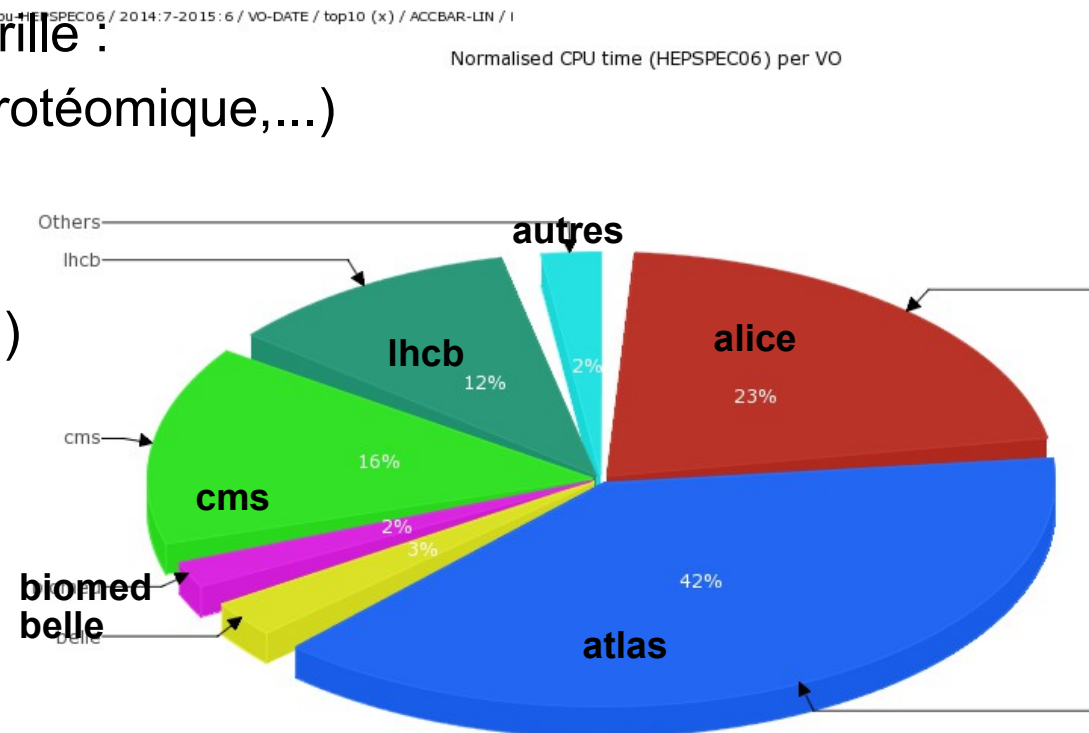
- ▶ Depuis toujours : de très nombreux petits événements indépendants
- ▶ La grille de calcul est idéale (**High Throughput Computing**)

## European Grid Infrastructure

- ▶ EGI (et ses ancêtres) ont contribué à la conception de la grille
  - ▶ European Middleware Initiative : déployé sur les sites WLCG européens
- ▶ Sciences hors LHC adaptées à la grille :
  - ▶ Sciences de la vie (génomique, protéomique,...)
  - ▶ Astrophysique (p.e. CTA)
  - ▶ ...
- ▶ “Tail of sciences” (Cloud Computing)

Temps CPU normalisé  
(12 derniers mois)

<https://accounting.egi.eu/>





Running jobs: 236092  
Transfer rate: 11.41 GiB/sec

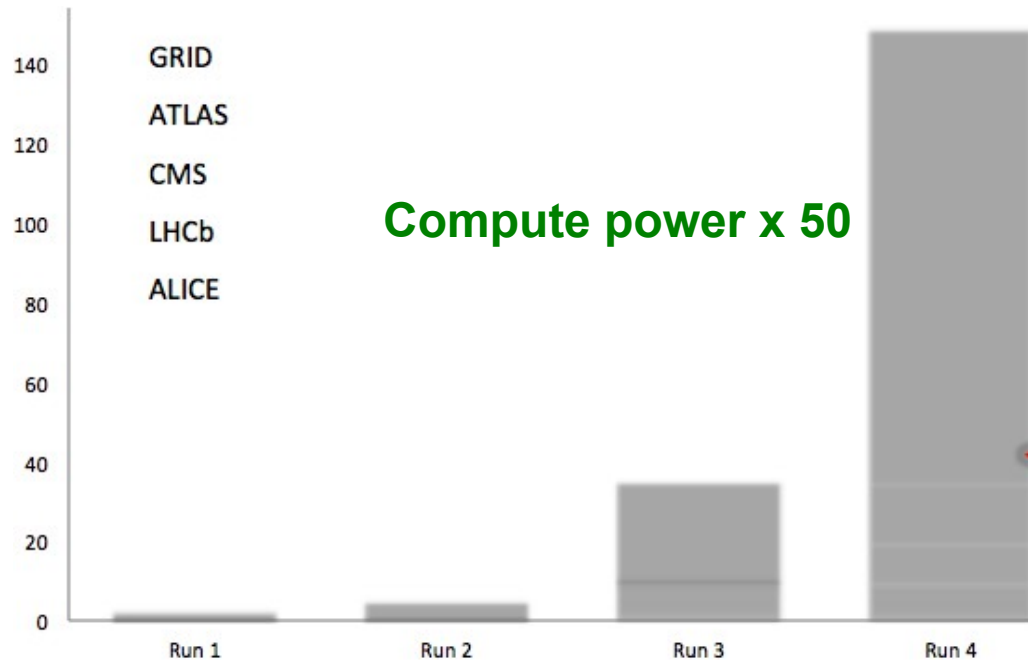
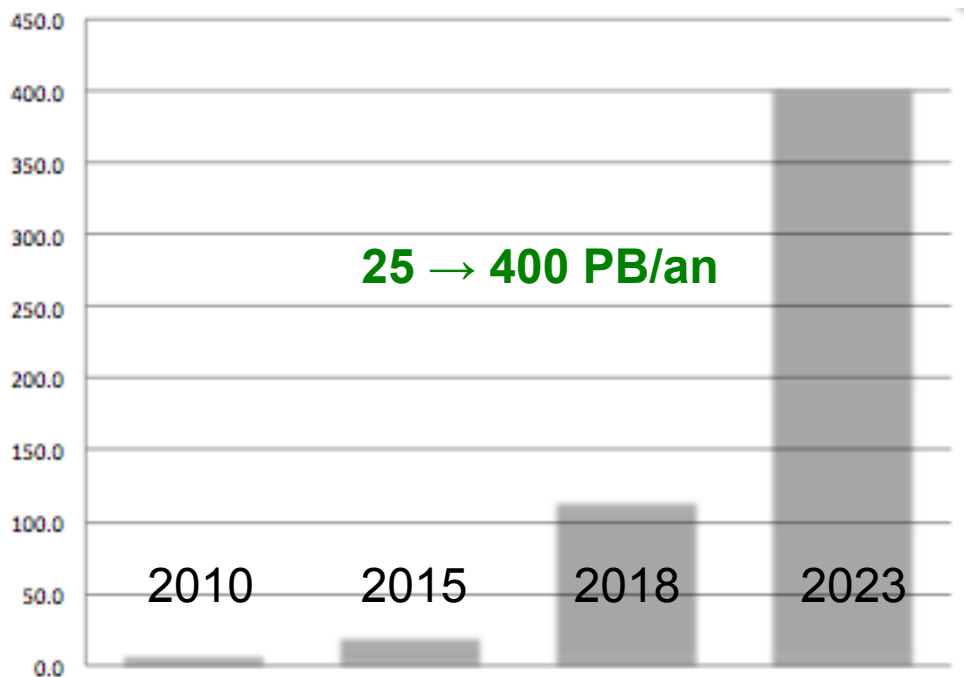
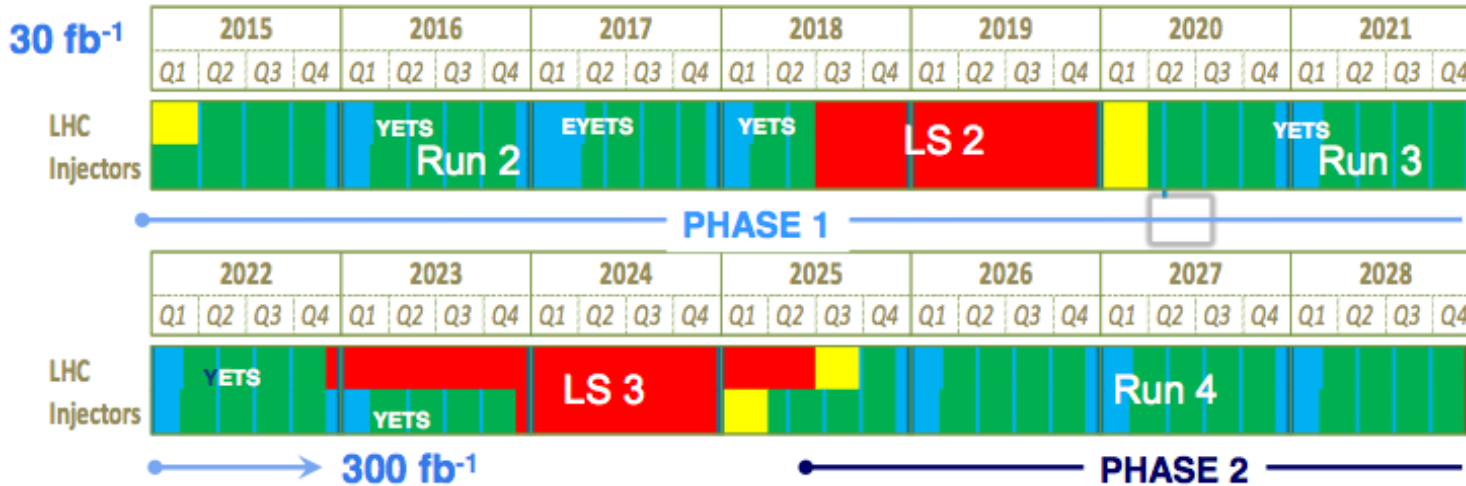


**Pour finir**

ographer  
/BKG  
NGA, GEBCO

# Et après ? Horizon à 10 ans

(Extended) Year End Technical Stop: (E)YETS



# Résumé – points forts

---

- Avec le LHC, **énorme 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, complexe (170 sites), adaptée aux besoins
- **« Computing enables physics »**
  - Les résultats sont là - toute **cette chaîne est performante !**
  - **Découverte du Higgs annoncée il y a deux ans**
  - Richesse d'autres résultats de physique
- **Retombées** : techniques de grille utiles pour d'autres disciplines et le public
  - **Impact dans la qualité de vie (médecine, ...)**
- **La grille évolue, et, pour préparer l'avenir du LHC, nous avons encore de beaux challenges devant nous !**