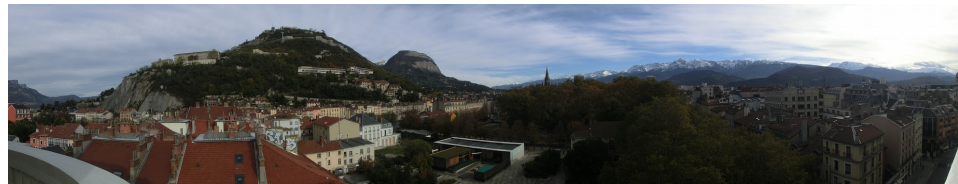


Enregistrer et analyser pour découvrir

Catherine Biscarat
biscarat@lpsc.in2p3.fr

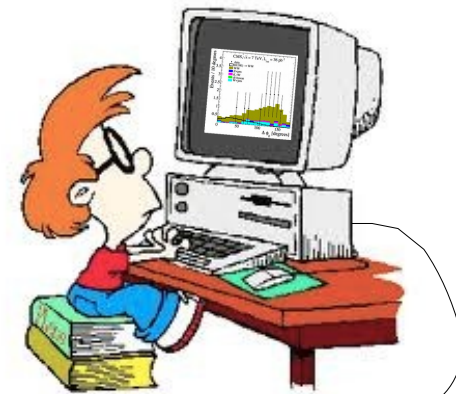
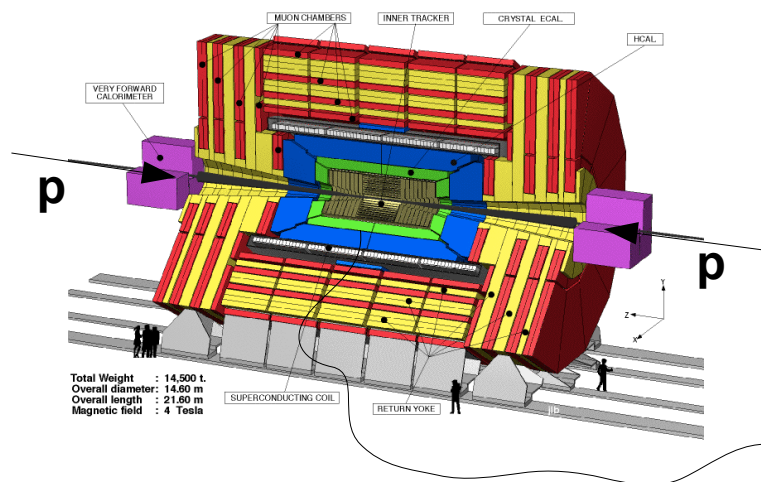
Laboratoire de Physique Subatomique et de Cosmologie de Grenoble



Rencontres de physique de l'infiniment grand à l'infiniment petit,
le lundi 21 juillet 2014

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

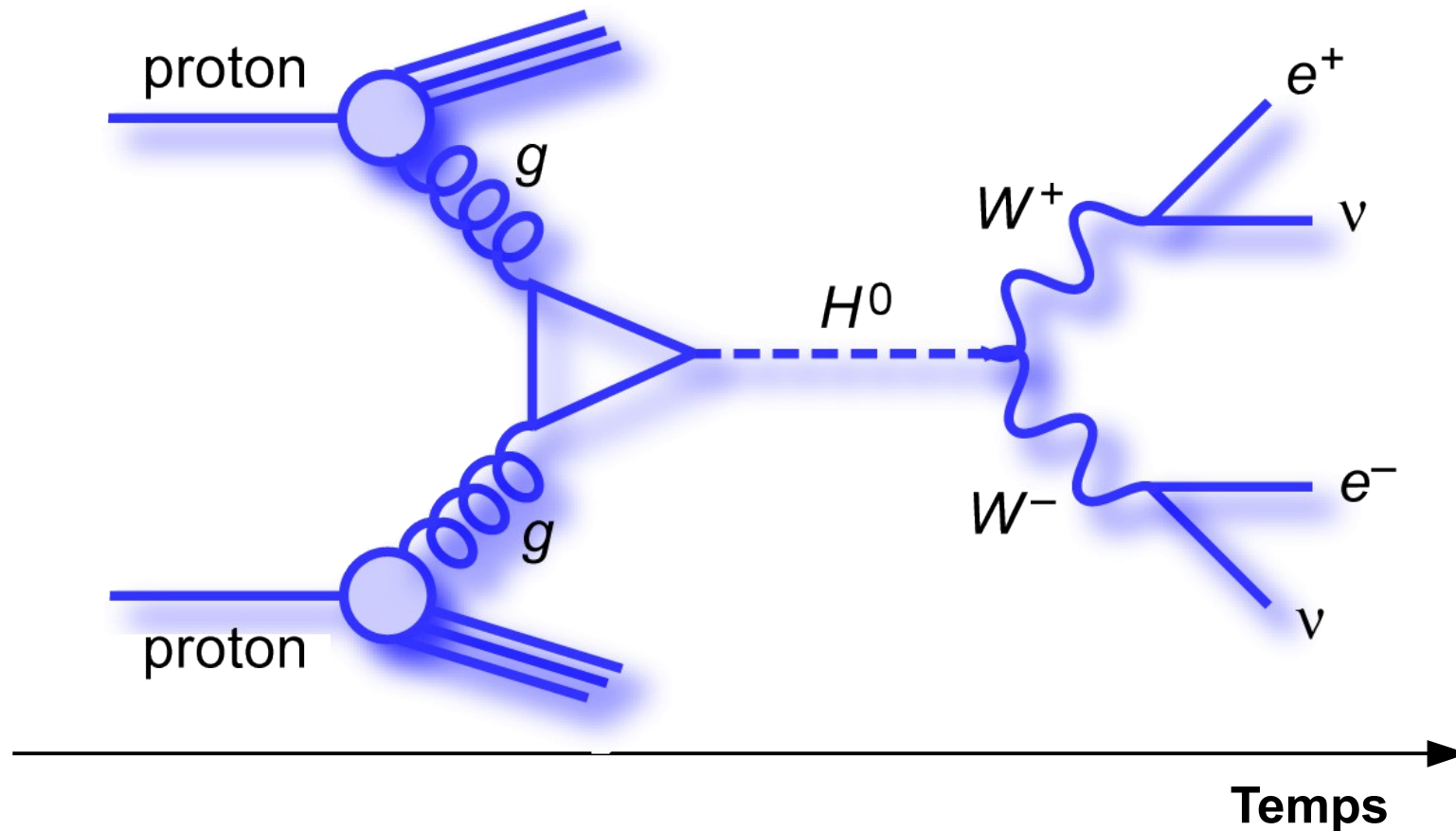
- Depuis 2011 : ingénieur en informatique à l'IN2P3, un des instituts du CNRS

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



Comment chercher le Higgs ?

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



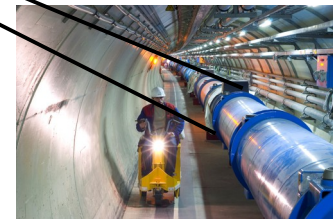
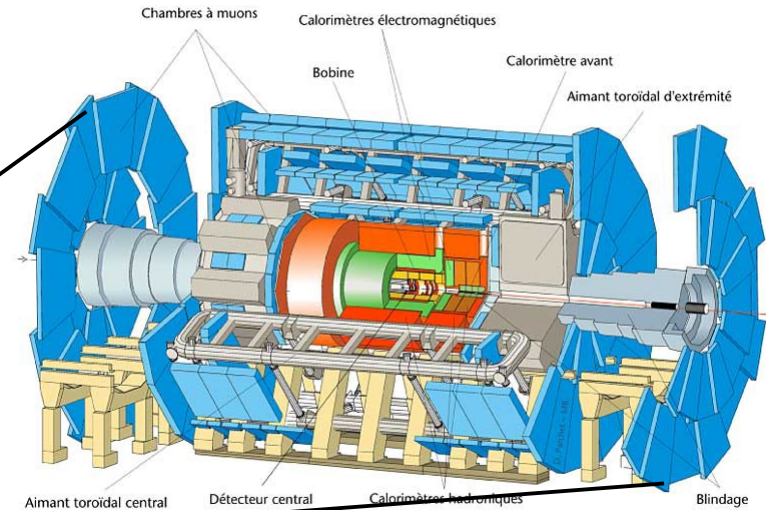
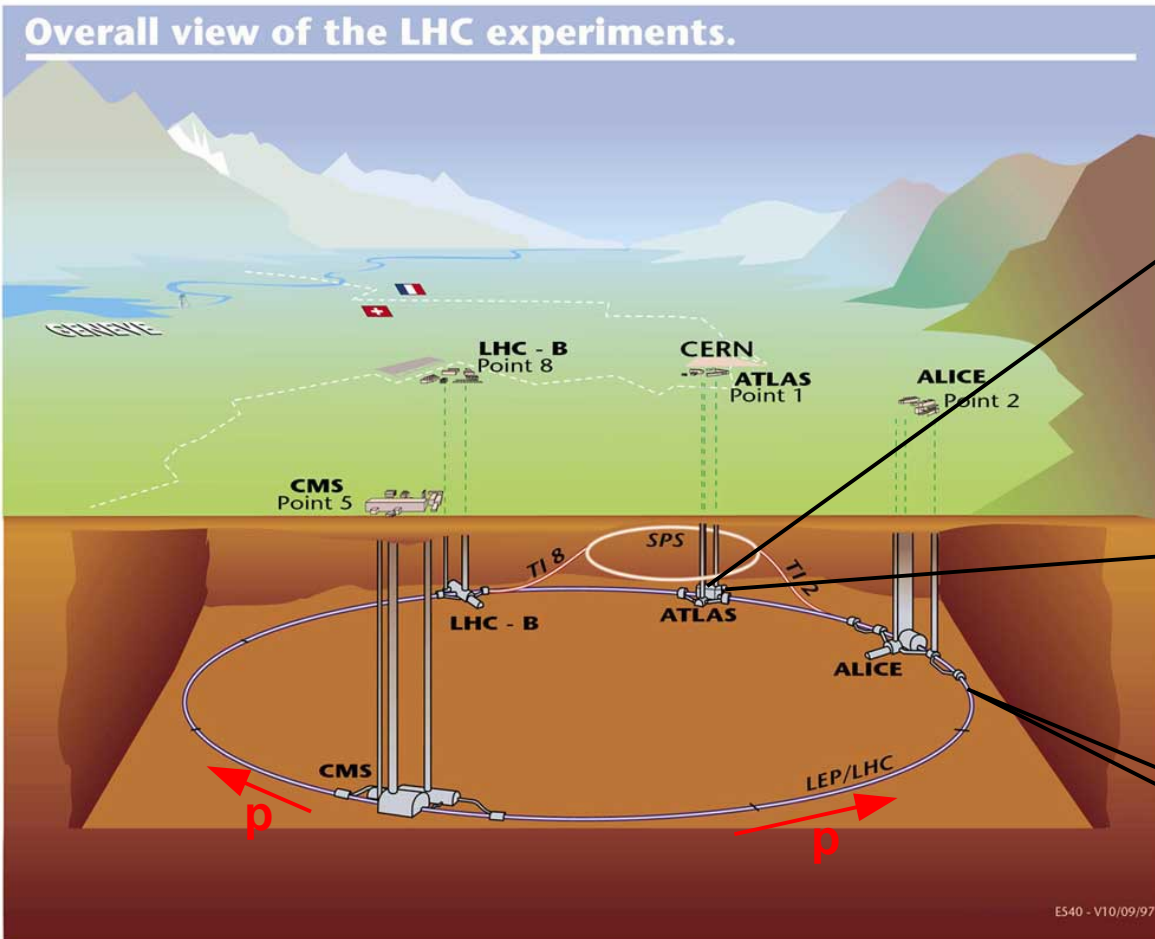
deux protons
entrent en collision

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 , ν) atteignent
le détecteur

L'appareillage en pratique



Taux de production des événements

LHC

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

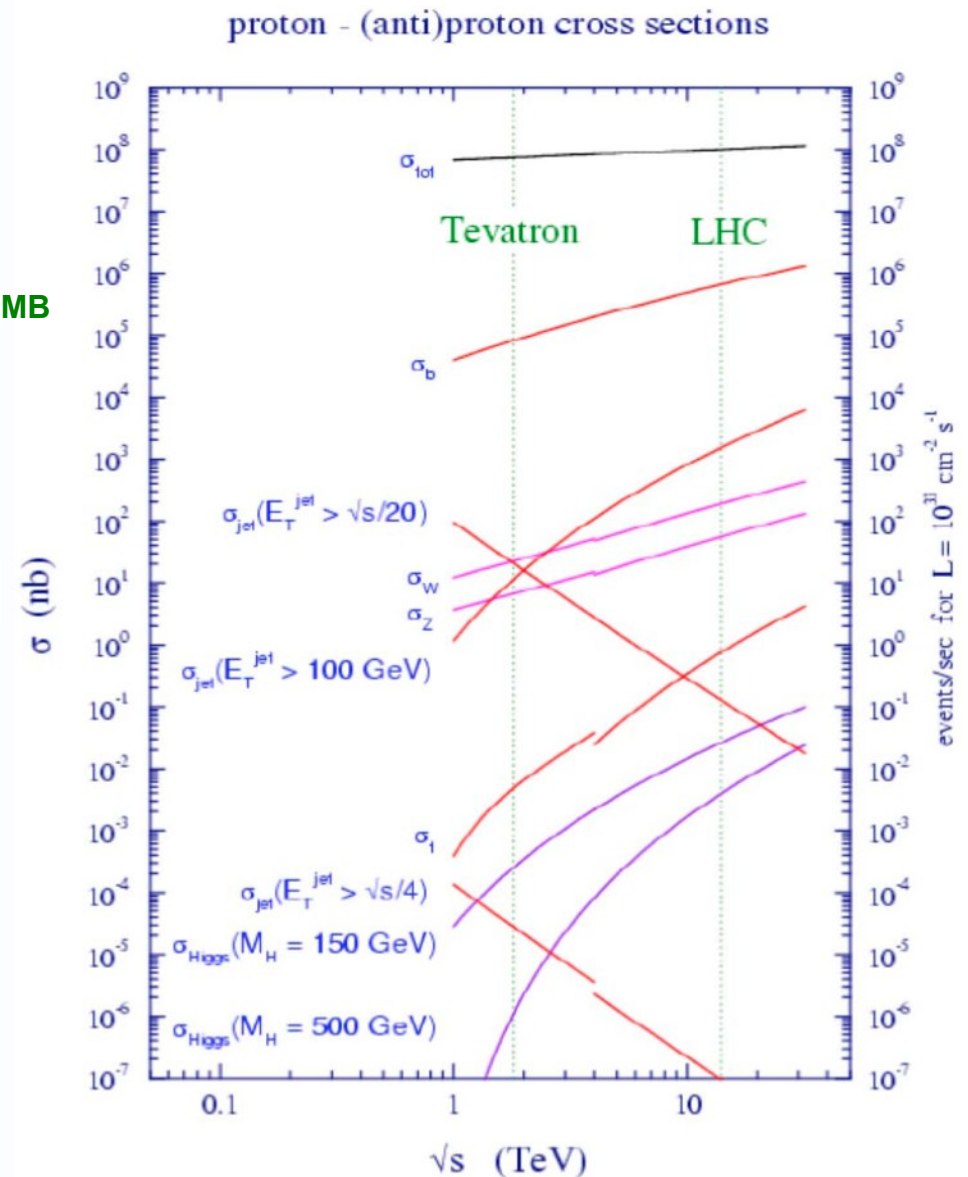
1 CD = 650 MB

- 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

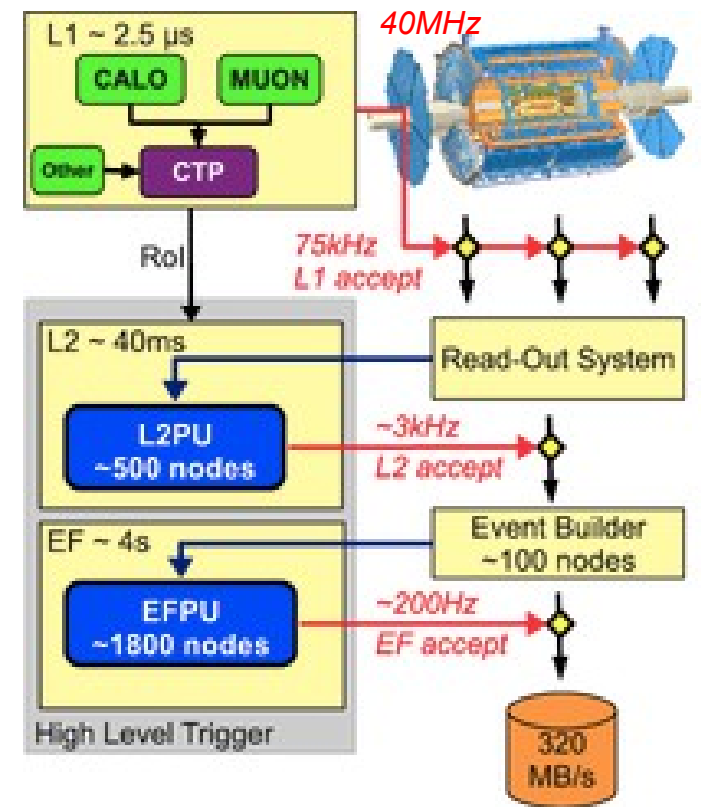
- Circuits électroniques dédiés (FPGA)
- Calorimètres et détecteurs de muons (une partie seulement de l'information)

Niveau 2

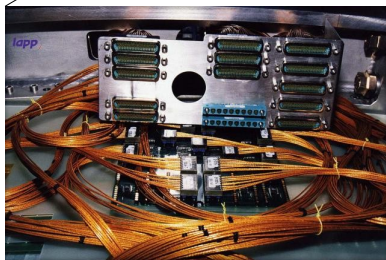
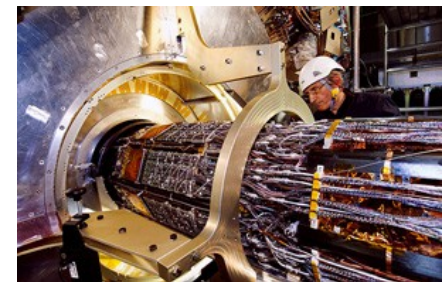
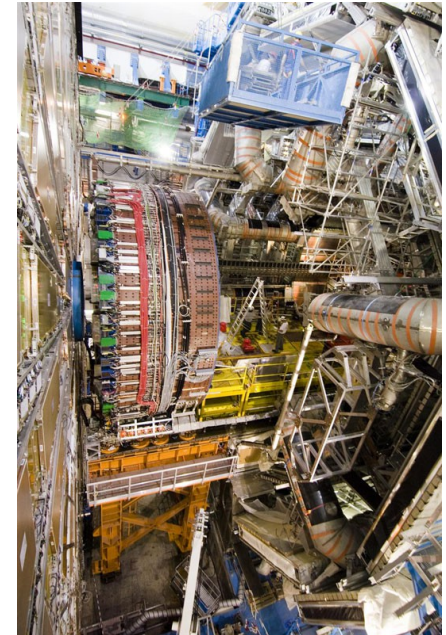
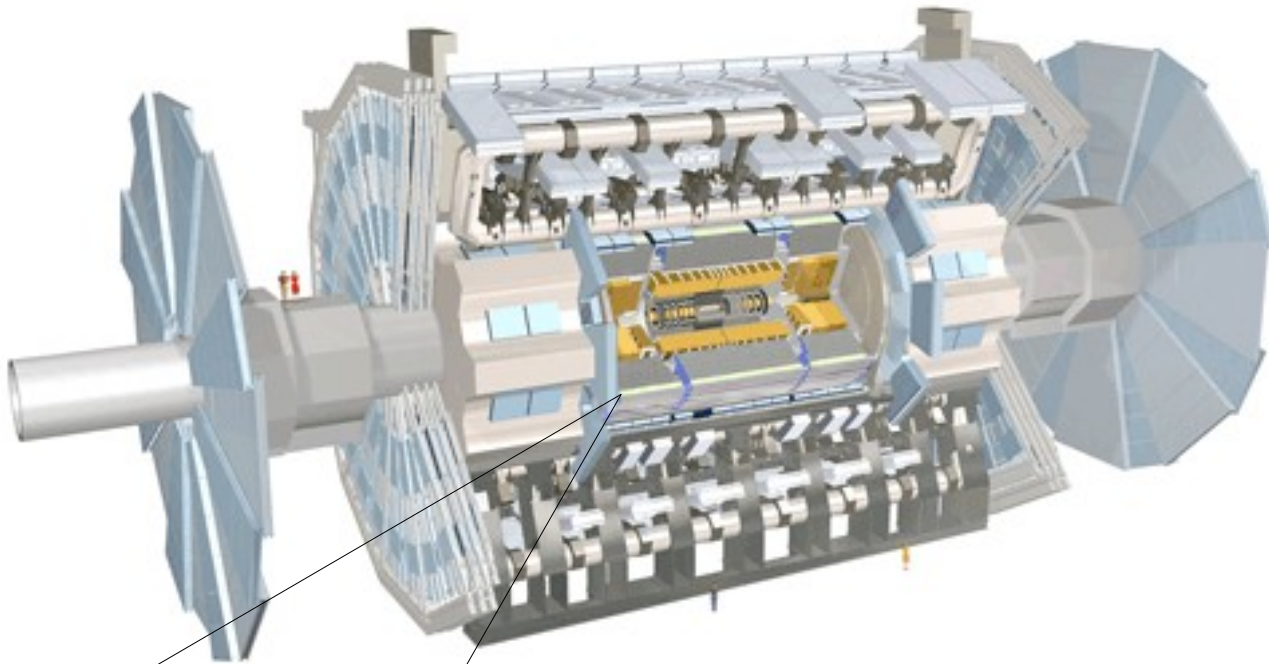
- Événement complet dans régions d'intérêt identifiées au niveau 1
- Algorithmes spécialement rapides

Niveau 3

- Événement complet
- Algorithmes raffinés, de type “analyse”



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
```

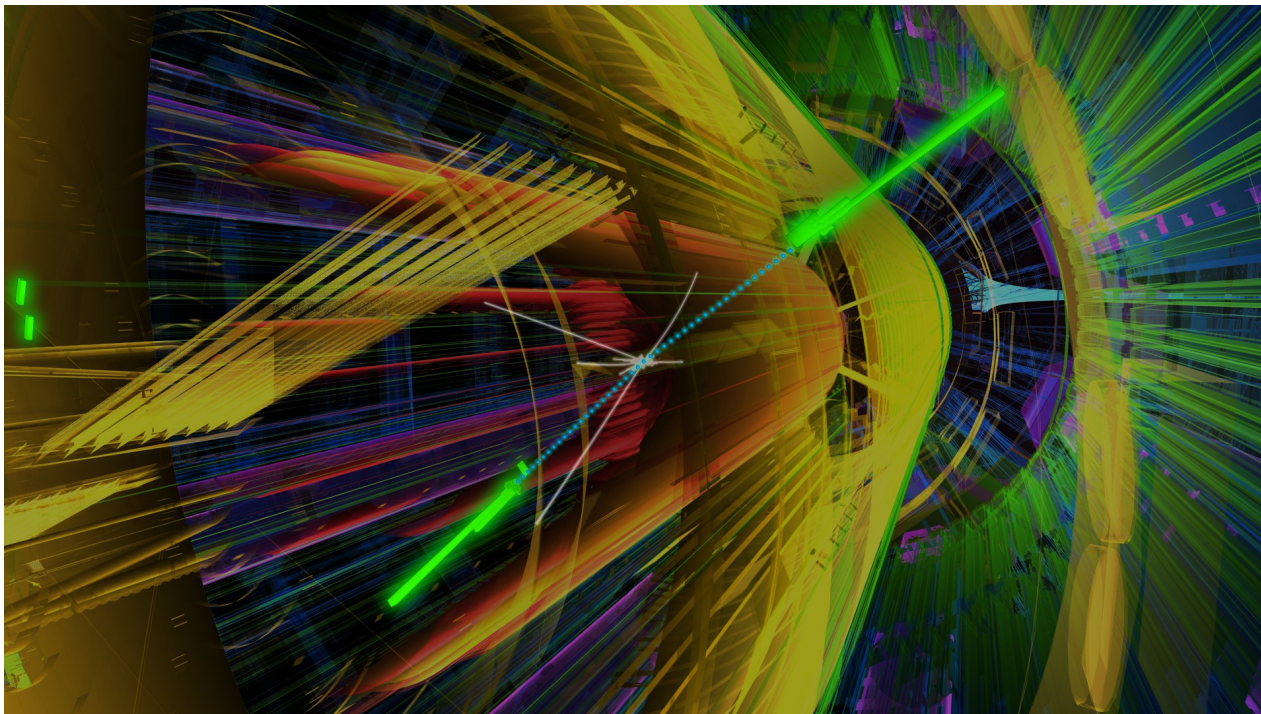
Pixels → oui/non
Calo → tensions en "Volt"

Stockées sur bandes
magnétiques au CERN



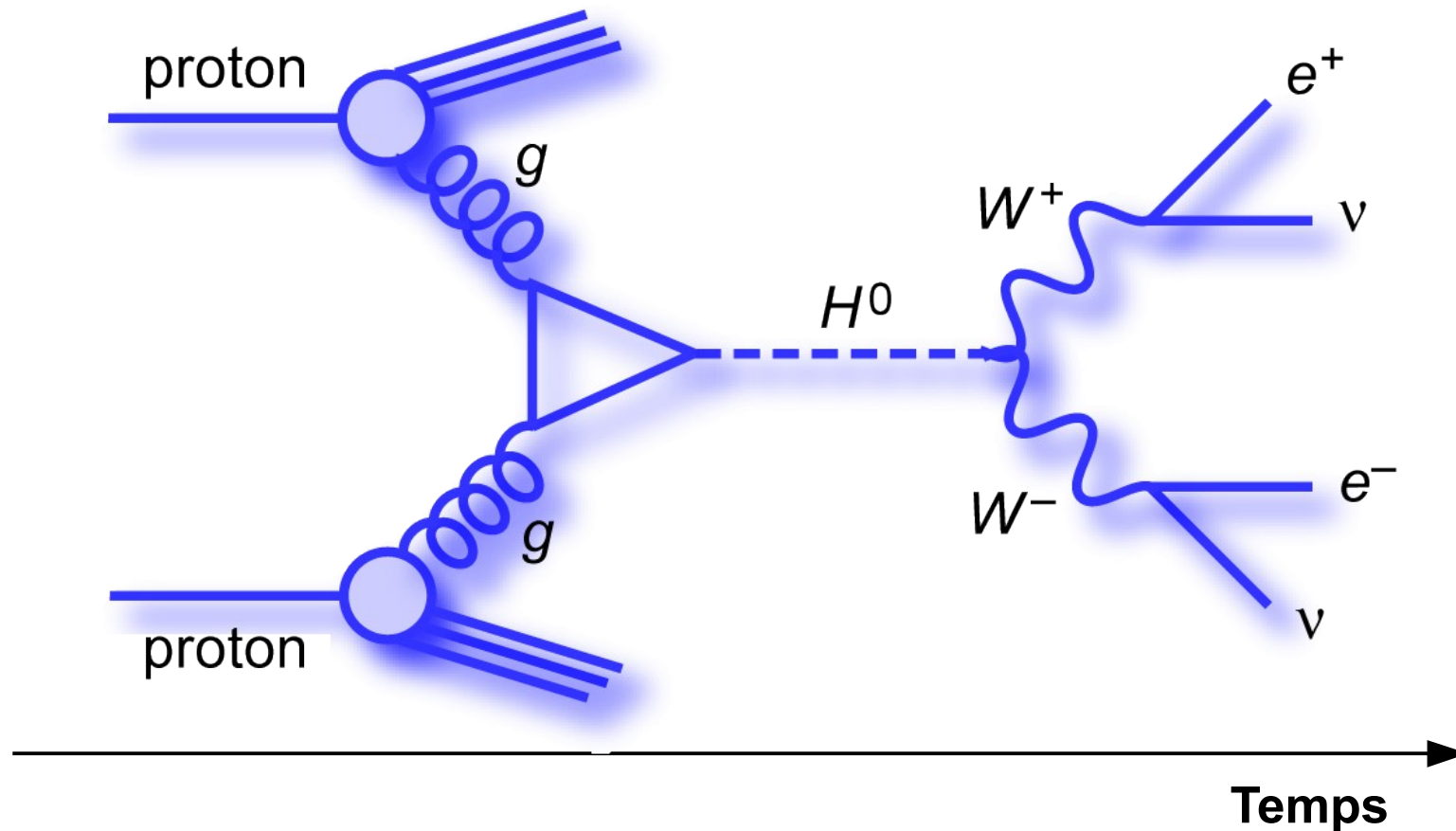
Les « événements »

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



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)

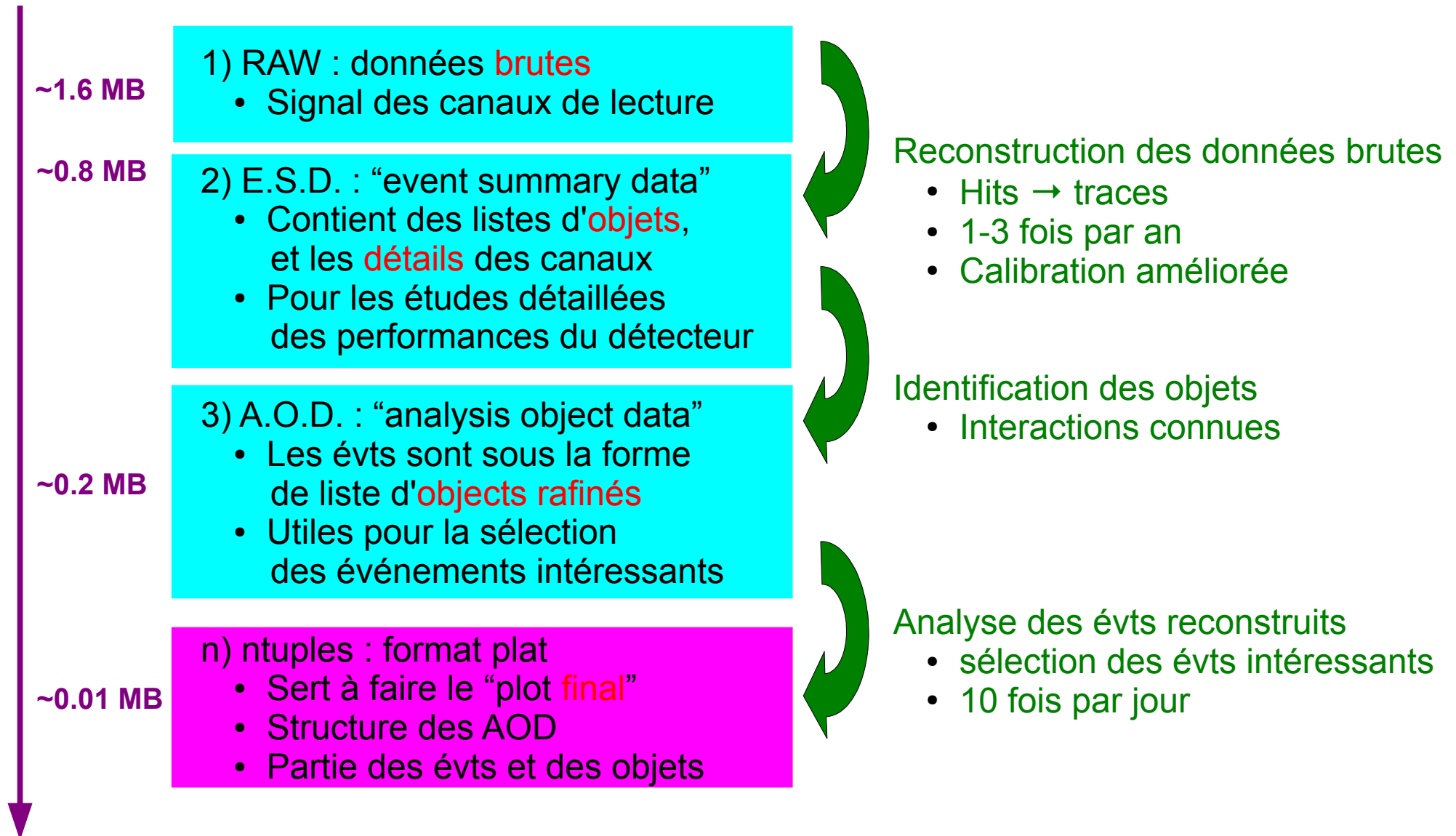
les particules
stables dans
l'état final
(ici e , ν) atteignent
le détecteur

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

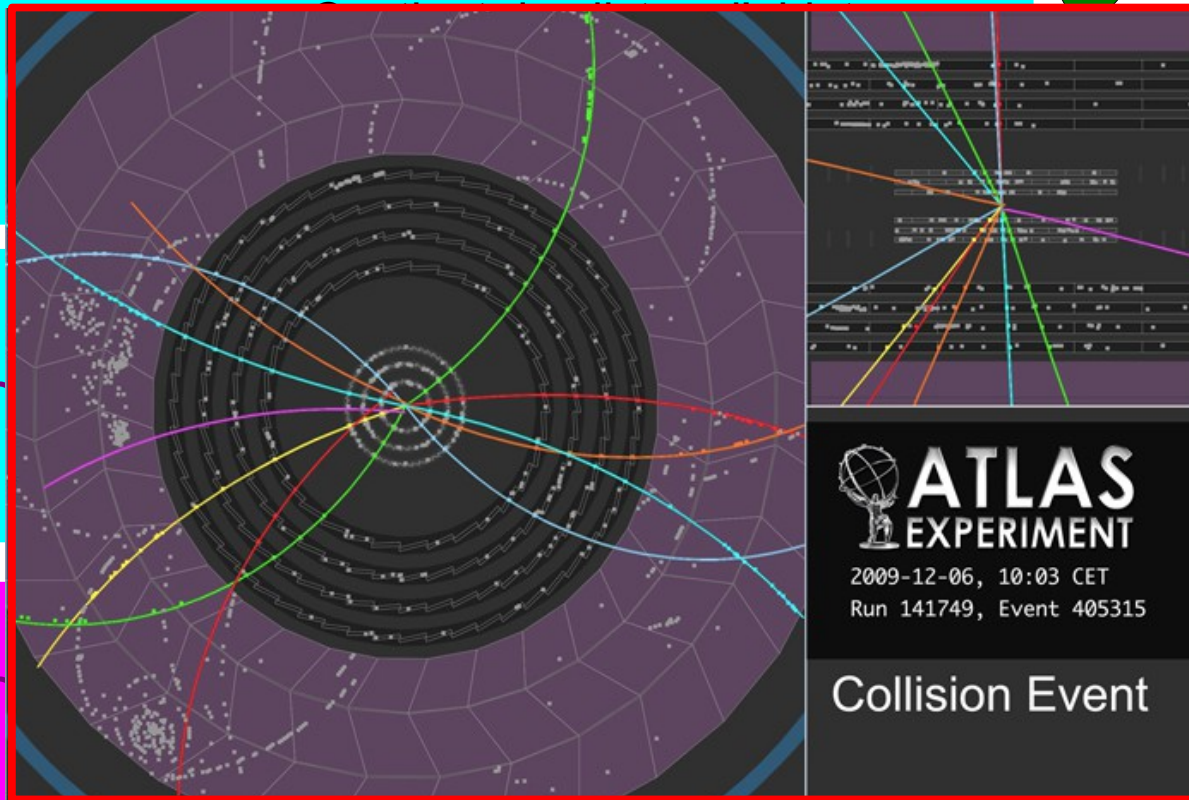
- 1) RAW : données brutes
 - Signal des canaux de lecture

~0.8 MB

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

Reconstruction des données brutes

- Hits → traces



Identification des objets

- Interactions connues

Analyse des évtS reconstruits

- sélection des évtS intéressants

<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

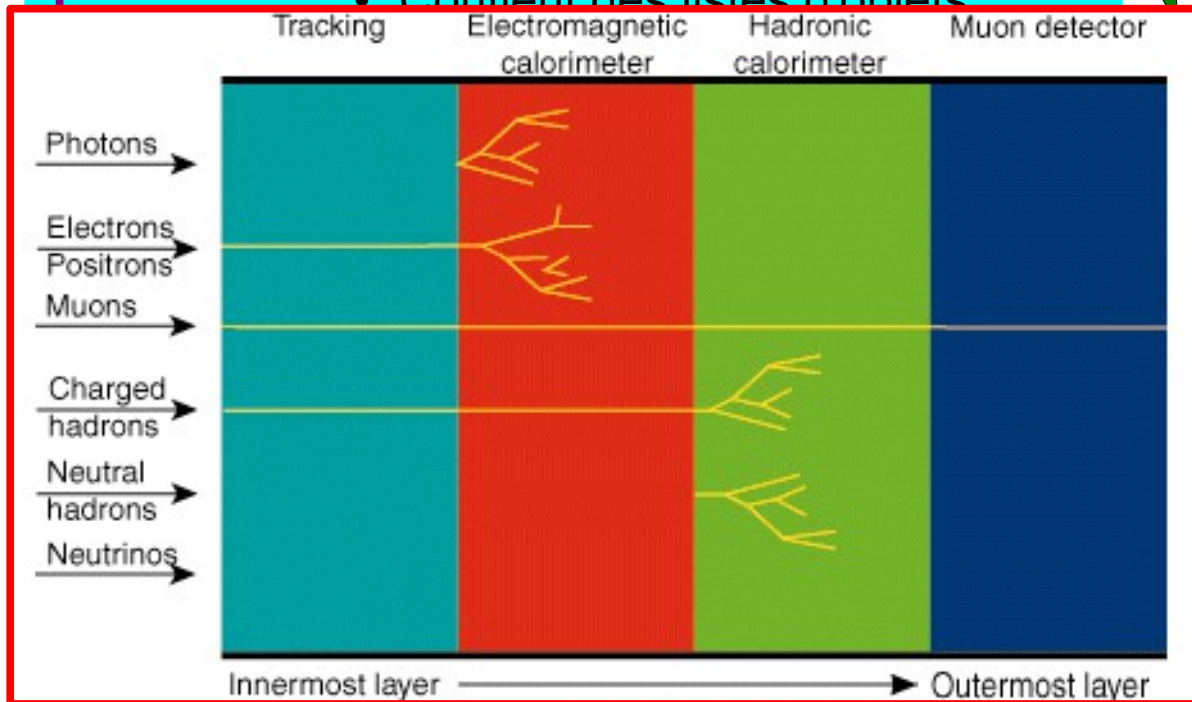
~0.8 MB

- 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



- Partie des évts et des objets

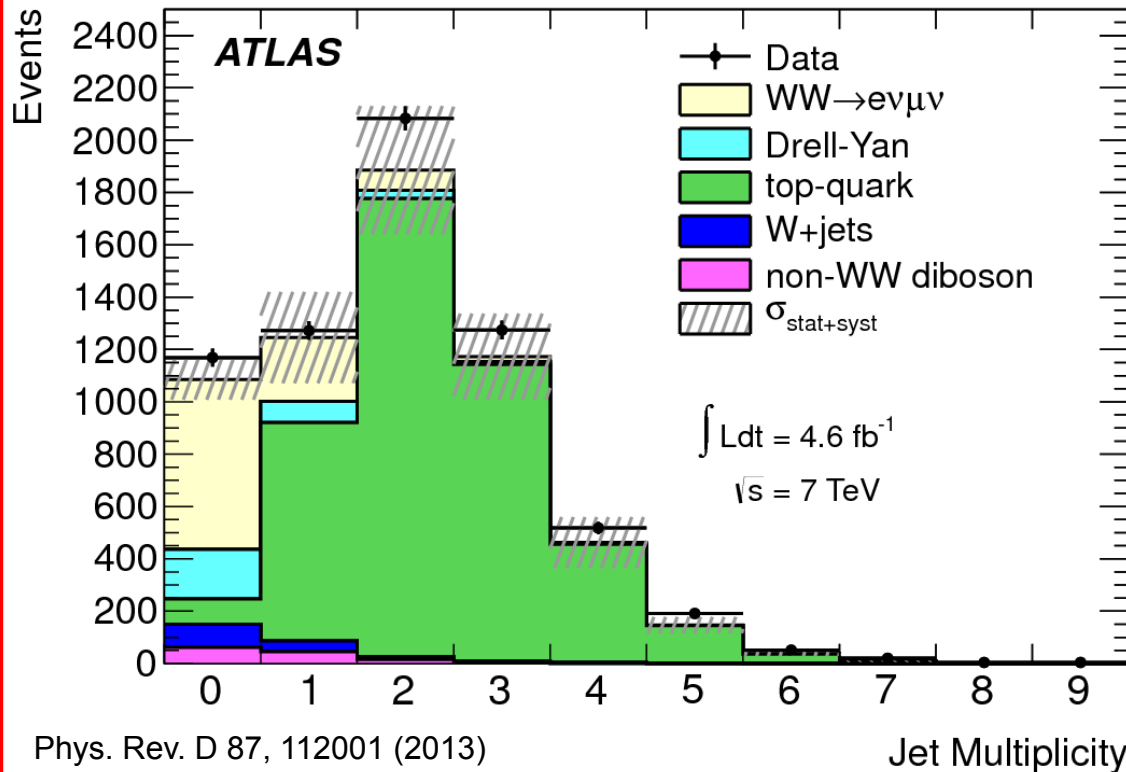
Vers l'analyse des données

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 évt reconstruits

- sélection des évt intéressants

~0.01 MB

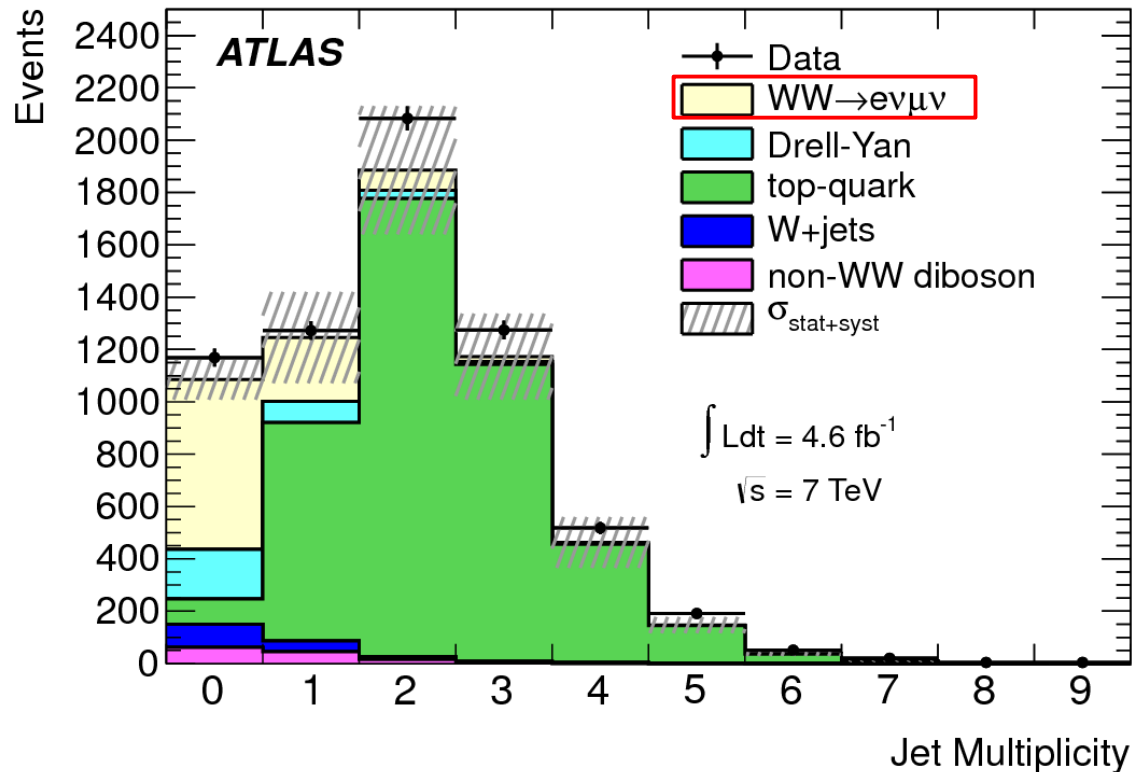
- Sert à faire le "plot final"
- Structure des AOD
- Partie des évt et des objets

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)



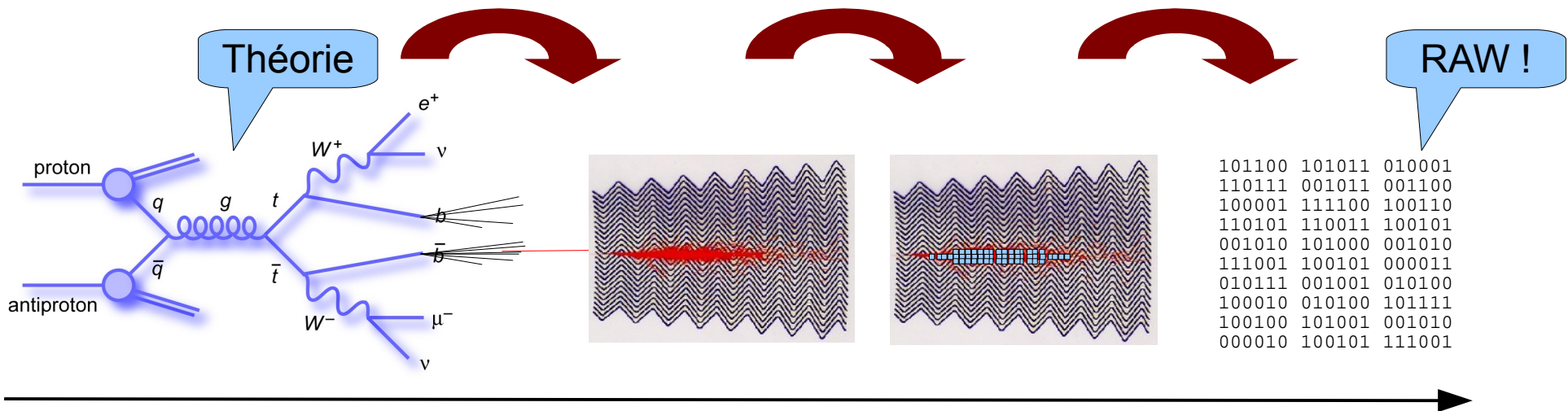
Exploitation d'une expérience : impossible sans simulation !!

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

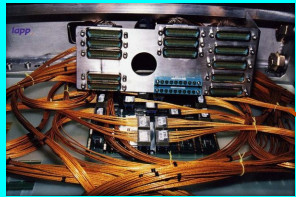


En résumé

Traitement centralisé

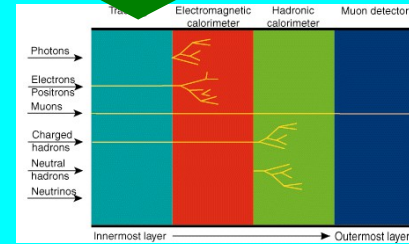
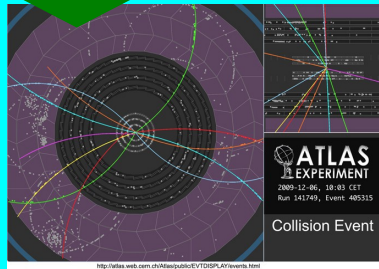
Reconstruction
des données brutes

Identification des objets
et sélection d'état final



```

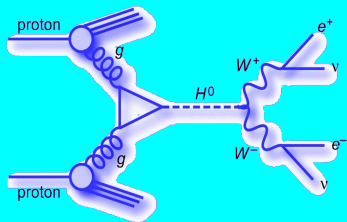
101100 010001
110111 001100
111100 100110
110101 110011
001010 001010
100101 000011
010111 010100
    
```



groupe/individu

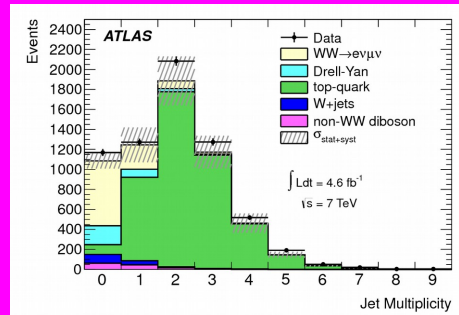
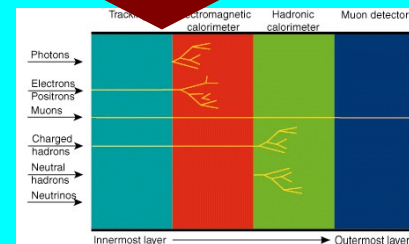
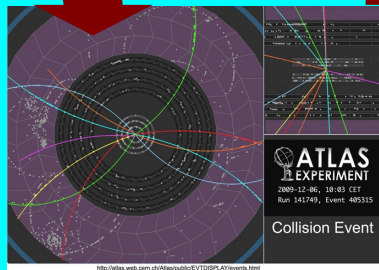
Analyse finale
(n fois / jour)

Simulation des événements

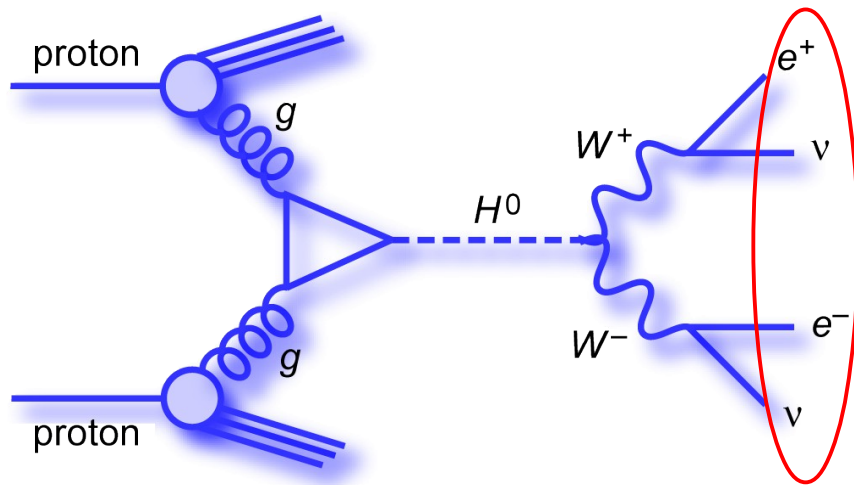


```

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



Recherche d'un processus rare

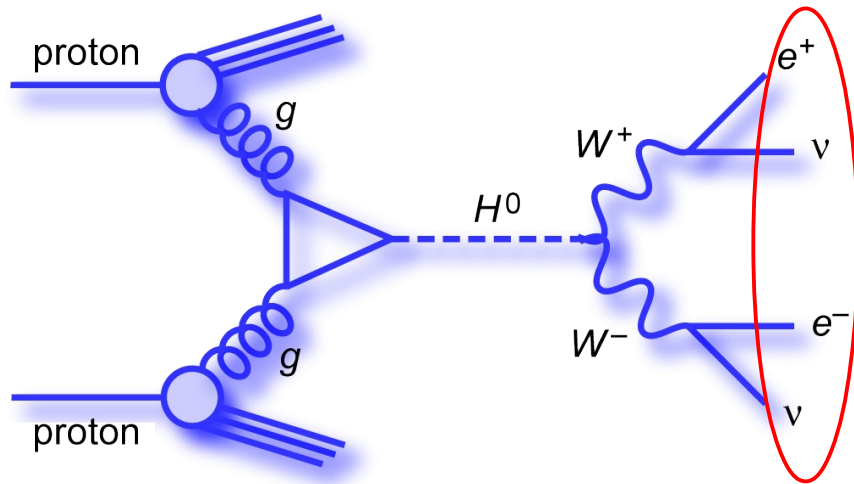


Nous avons déjà discuté cette chaîne de réaction.

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

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

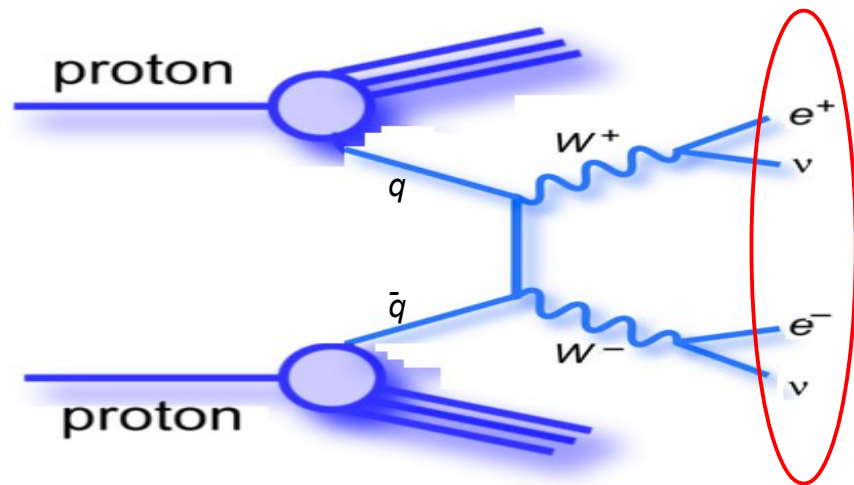
Recherche d'un processus rare



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.

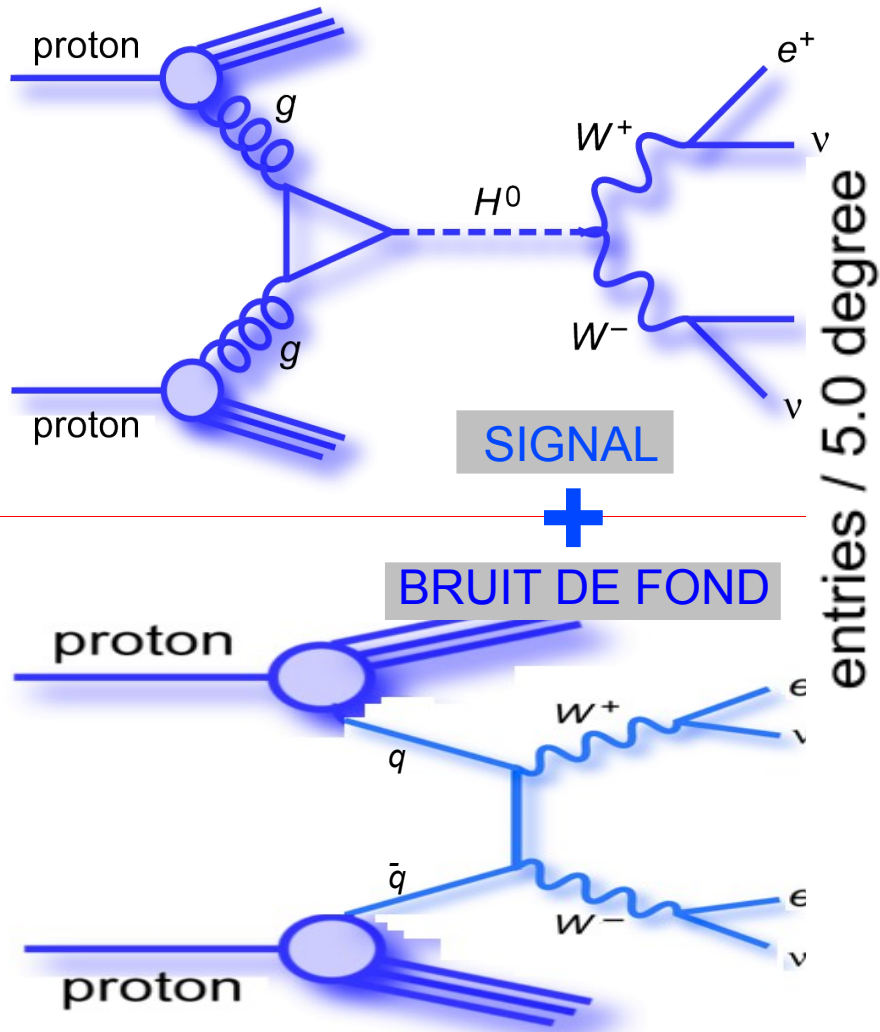


Malheureusement il existe d'autres chaînes qui donnent le même état final – et qui sont possibles même si le Higgs n'existait pas !!

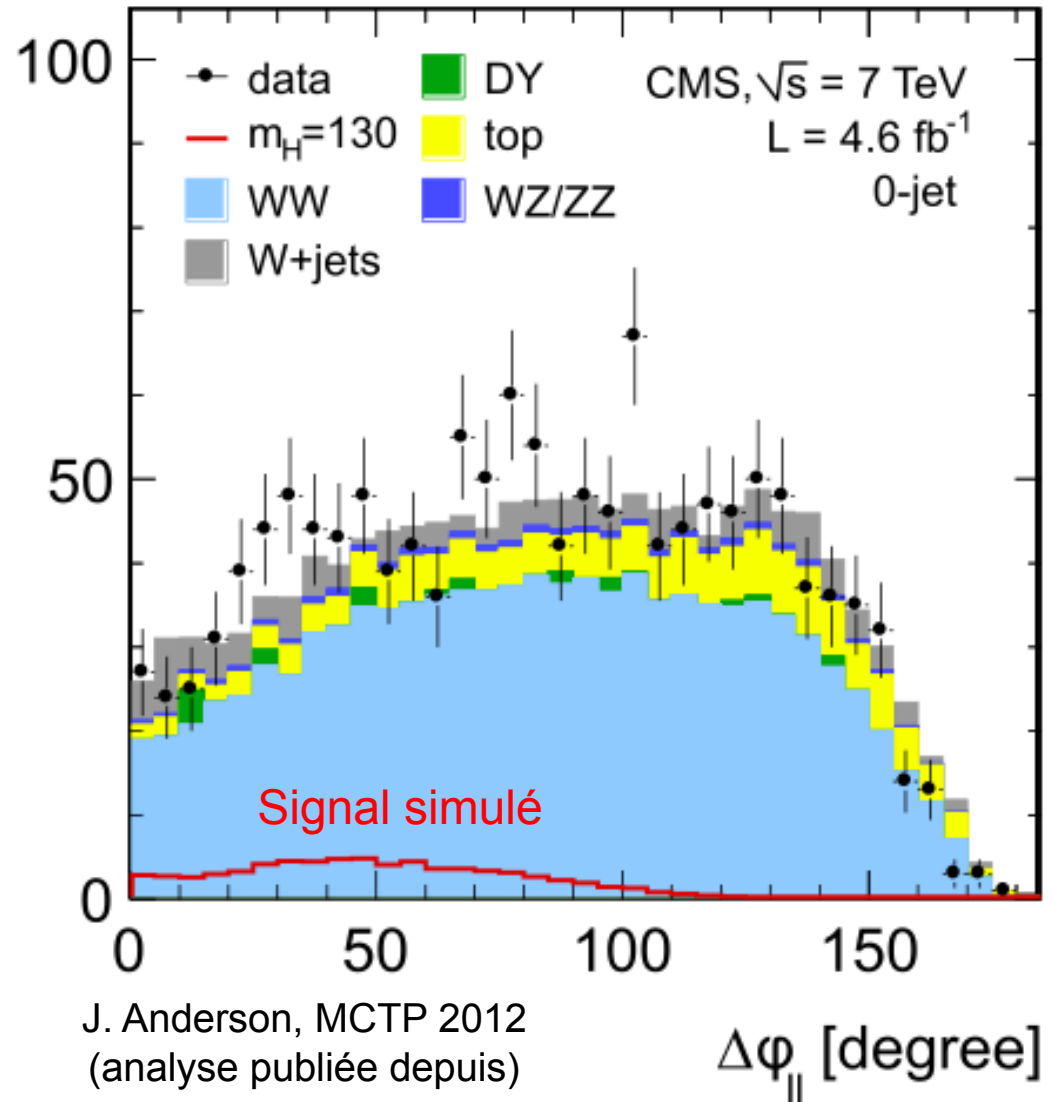
Pour la recherche du Higgs elles constituent **“un bruit de fond”**.

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

“Signal” et “bruit de fond”

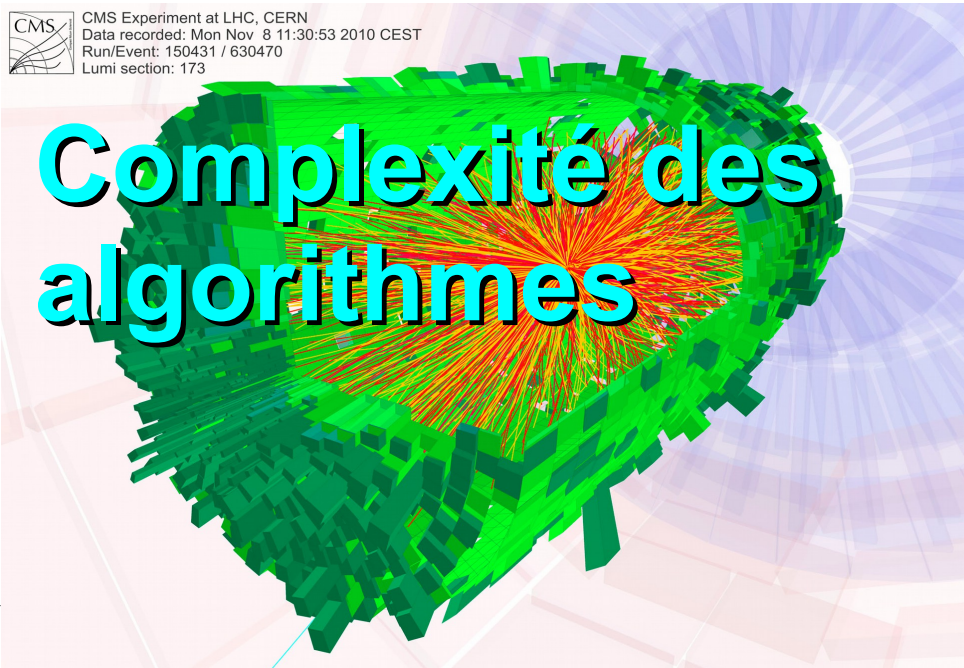
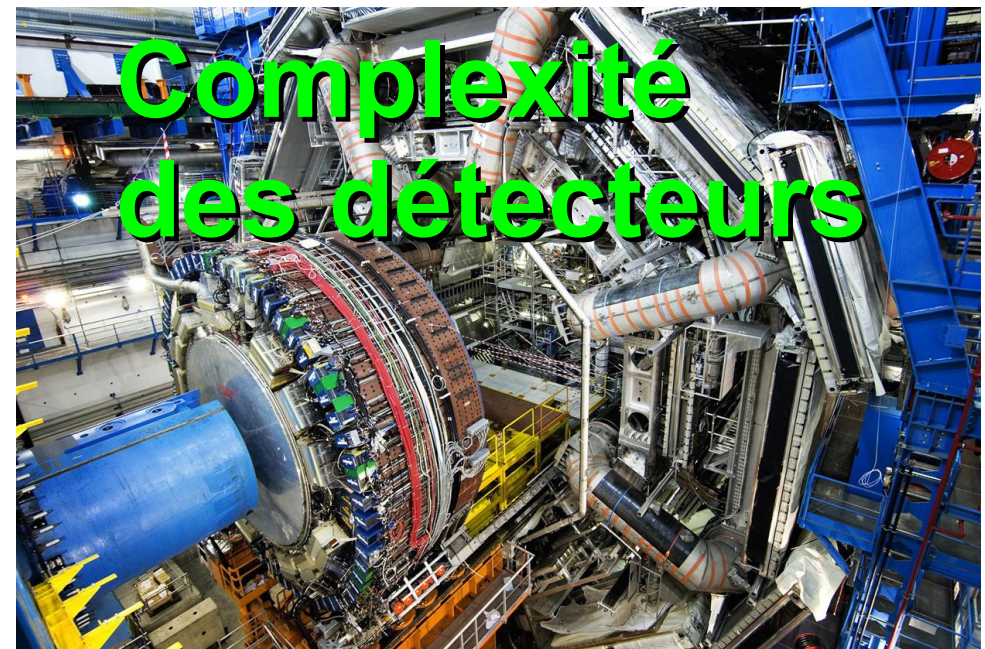
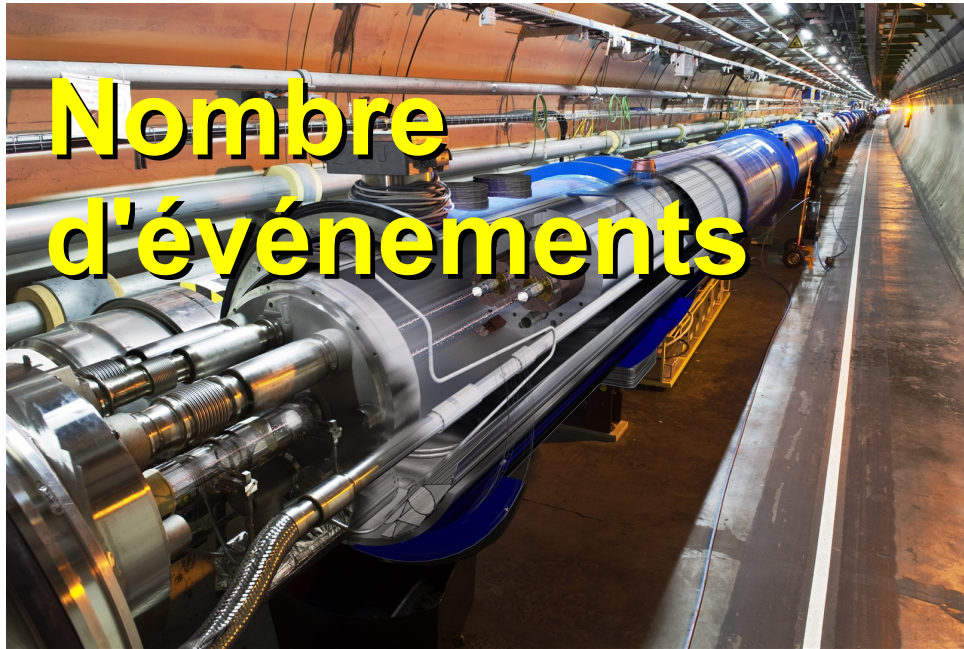


Ce lot de données réelles (la réalité) est-il compatible avec l'hypothèse FOND SEUL ou bien FOND+SIGNAL ?



J. Anderson, MCTP 2012
(analyse publiée depuis)

De nouveaux ordres de grandeur



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



Quantités de données au LHC

Rappelez-vous :

- * 100 collisions enregistrées par sec.
 - * 1-2 MB de données par collision
- plusieurs PB de données produites par an et par détecteur

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

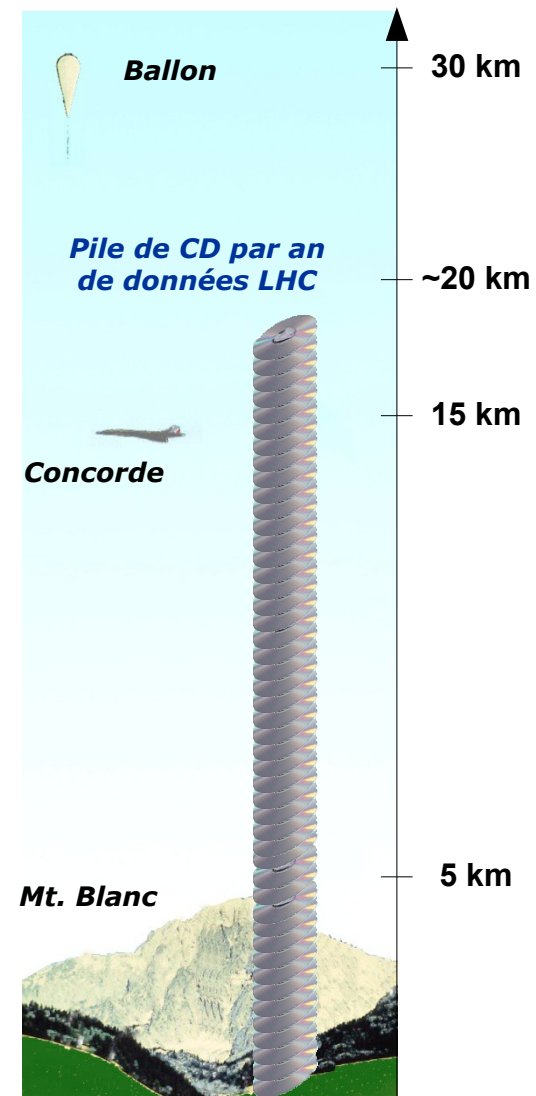
1TB = 1000 GB
Livres produits par an

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

Une nécessité

- Un site seul n'aurait pas suffi (ressources, infra, \$)
- Utilisateurs **distribués partout** dans le monde

Or, des sites existaient déjà de part le monde

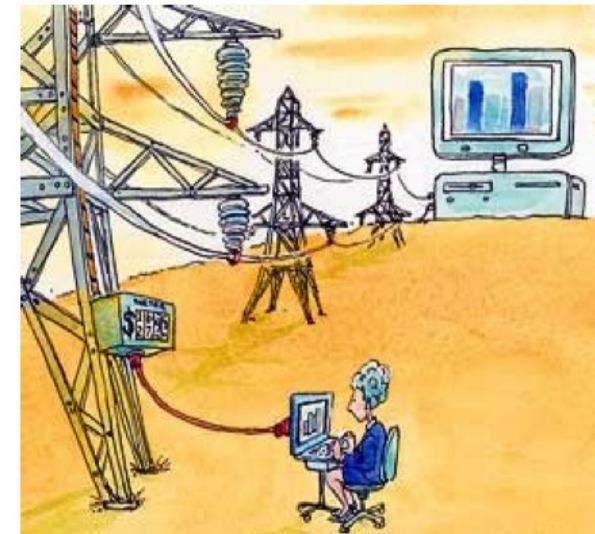
- Des moyens financiers régionaux
- Souvent partagés entre différentes communautés

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

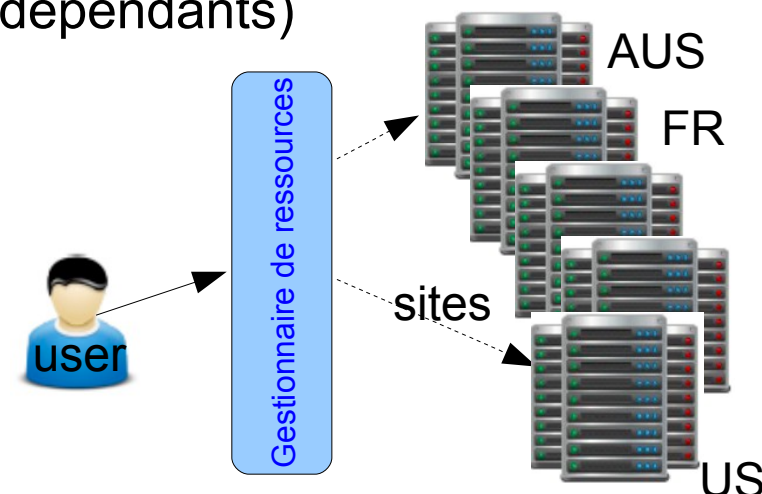
- Mutualisation de ressources de plusieurs unités pour un but commun
- Correspond bien à notre problématique (évts indépendants)

Worldwide LHC Computing Grid (WLCG)

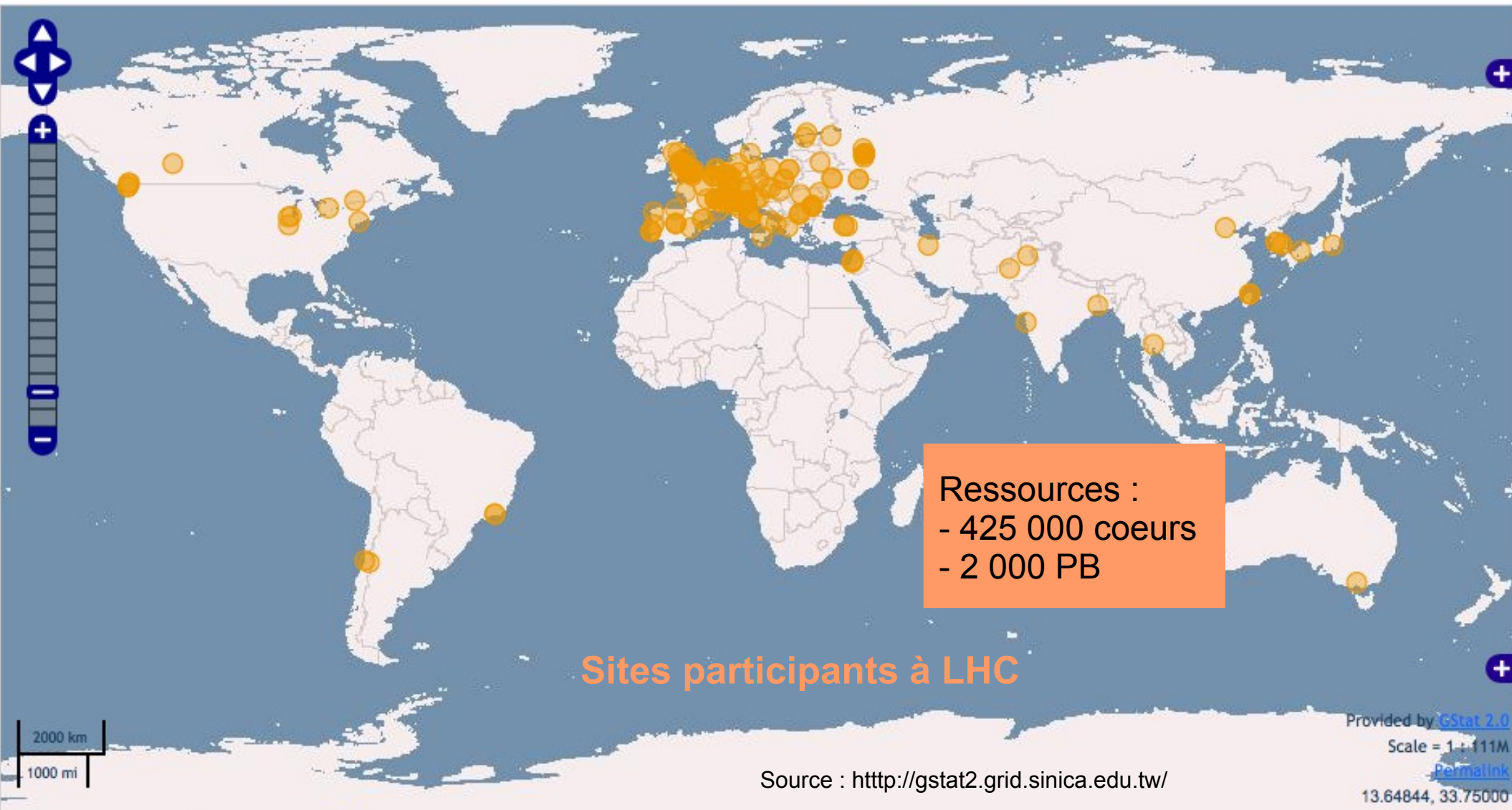
- 150 centres de calcul et de stockage
- 35 pays
- 4 expériences LHC
- **réseaux privés** (LHCOPN et LHCONE)



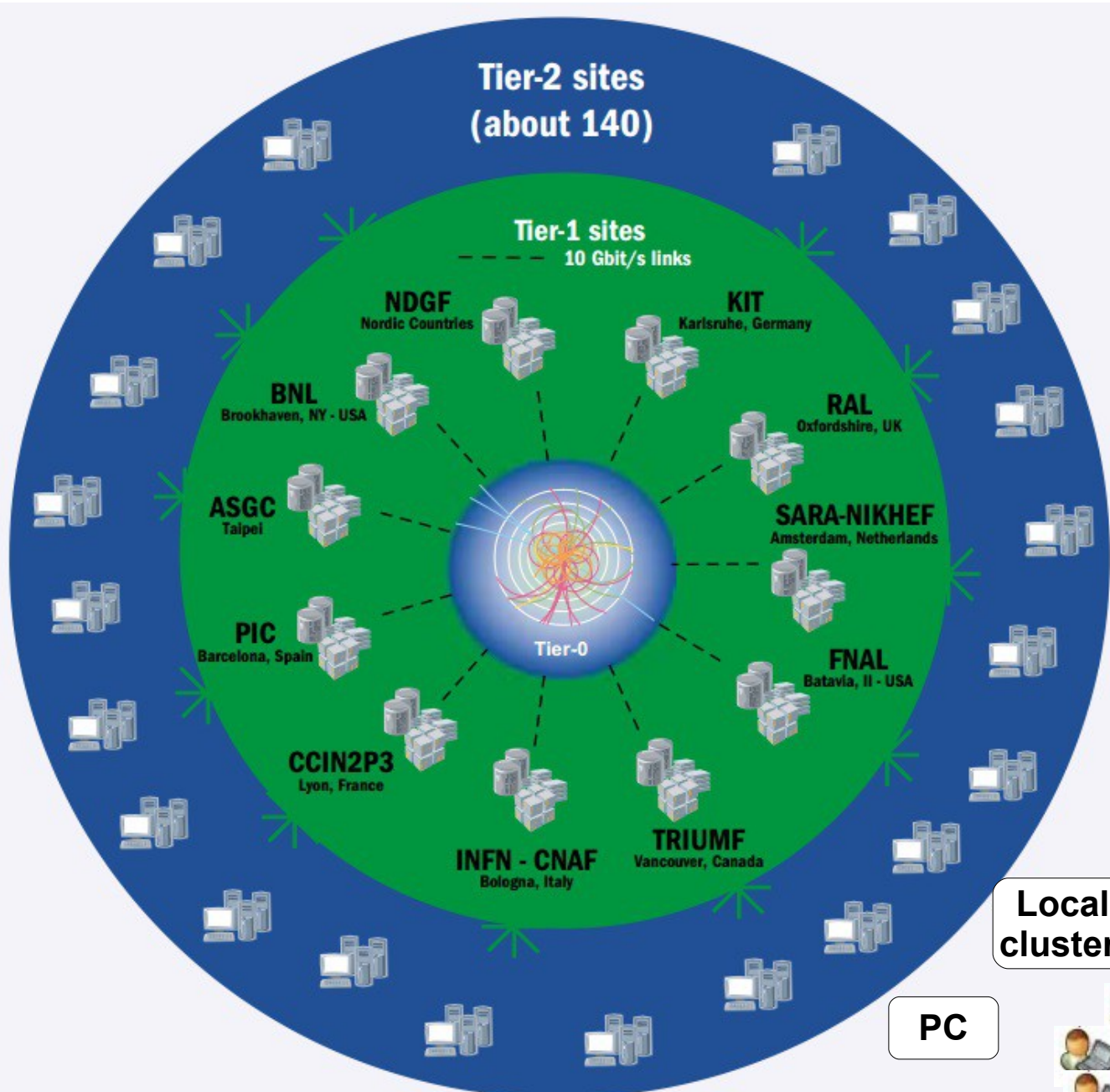
Terme pris de "electric power grid"



Géographie des sites



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

Les grilles sont complexes.

Le *Middleware* (intergiciel)

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

→ « **cacher et simplifier** »

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

Les ressources

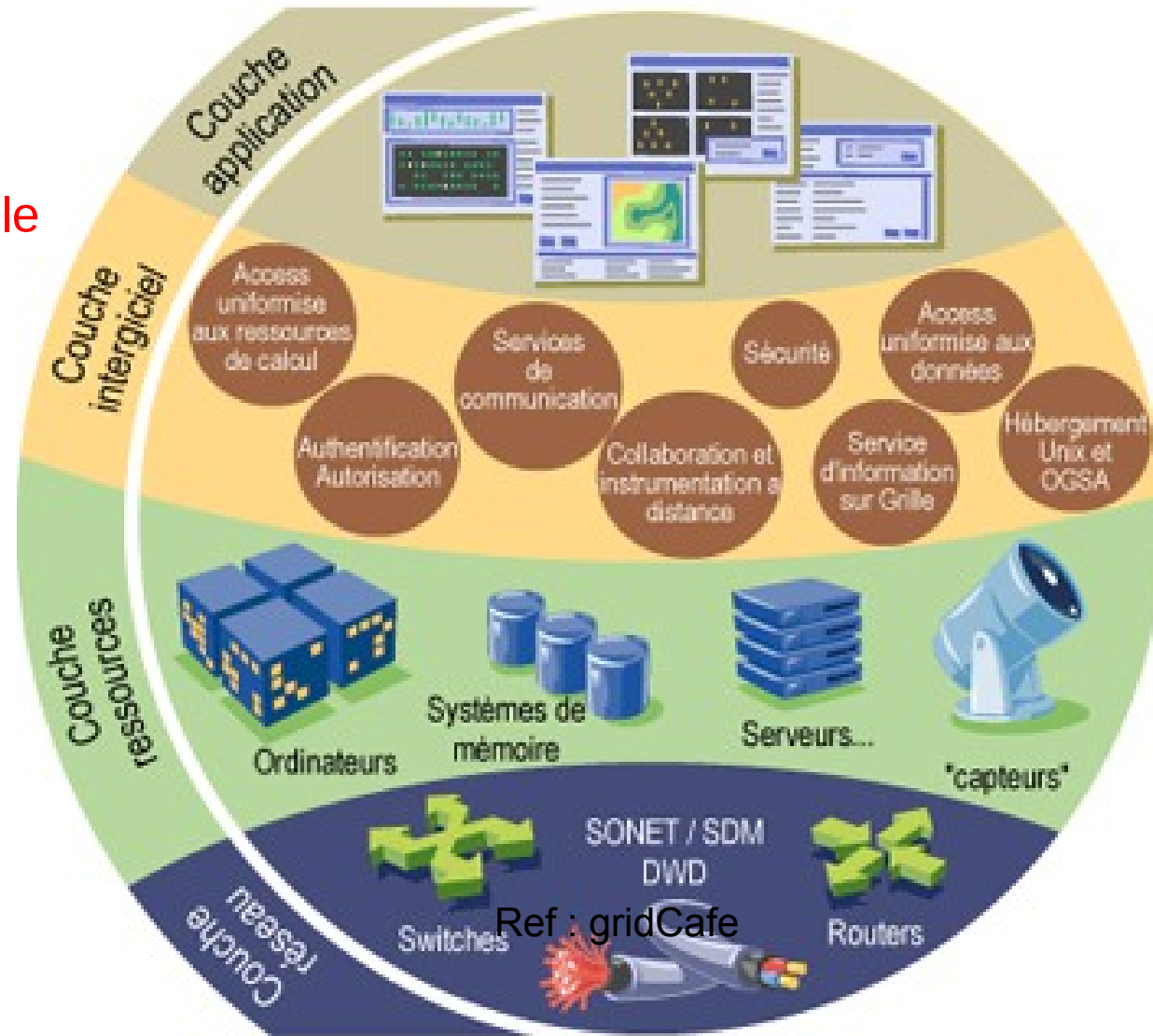
la partie **classique** d'un site

- Calcul & stockage

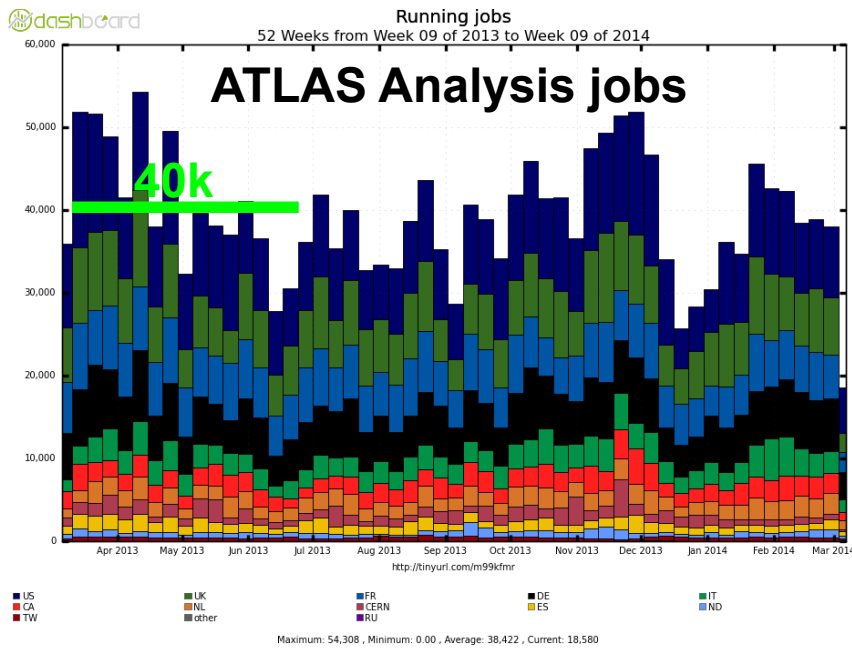
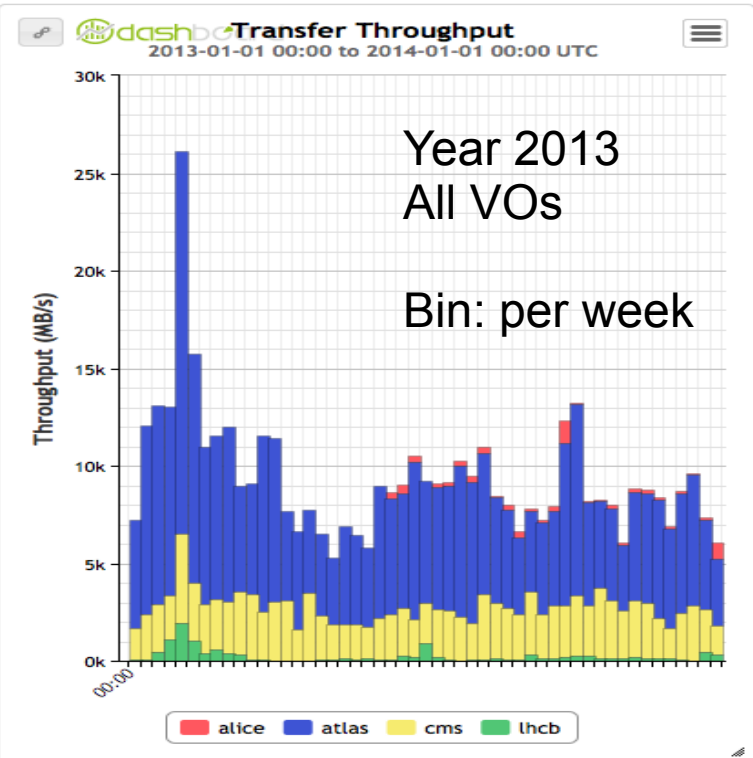
Le réseau

la **moelle épinière** des grilles

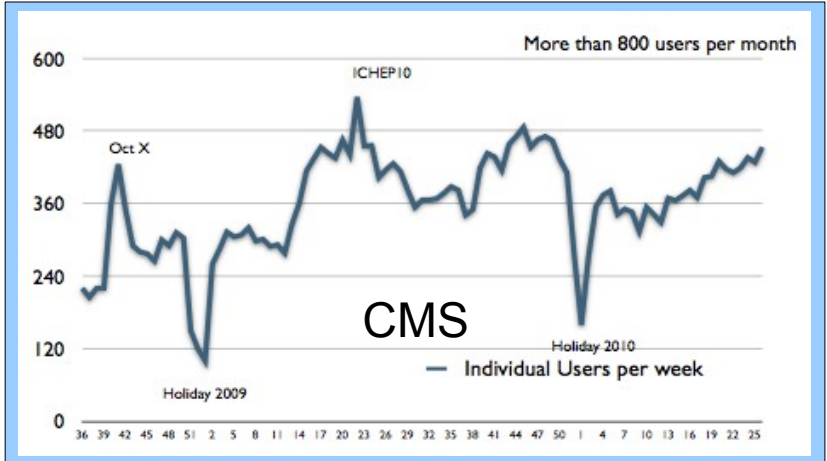
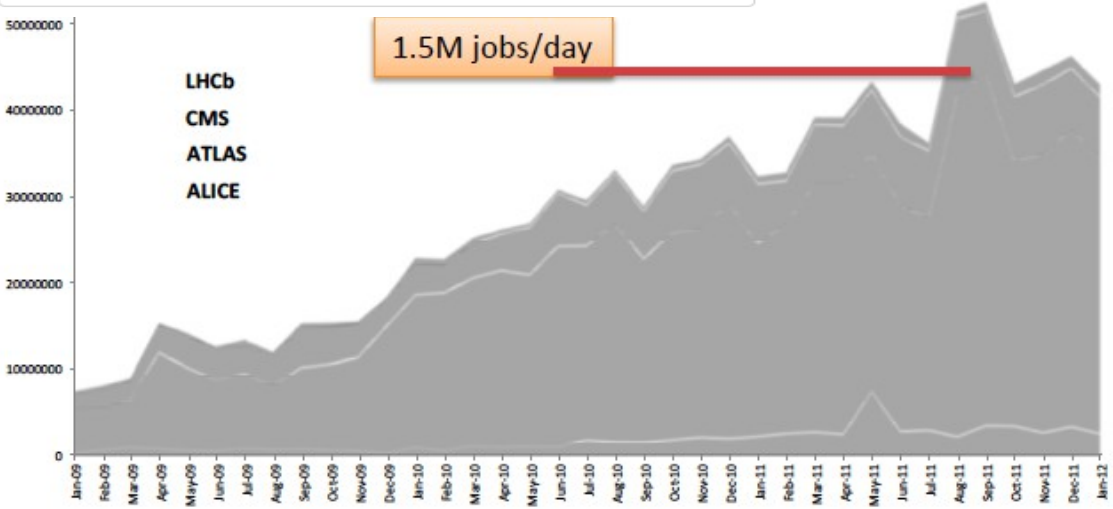
- 1-10 Gb/s (soit 2 CD/s !)
- 100 Gb/s est disponible



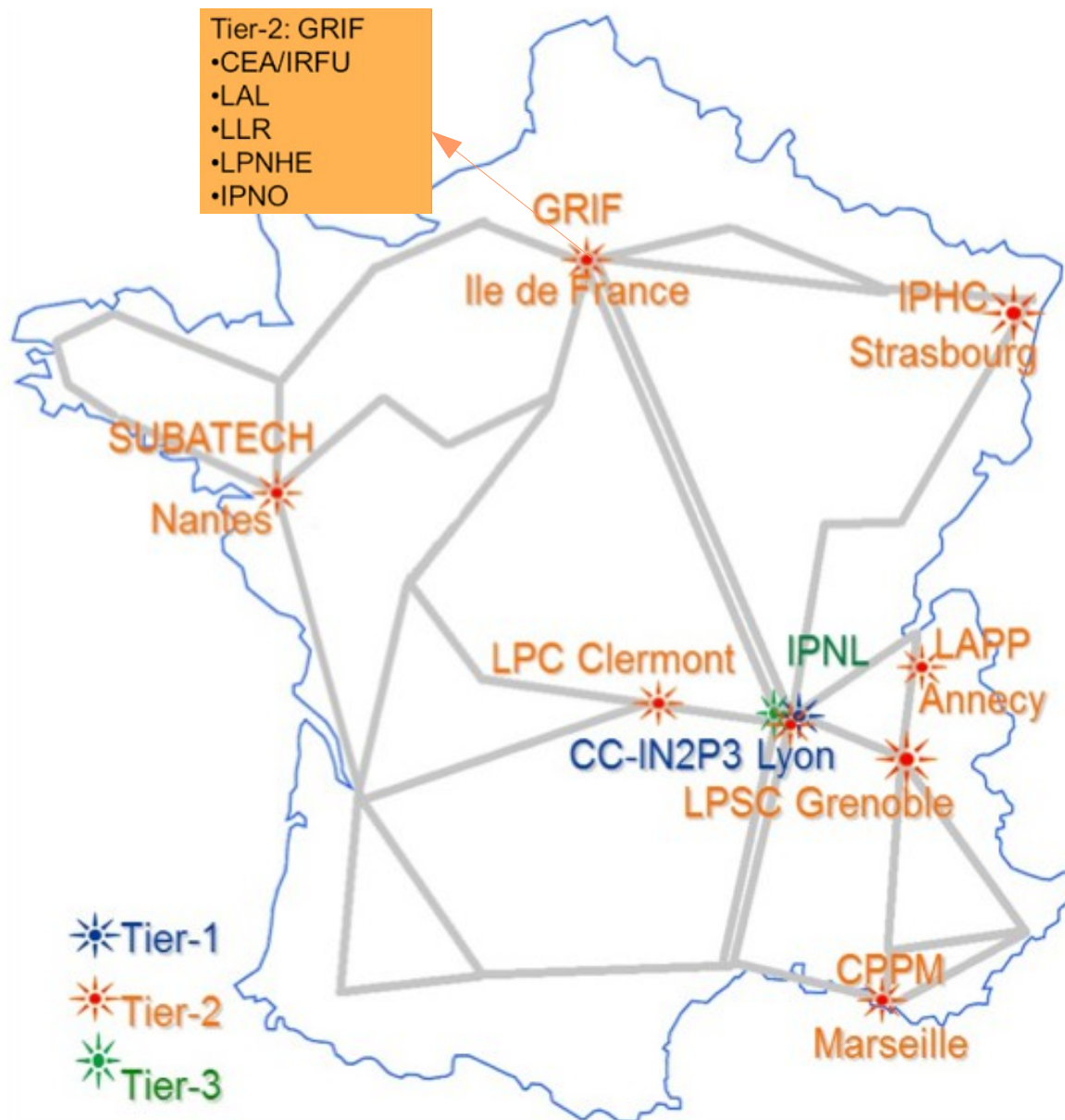
Flash sur les activités de WLCG



Currently:
jobs done/day
- ALICE ~ 250k
- ATLAS ~ 850k



Centres de calcul 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 Lyon

- ~100 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, ...)

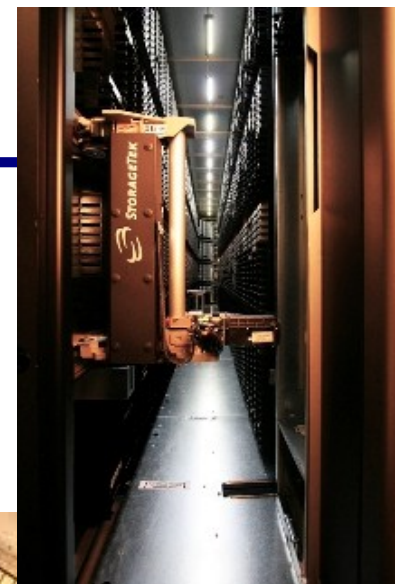
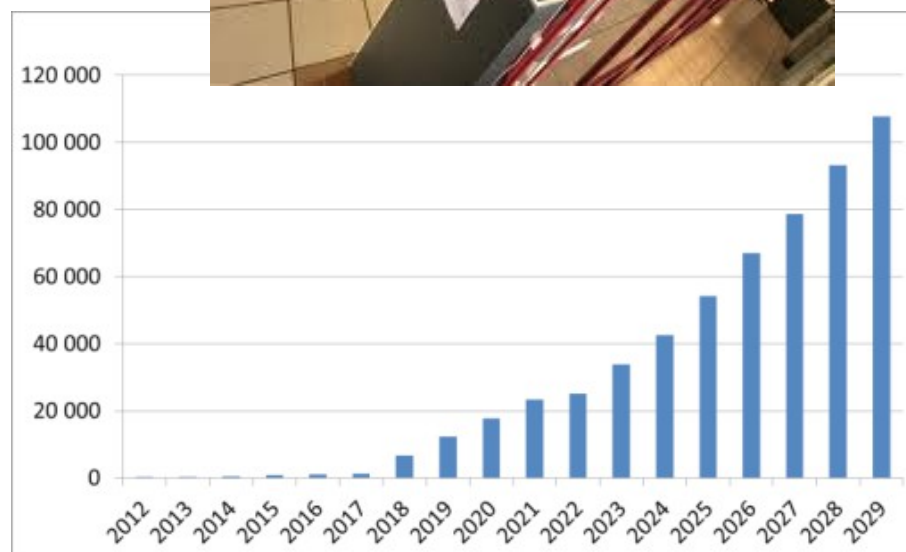
Grille

- Site grille complet, services centralisés
- Assure ~10% des ressources de WLCG

Ressources

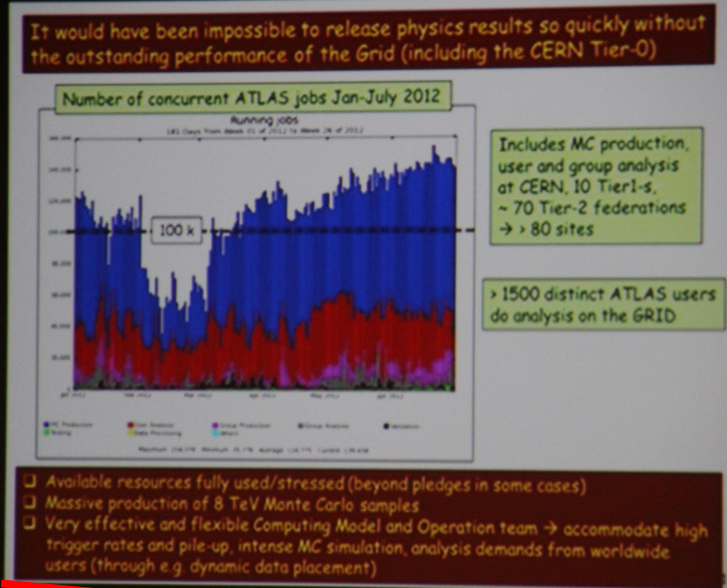
- 20 000 tâches de calcul simultanées
- Flot de plus de 100 000 tâches / jour
- 40 PB de stockage (disque et bande)
- LHC ~ 2/3 du centre
- 2011 : extension de la salle machine

Estimation du nombre de coeurs physiques



« Computing enables physics »

Photography: C. Biscarat



CERN seminar,
July 4th 2012,
retransmitted at
ICHEP (Melbourne)

Et maintenant ?

Derrière le succès de la grille

- Complexité importante
- Efforts humains importants



Notre expérience de la grille → simplification des opérations

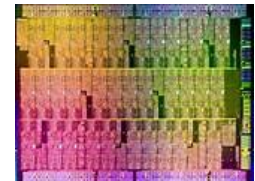
Pendant que nous développons la grille

- 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

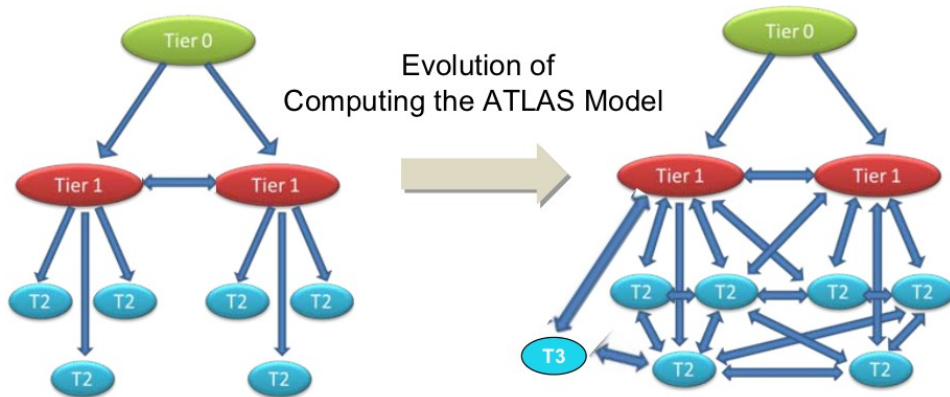
facebook



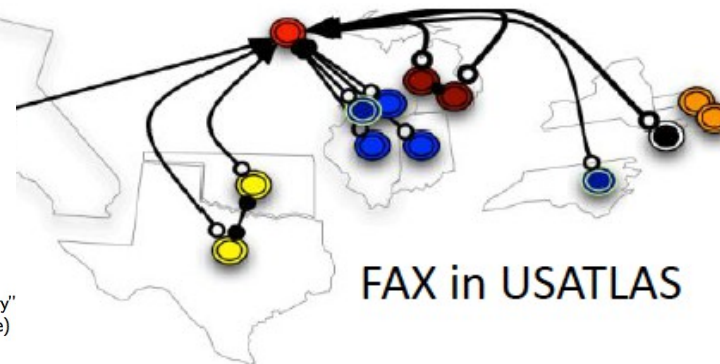
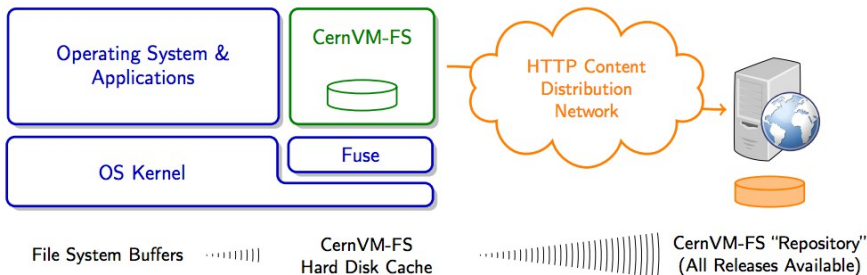
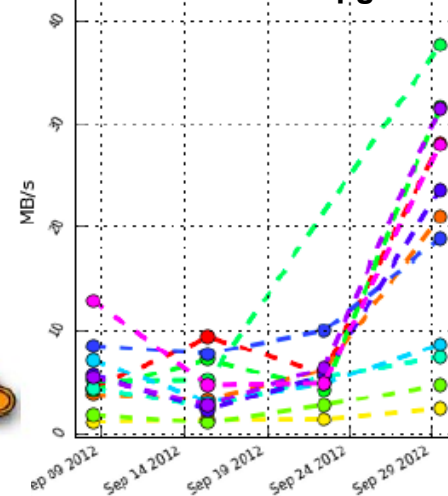
Nouvelles idées sur le marché → intégration dans le calcul pour le LHC

Quelques évolutions

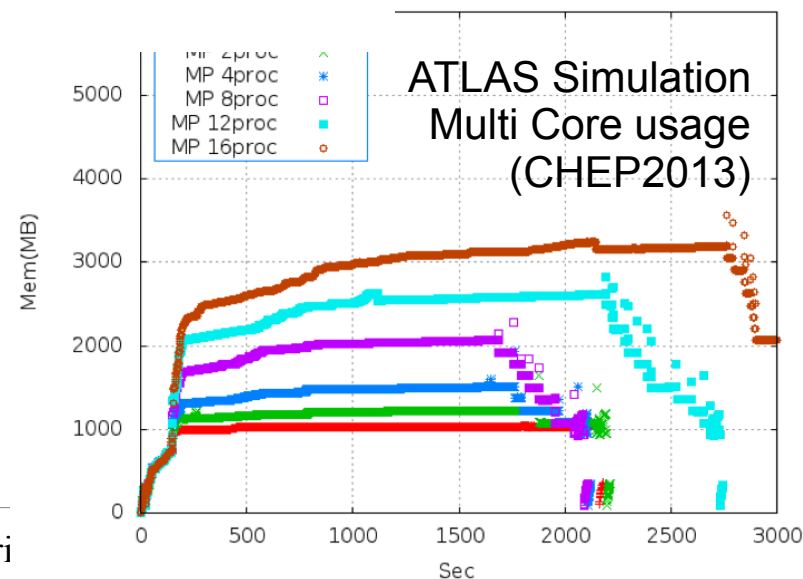
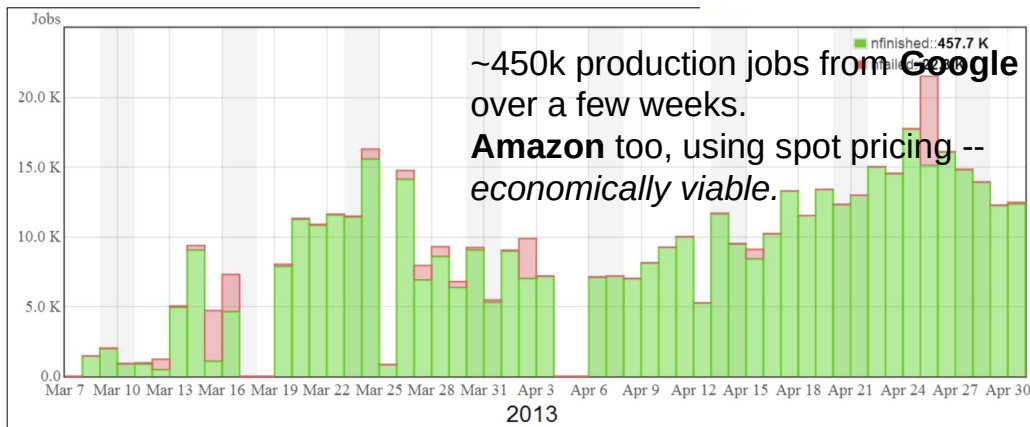
Evolution of Computing the ATLAS Model



FTS transfer rates ATLAS T1s → LPSC LPSC network upgrade

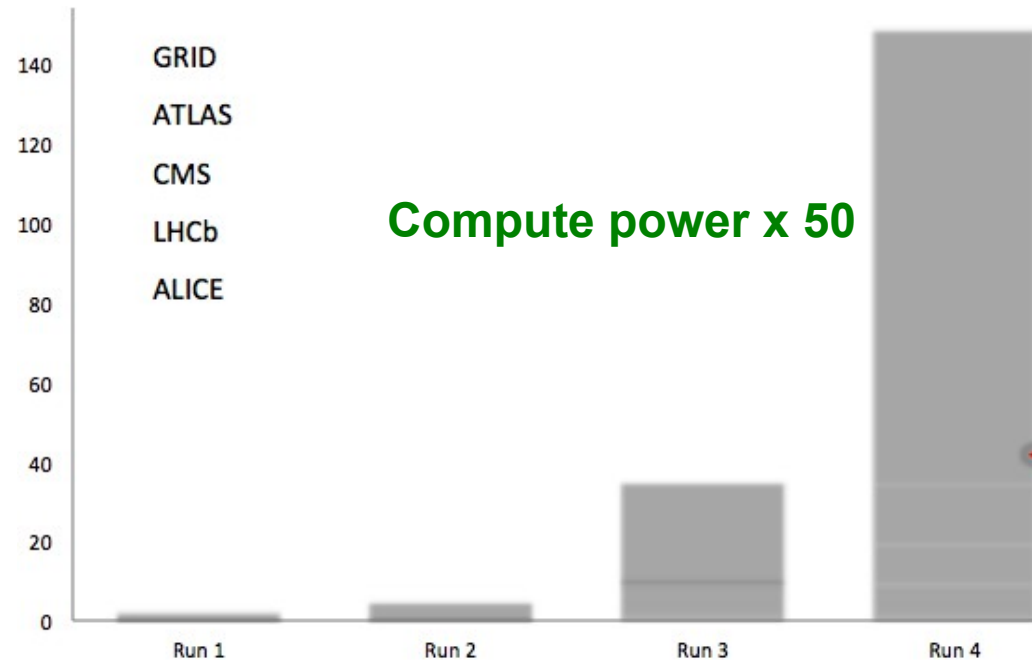
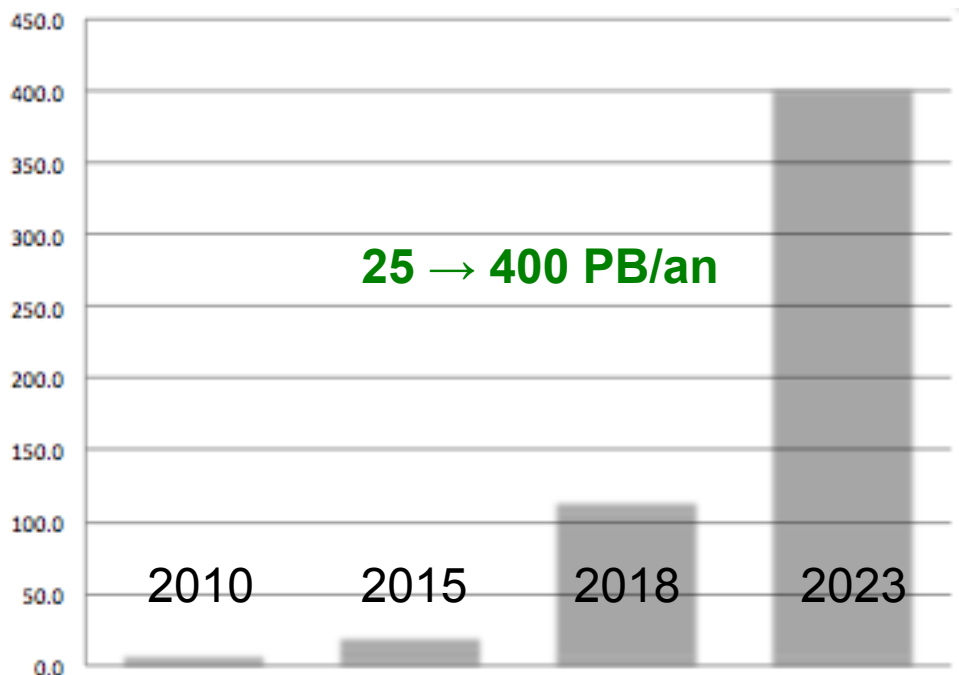
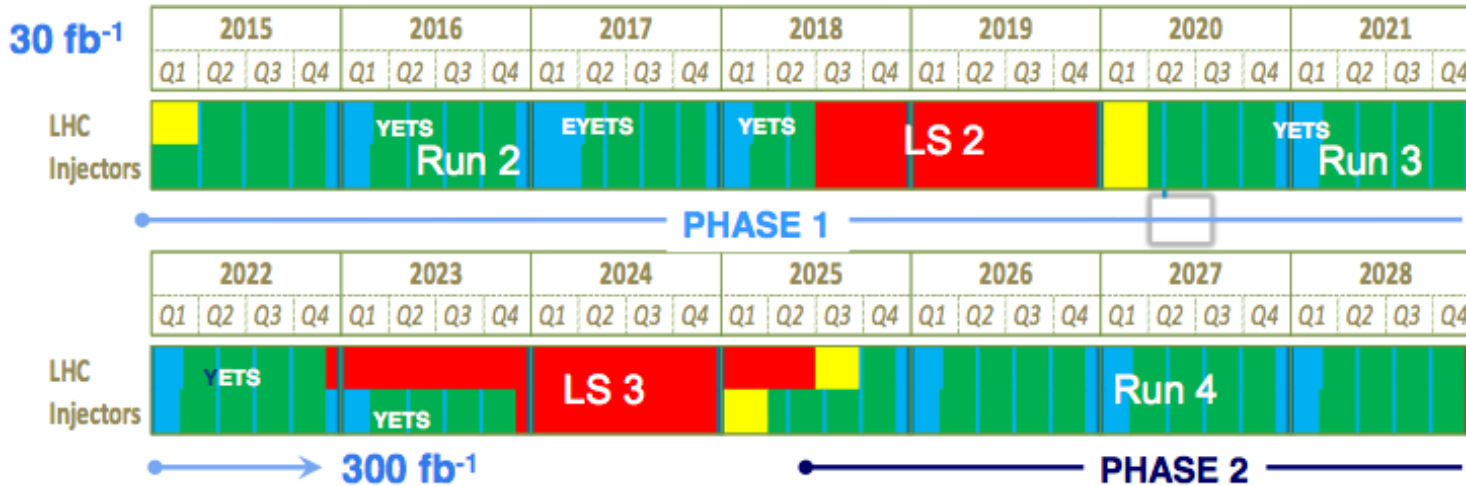


FAX in USATLAS



Et après ? Horizon à 10 ans

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



Au-delà de la physique des particules

Un modèle de calcul très particulier

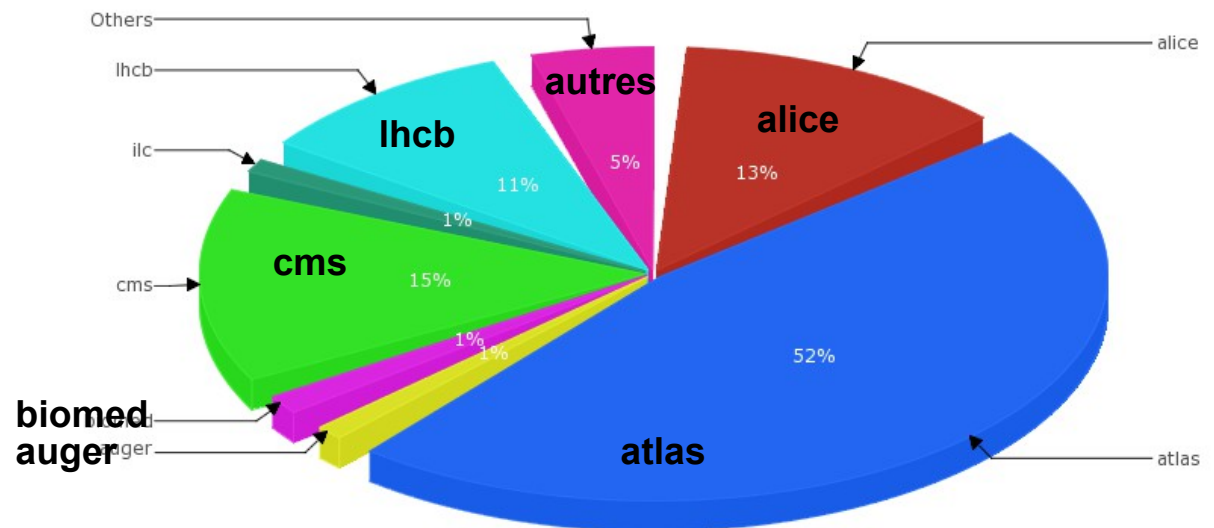
- ▶ Depuis toujours : de très nombreux petits événements indépendants
- ▶ La grille de calcul est idéale (**High Throughput Computing**)

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)
 - ▶ ...

Temps CPU normalisé
(12 mois récents)

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



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, mécanique des fluides ...

- ▶ HPC (**High Performance Computing**)
 - ▶ Pyramide de Tiers-0/1/2 en France
 - ▶ Machine Curie : 92 000 cœurs, 15 PB de stockage



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 (150 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 !**