

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 18 juillet 2016

Ensemble, aujourd'hui

Cadre de la physique des particules

1/ Prise de données

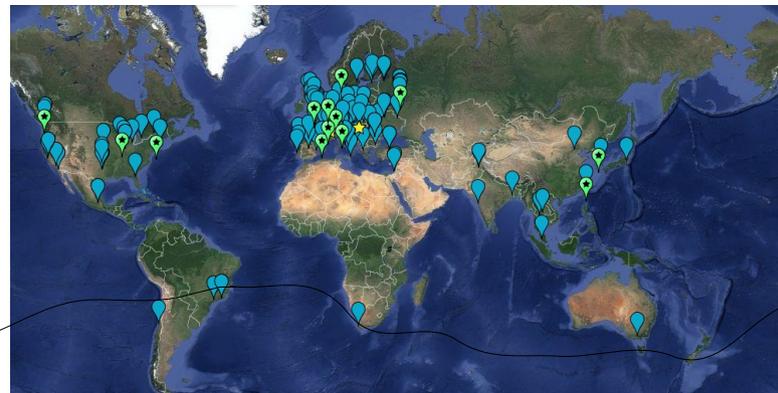
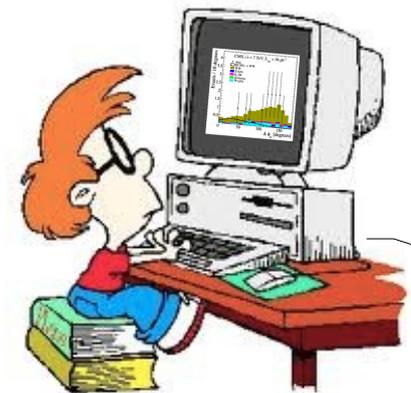
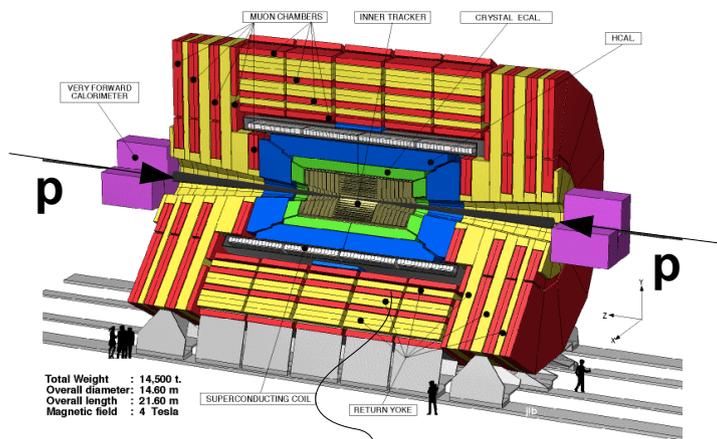
- Choix/tri des événements

2/ Analyse des données

- Traitement successifs → plot

3/ Traitement des données (computing)

- 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

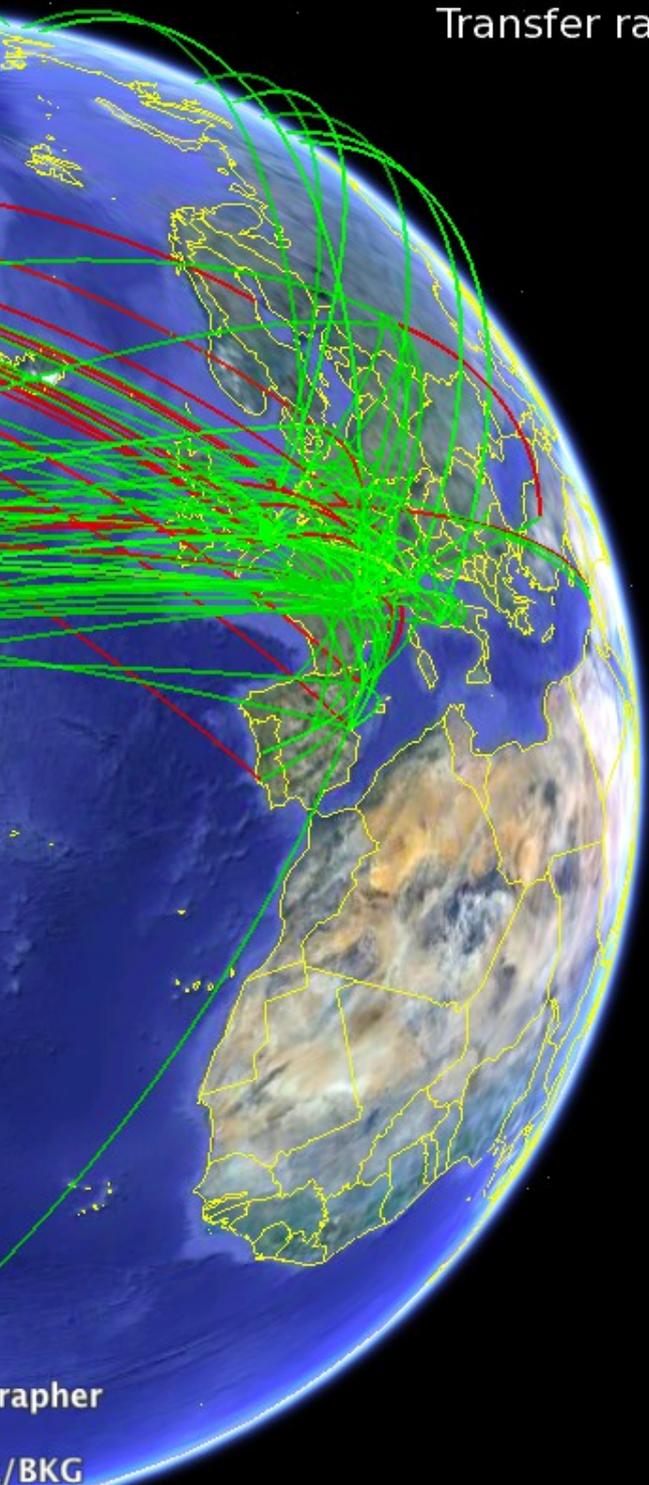
- Depuis 2011 : ingénieur en informatique à l'IN2P3, un des instituts du CNRS

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



- Depuis deux années : responsable technique du projet LCG-France

Running jobs: 236092
Transfer rate: 11.41 GiB/sec



Enregistrer les données

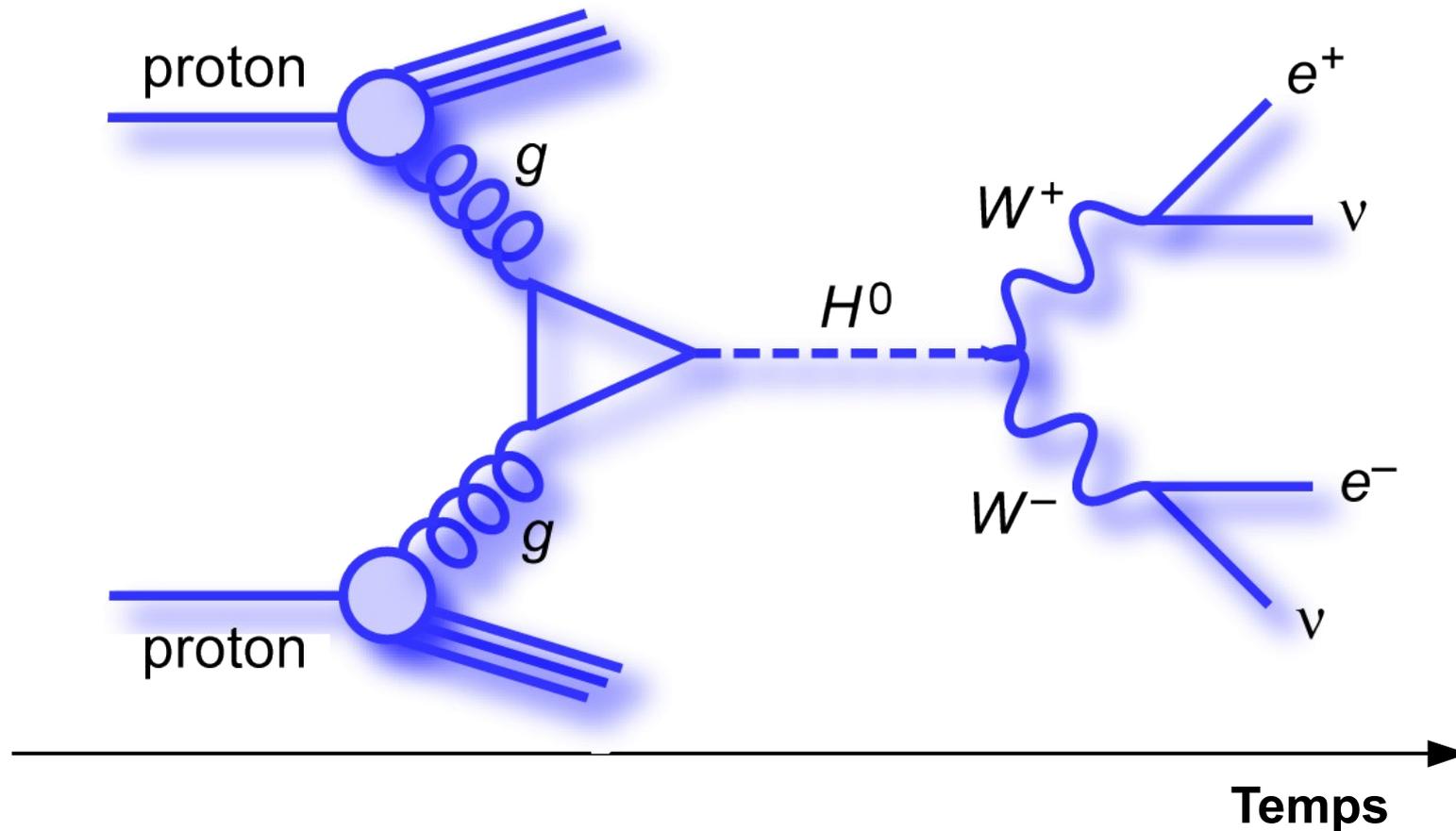
ographer

/BKG

NGA, GEBCO

Comment chercher le Higgs ?

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



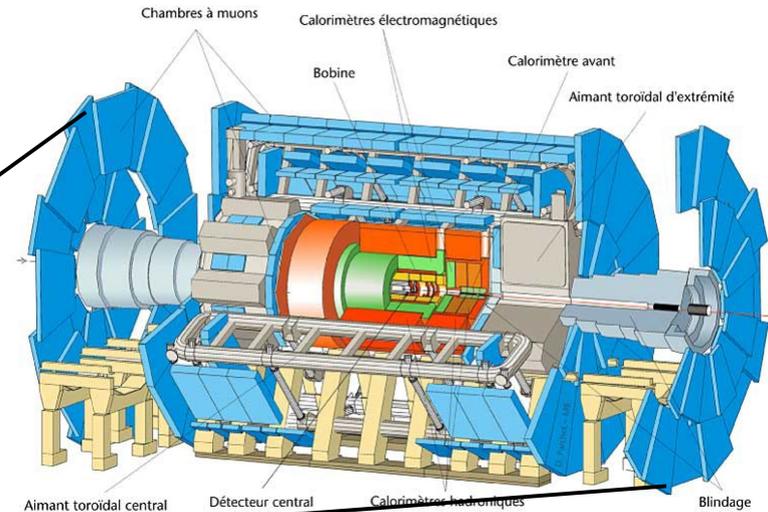
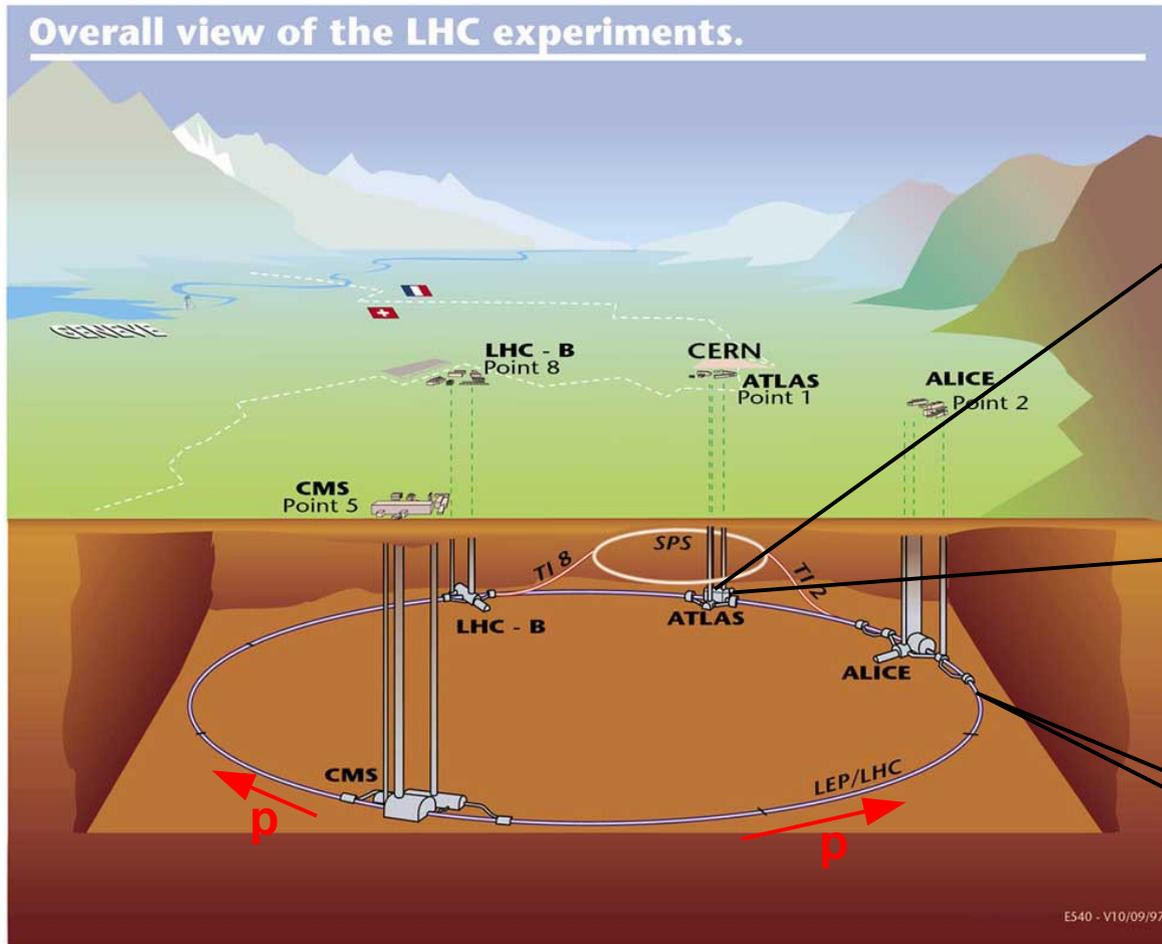
deux protons
entrent en collision

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)

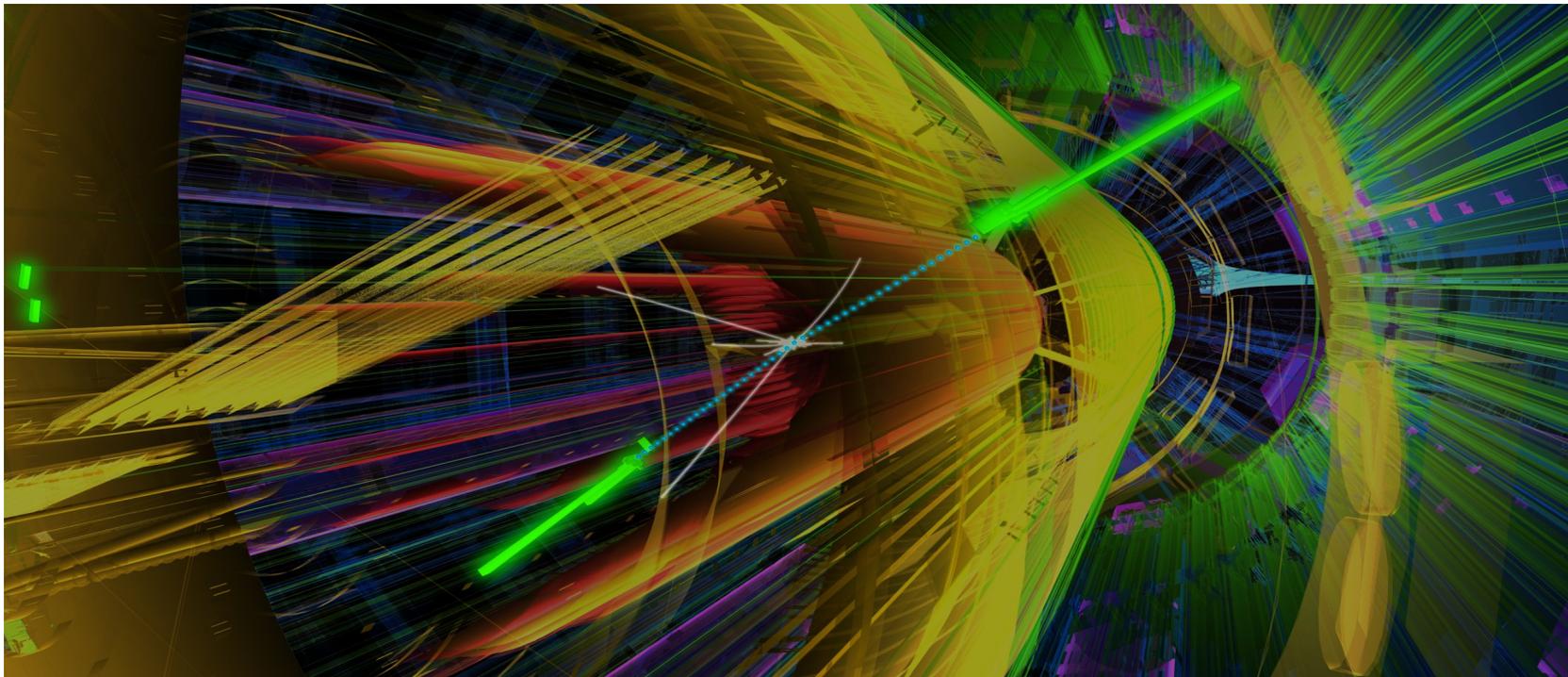
les particules
stables dans
l'état final
(ici e , ν) atteignent
le détecteur

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

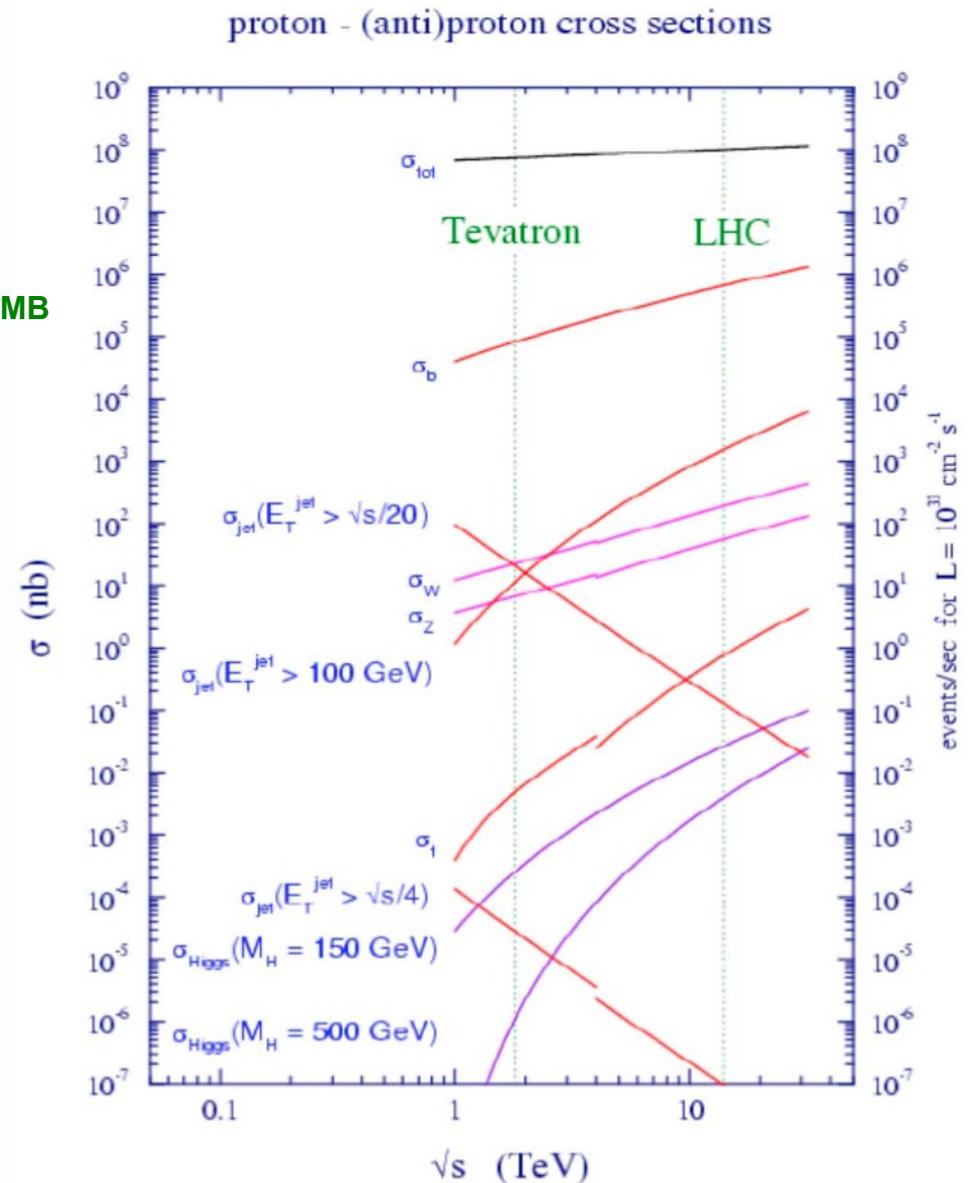
1 CD = 650 MB

- 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



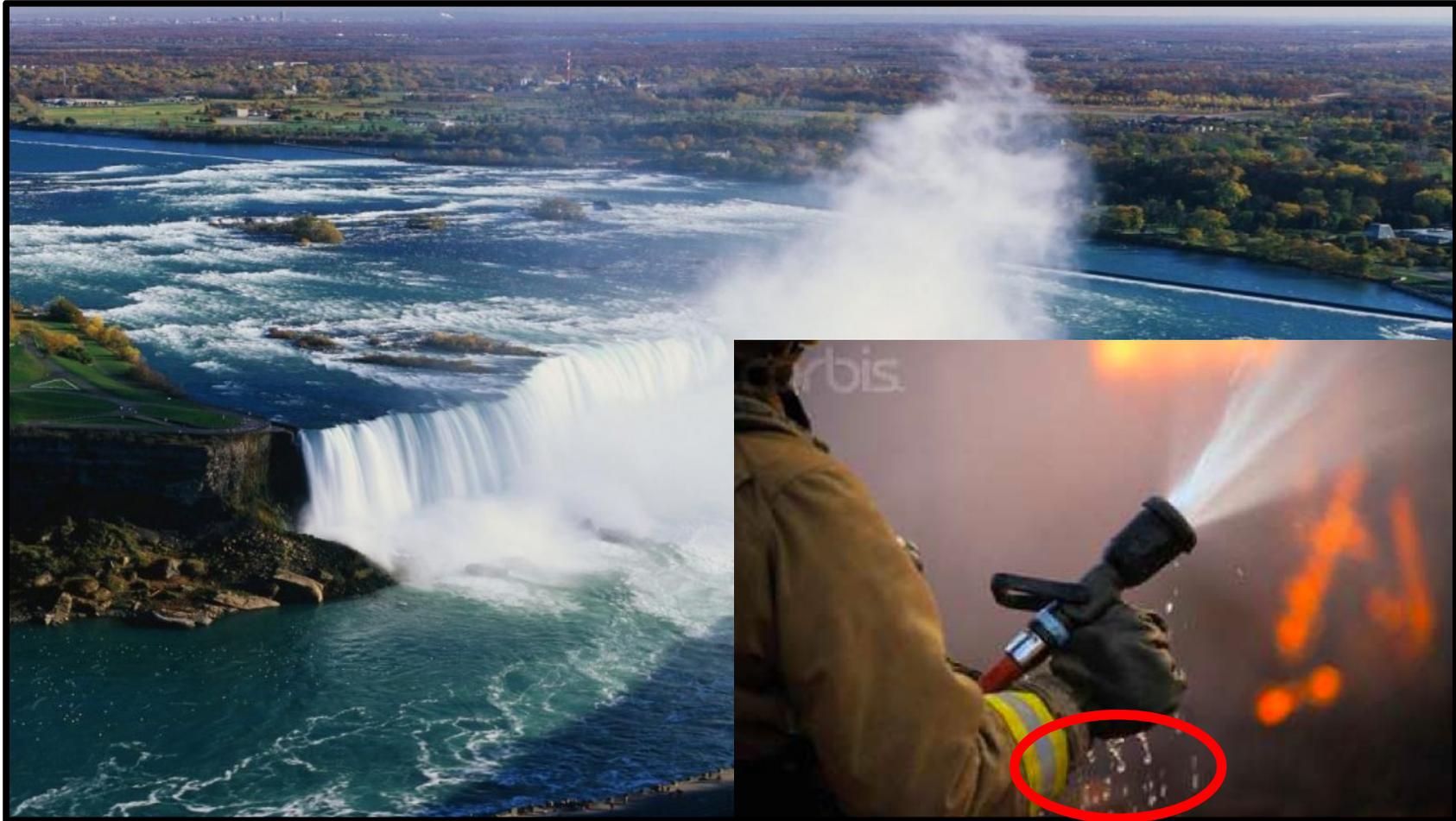
- Les données accessibles (produites): les **Chutes du Niagara** (1.5 million gpm).
- 40 millions de croisements de paquets de protons par seconde
 - Qui correspondraient à **100 000 CDs écrits par seconde** (4 x terre-lune/an)

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 **½ CD écrits par seconde** (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)

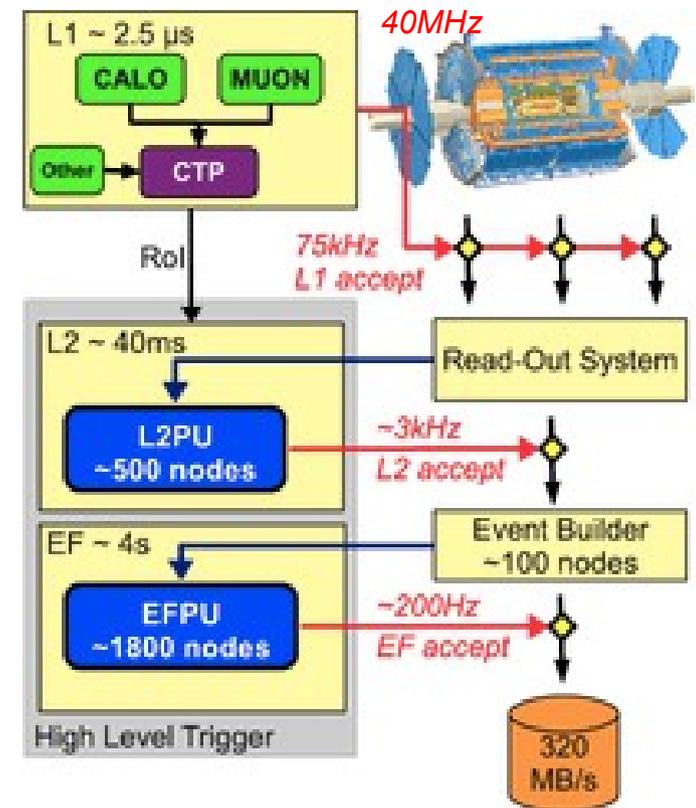
Niveau 2

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

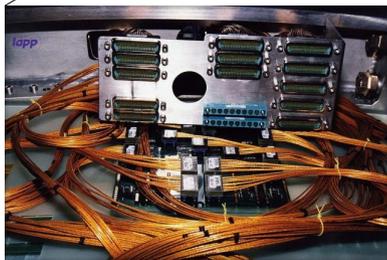
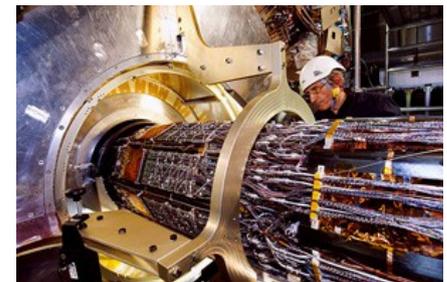
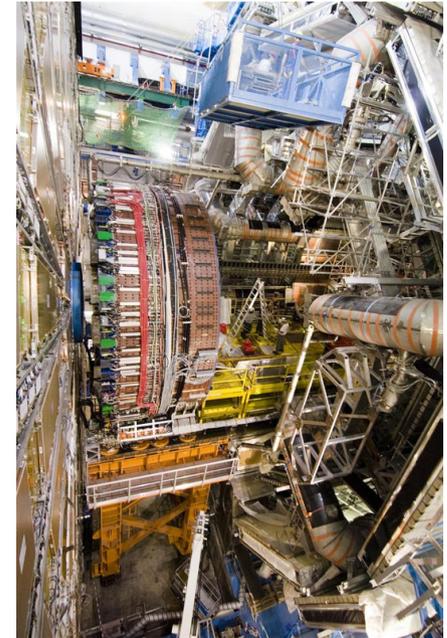
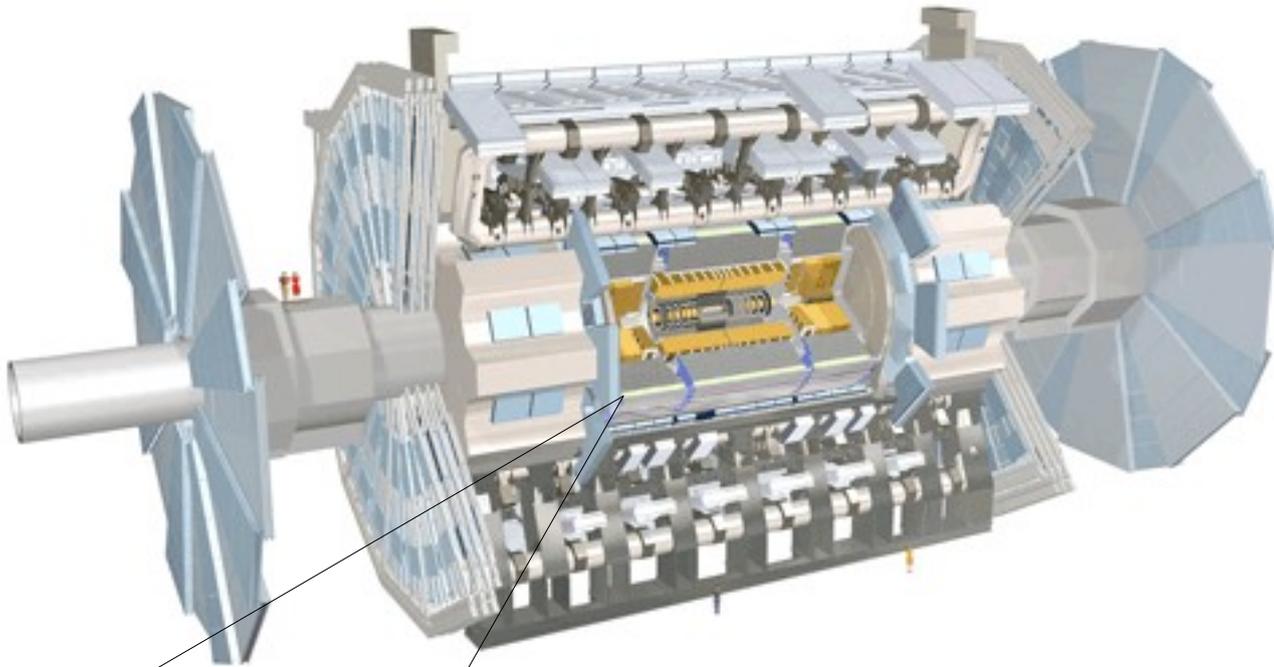
Niveau 3

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

Exemple Run 1-2 ATLAS



Les données brutes (RAW)



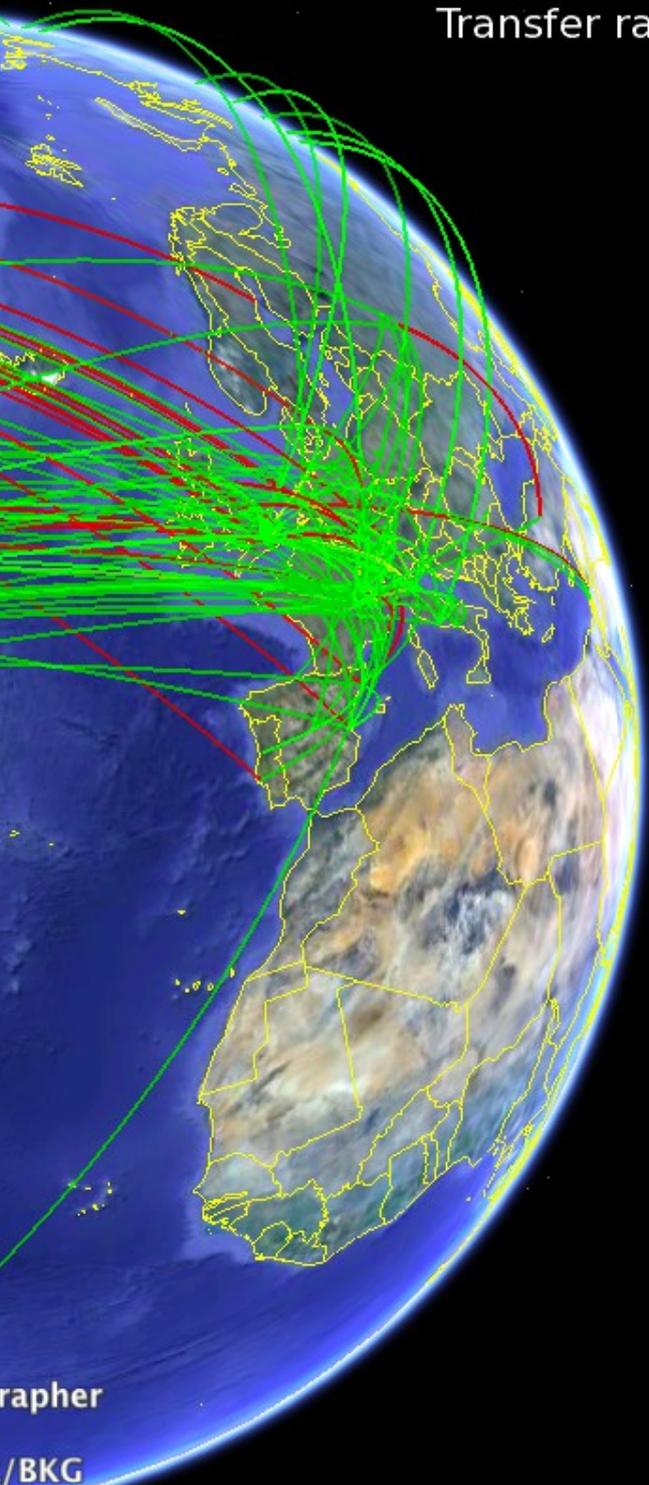
```
101100 101011 010001
110111 001011 001100
100001 111100 100110
110101 110011 100101
001010 101000 001010
111001 100101 000011
010111 001001 010100
100010 010100 101111
100100 101001 001010
000010 100101 111001
```

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

Stockées sur bandes
magnétiques au CERN



Running jobs: 236092
Transfer rate: 11.41 GiB/sec

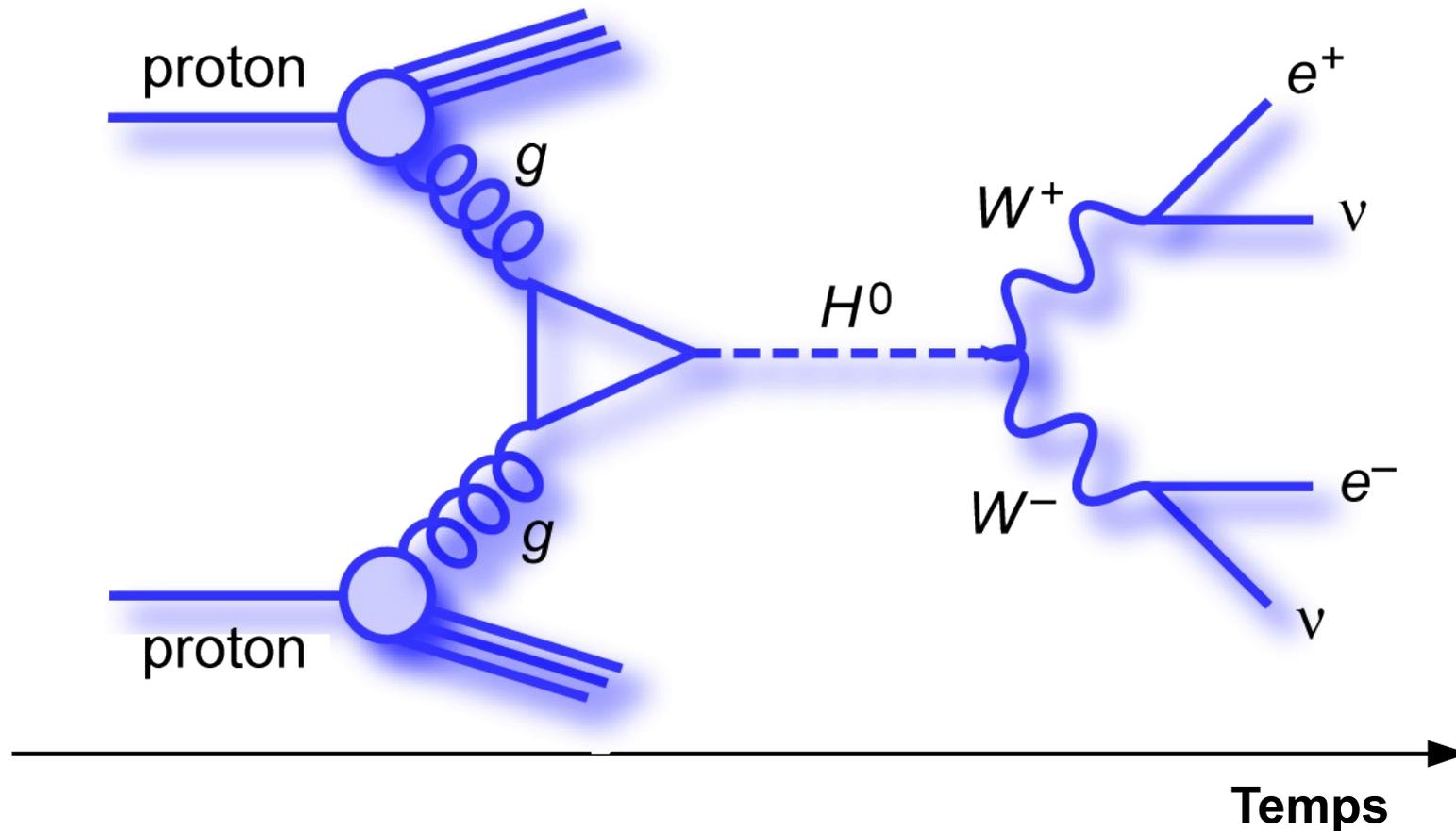


Analyser les données

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 , ν) 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

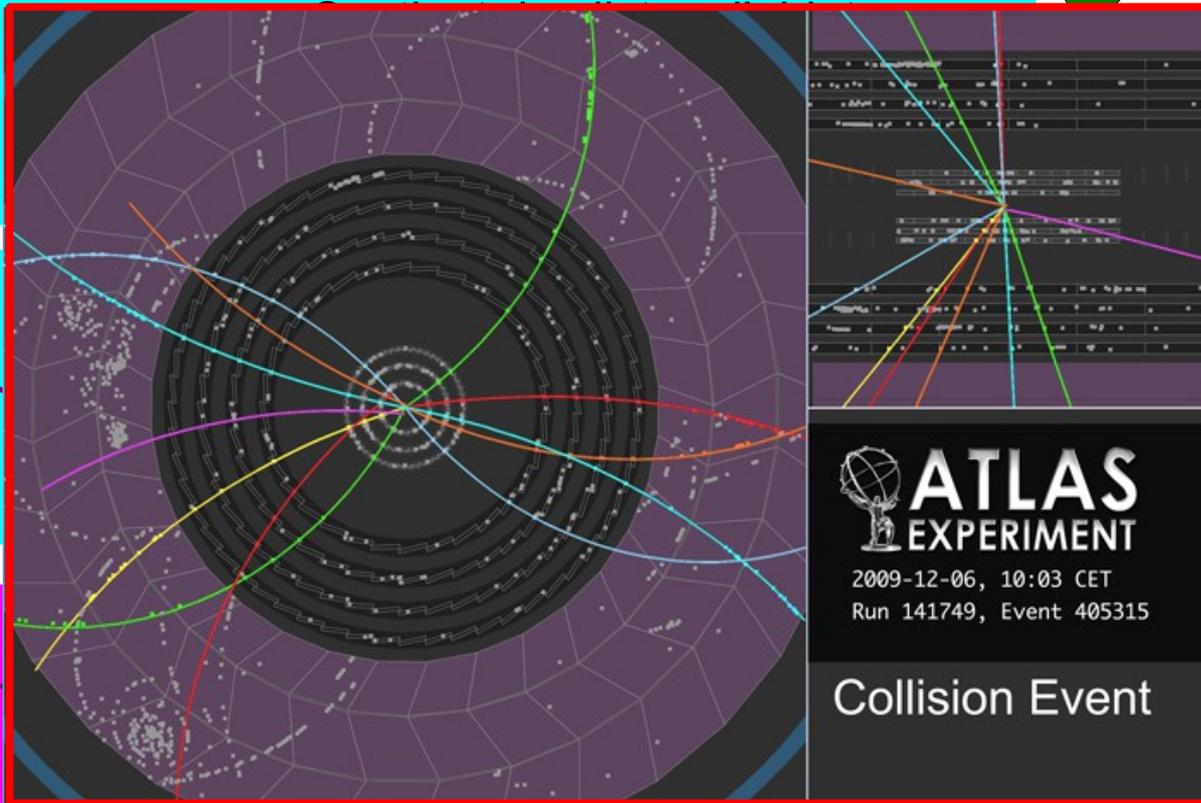
- 1) RAW : données brutes
 - Signal des canaux de lecture

~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

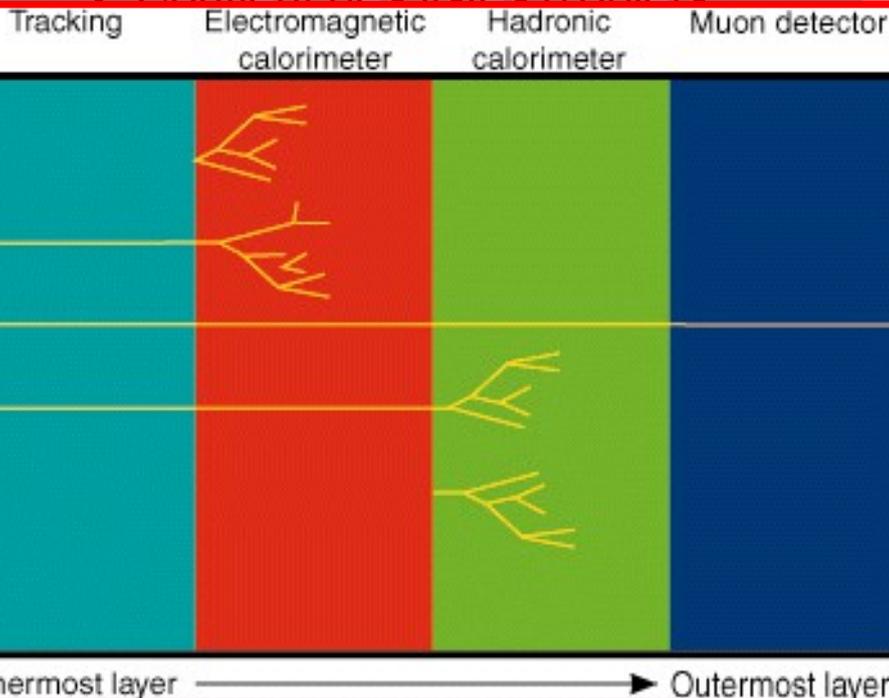
- Hits → traces

Identification des objets

- Interactions connues

Analyse des évts reconstruits

- sélection des évts intéressants



- Partie des évts et des objets

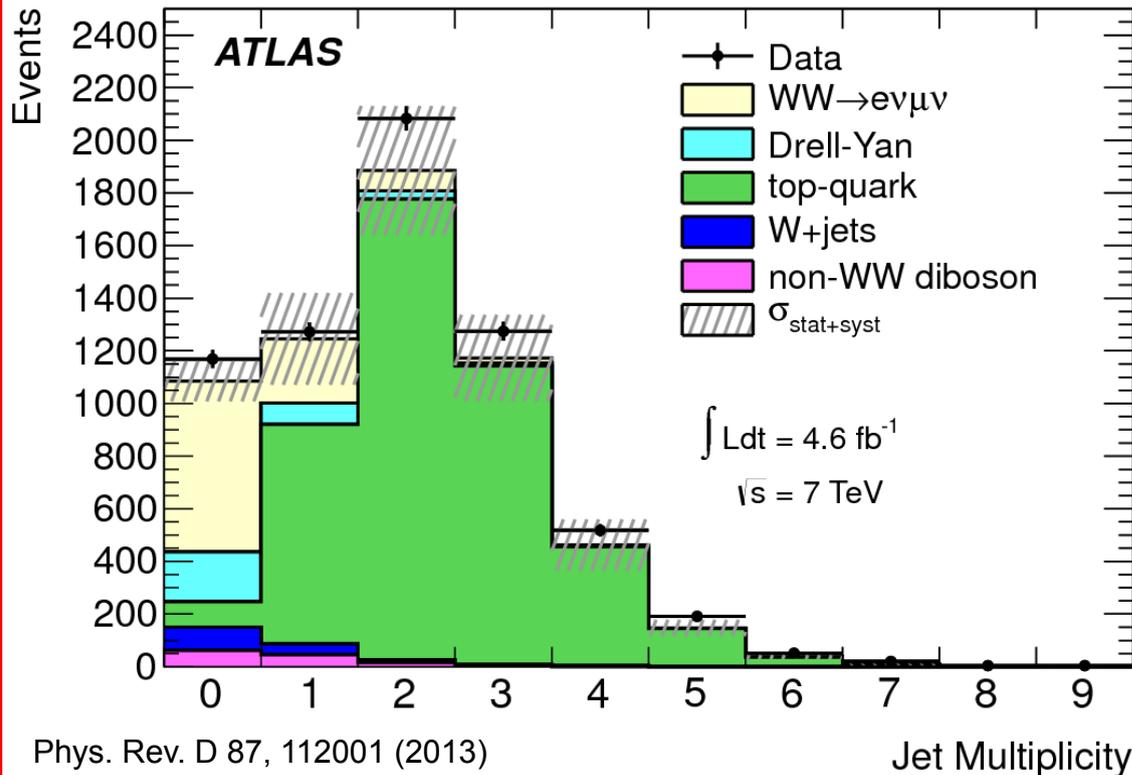
Vers l'analyse des données

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

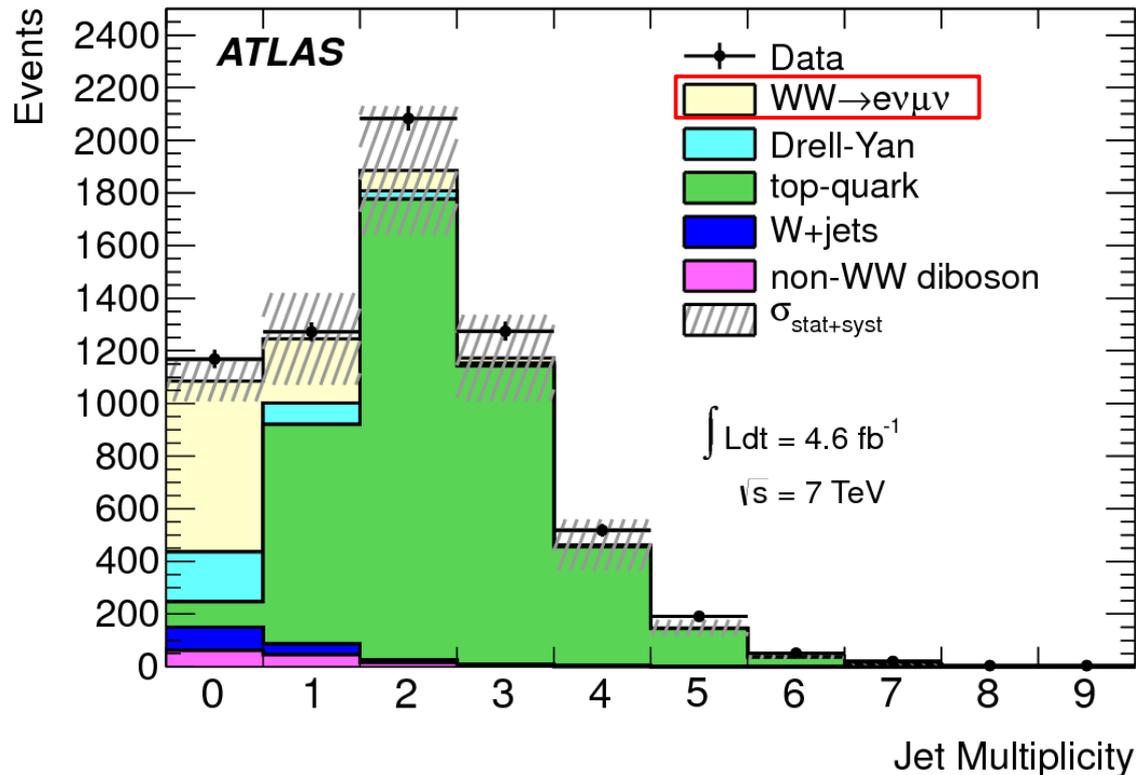
- Sert à faire le “plot final”
- Structure des AOD
- Partie des évtS et des objets

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)



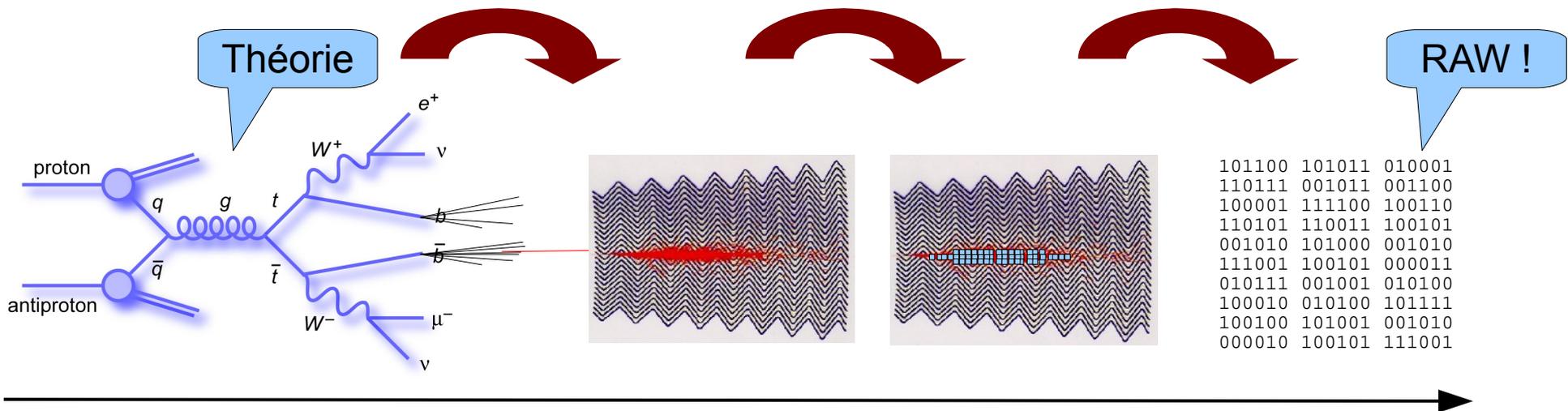
Exploitation d'une expérience : impossible sans simulation !!

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

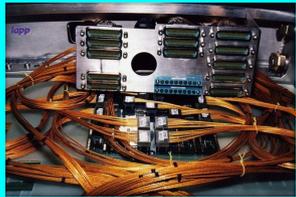


En résumé

Traitement centralisé

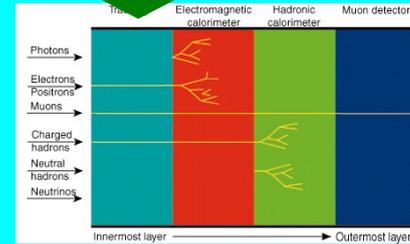
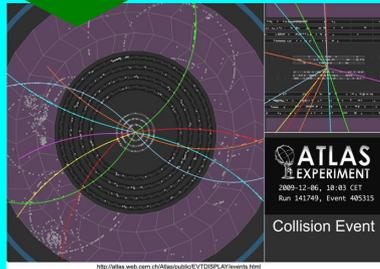
Reconstruction
des données brutes

Identification des objets
et sélection d'état final



```

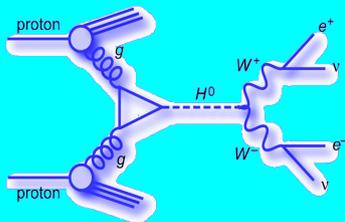
101100 010001
110111 001100
111100 100110
110101 110011
001010 001010
100101 000011
010111 010100
    
```



groupe/individu

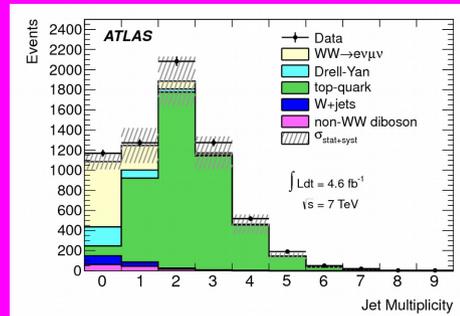
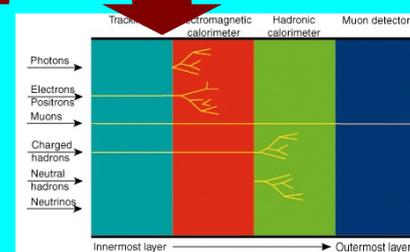
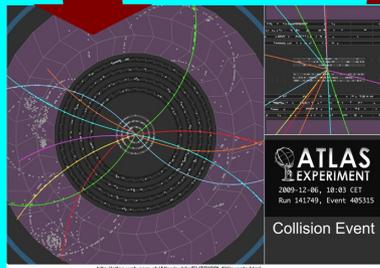
Analyse finale
(n fois / jour)

Simulation des événements

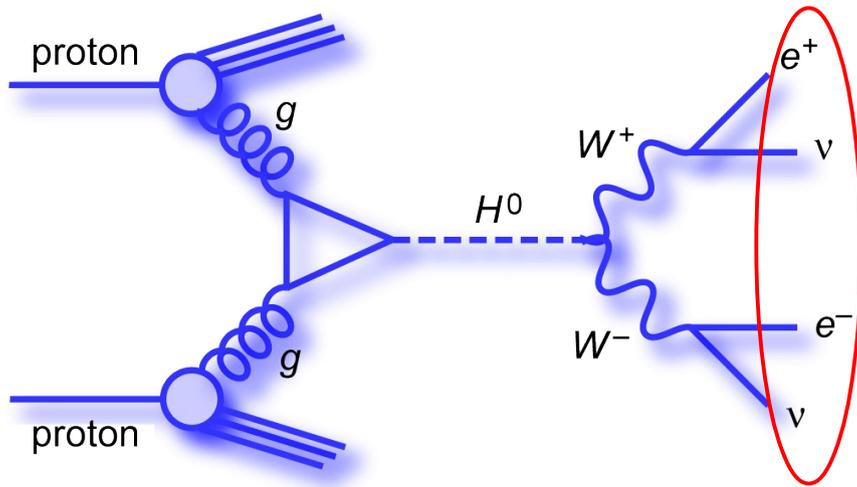


```

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



Recherche d'un processus rare

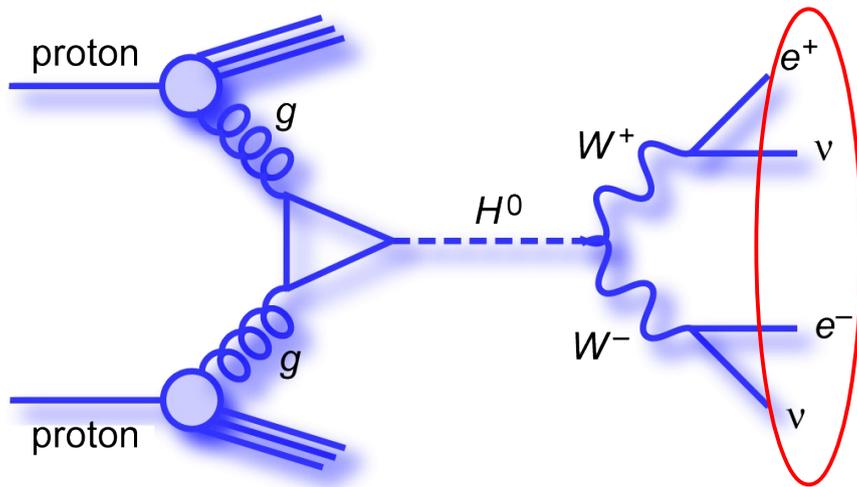


Nous avons déjà discuté cette chaîne de réaction.

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

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

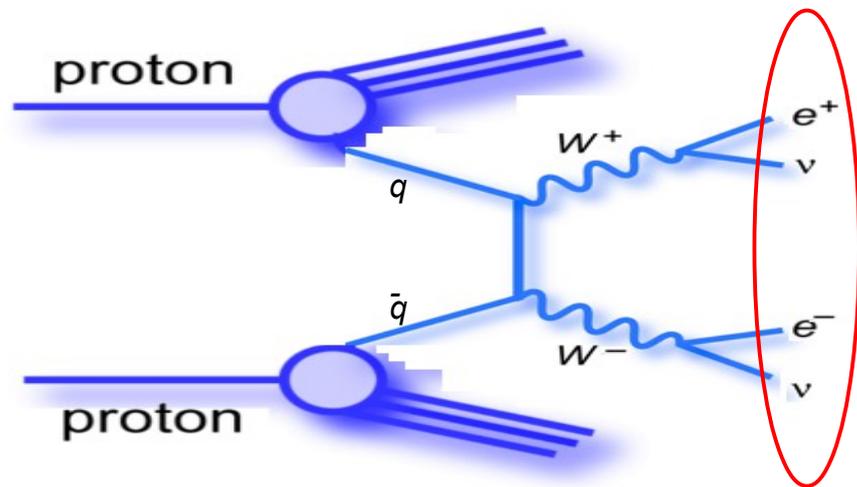
Recherche d'un processus rare



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.

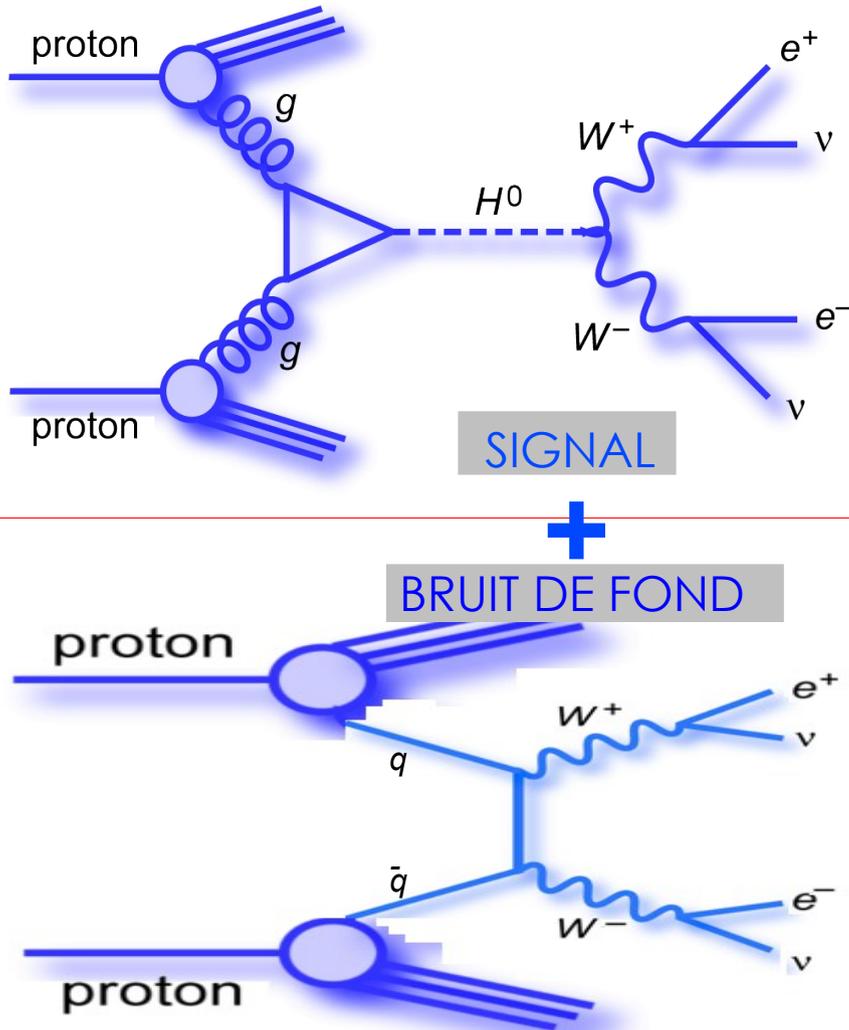


Malheureusement il existe d'autres chaînes qui donnent le même état final – et qui sont possibles même si le Higgs n'existait pas !!

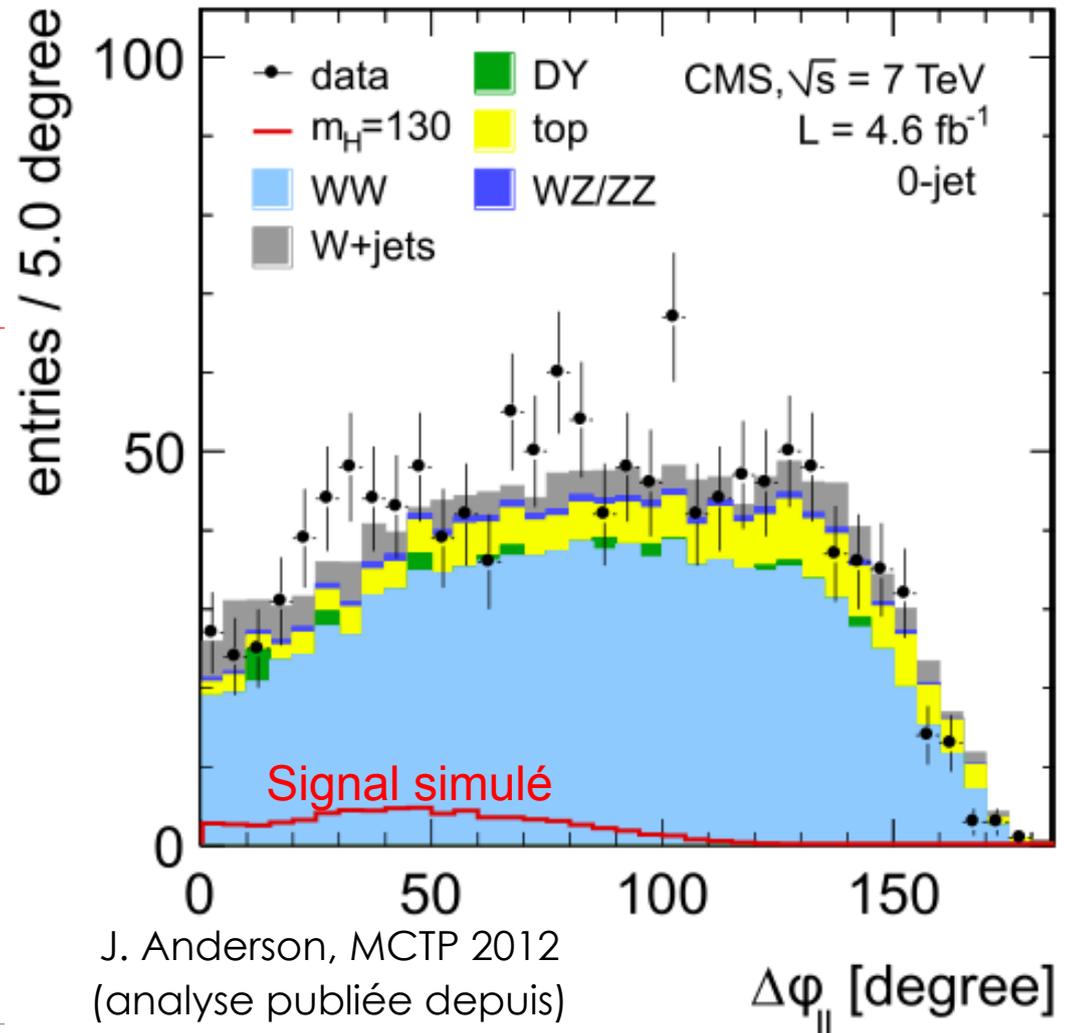
Pour la recherche du Higgs elles constituent **“un bruit de fond”**.

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 ?

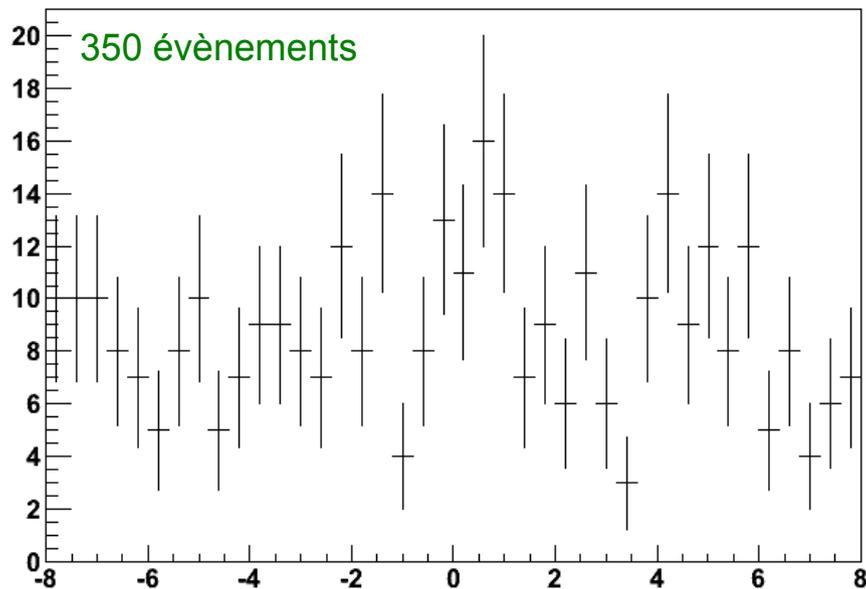


J. Anderson, MCTP 2012
(analyse publiée depuis)

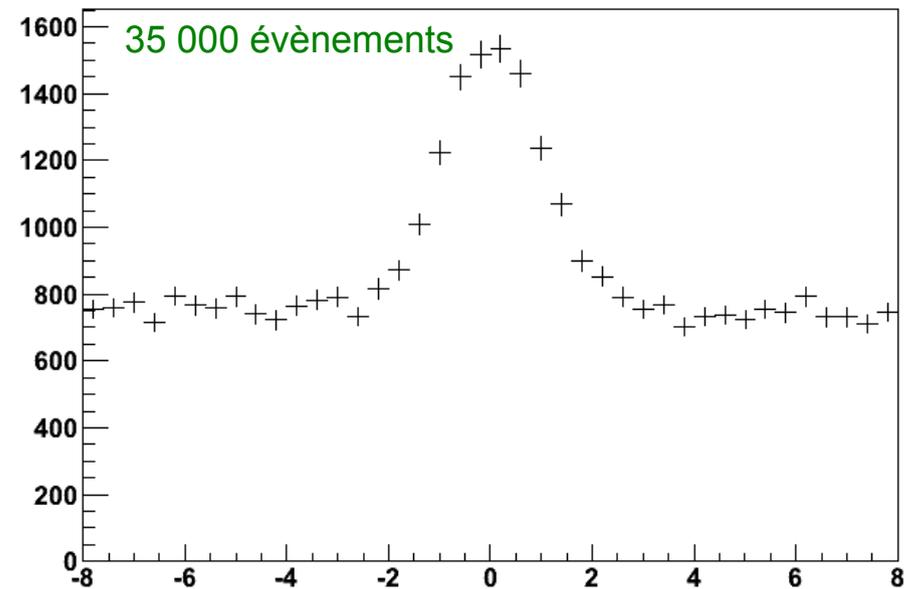
Interlude sur la statistique

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

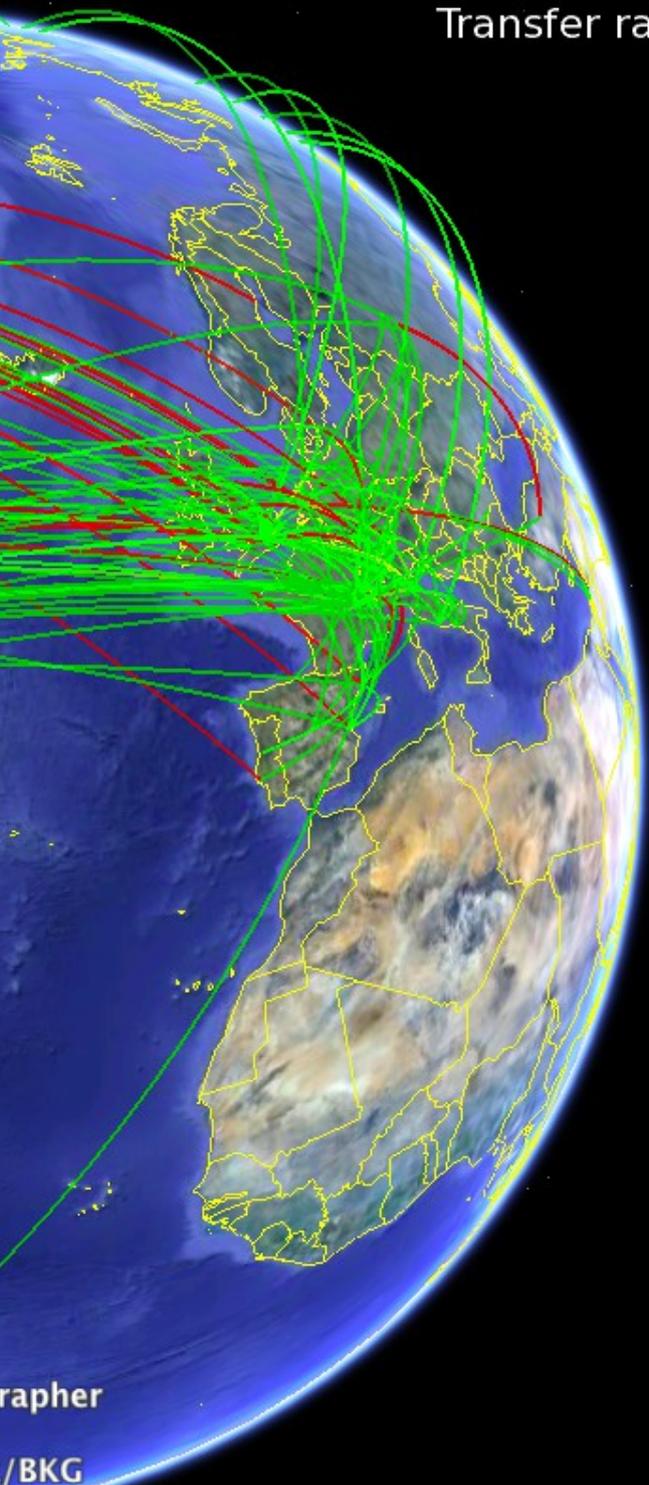


Avec peu de données la situation est bien moins claire :

- 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).

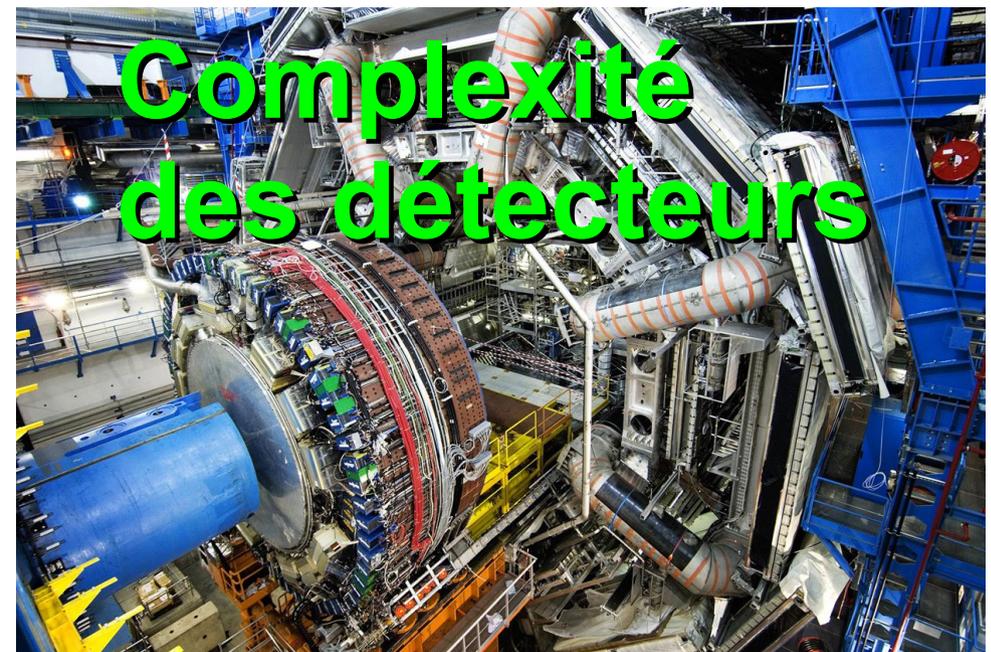
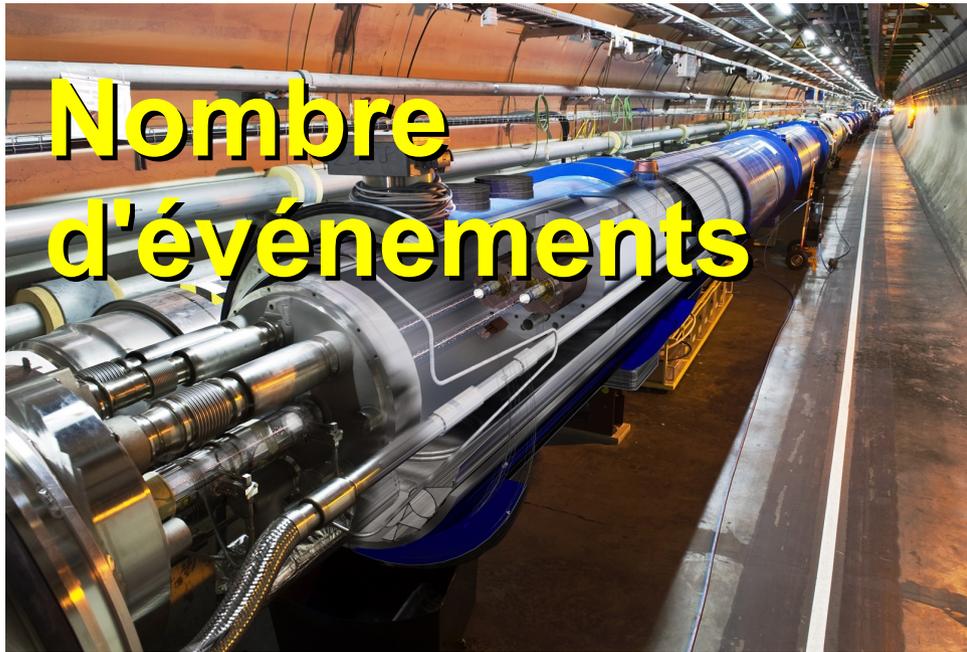
Running jobs: 236092
Transfer rate: 11.41 GiB/sec



Traiter les données

ographer
/BKG
NGA, GEBCO

De nouveaux ordres de grandeur



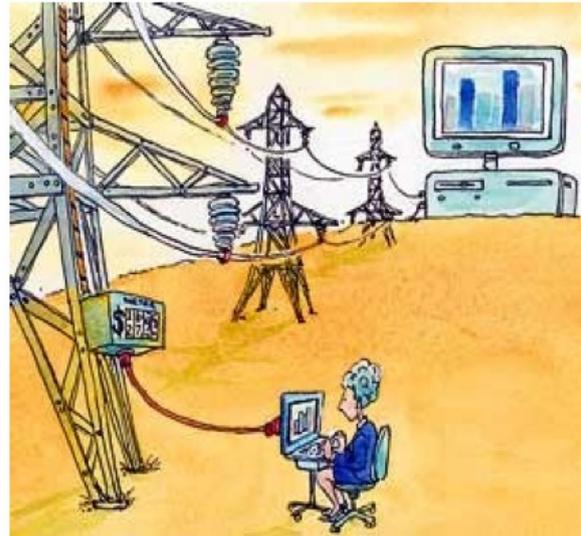
 CMS Experiment at LHC, CERN
Data recorded: Mon Nov 8 11:30:53 2010 CEST
Run/Event: 150431 / 630470
Lumi section: 173

Complexité des algorithmes



Nouvelle problématique

Un centre informatique “classique”

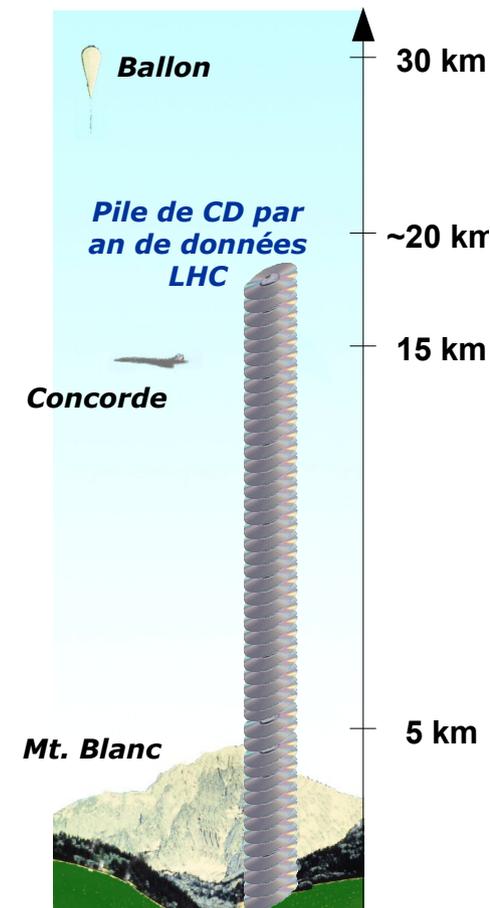


Une nécessité

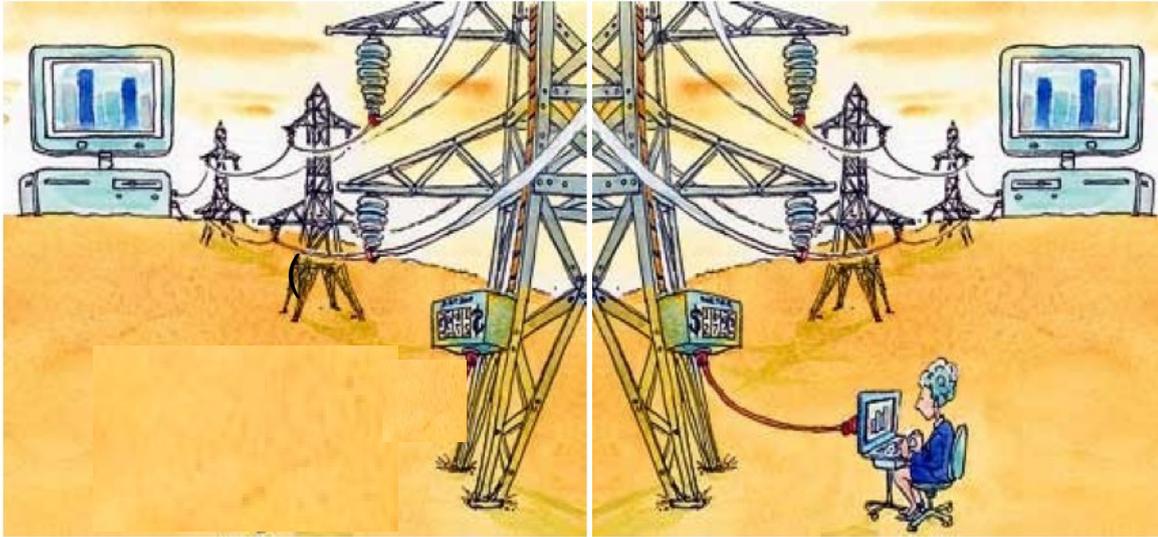
- 23 millions CD produits par un détecteur en un an
- Un site seul n'aurait pas suffi (ressources, infra, \$\$)
- Utilisateurs **distribués partout** dans le monde

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"

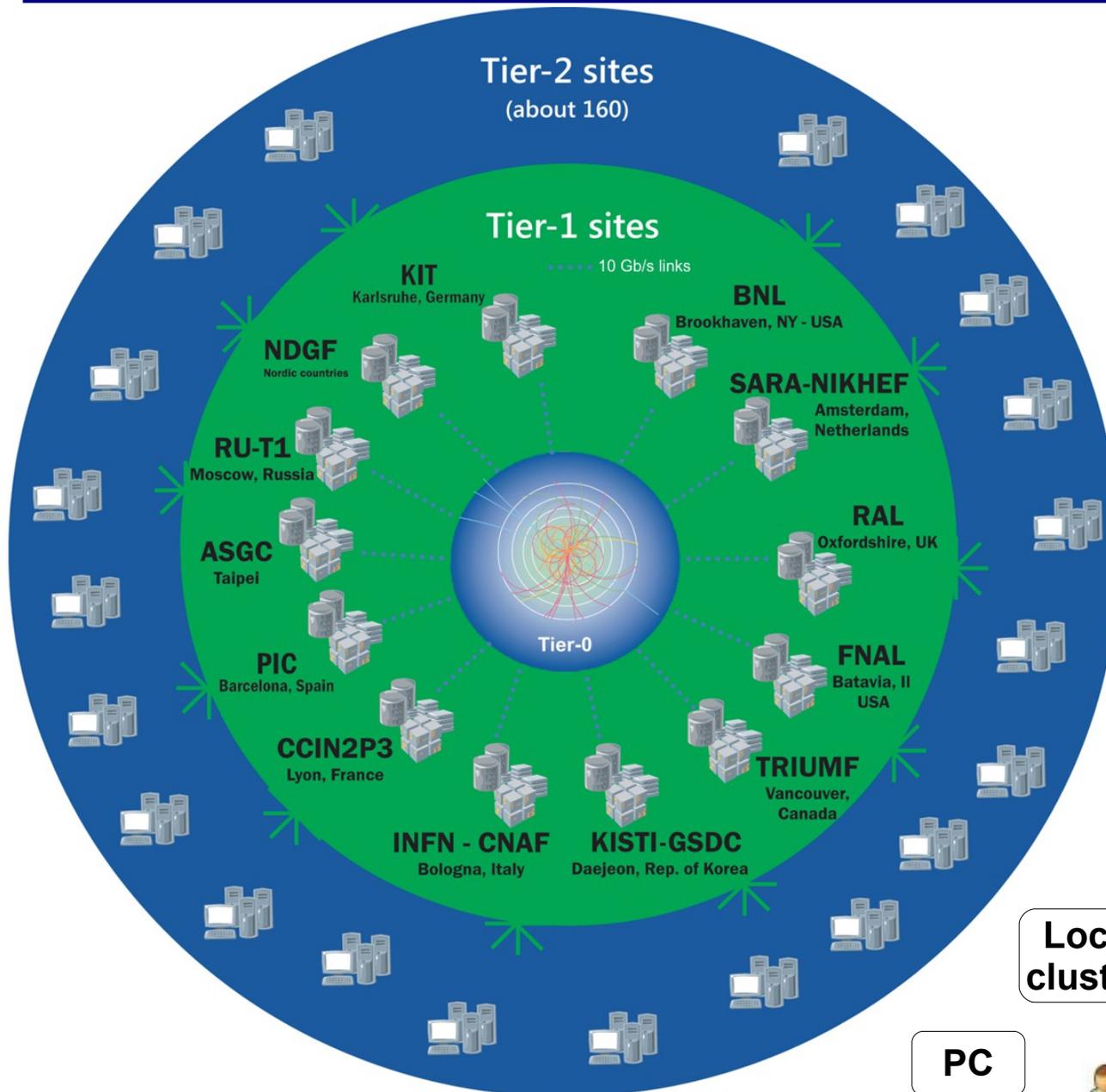
Décision de construire une **grille de calcul pour le LHC**

- 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

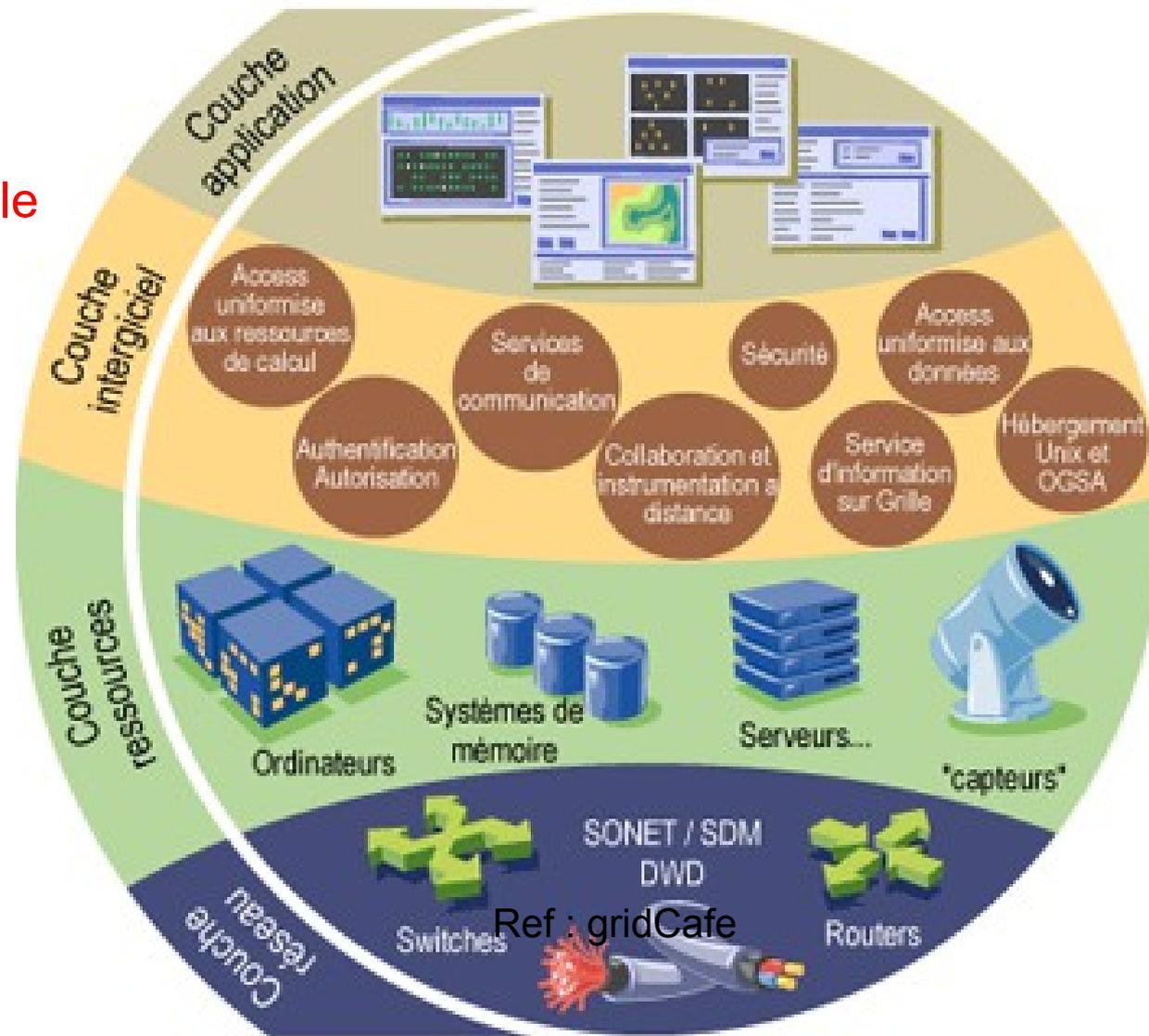
la partie **classique** d'un site

- Calcul & stockage

Le réseau

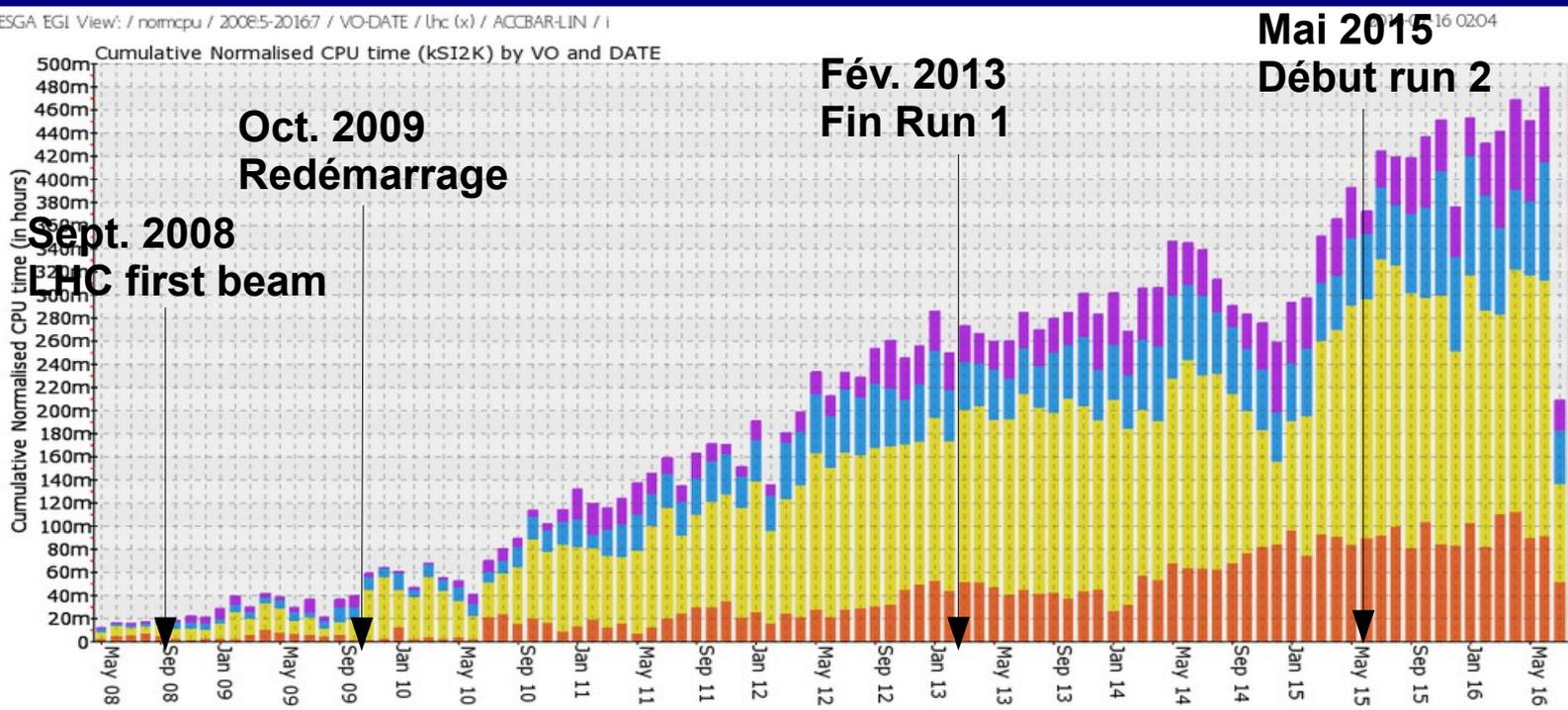
la **moelle épinière**

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



Flash sur les activités de WLCG

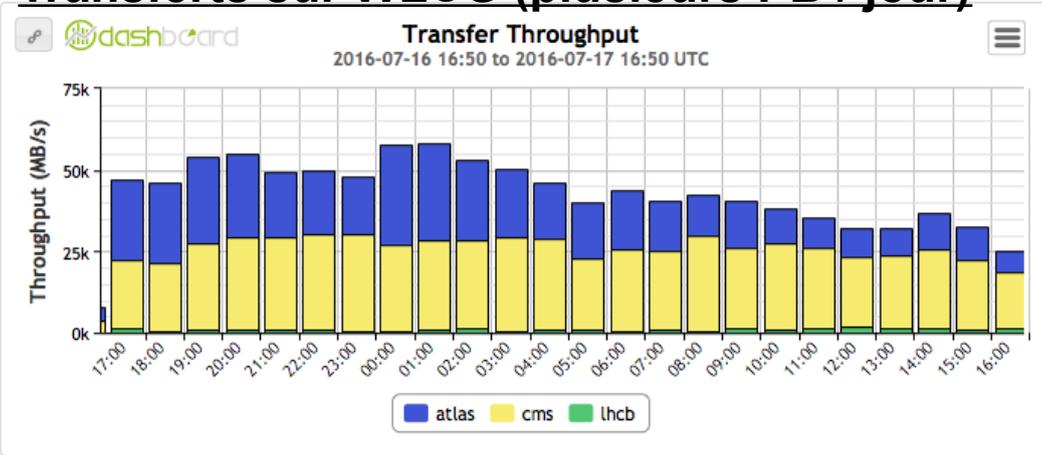
Developed by CESGA EGI View: / normcpu / 2008-5-20167 / VO-DATE / lhc (x) / ACCBAR-LIN / i



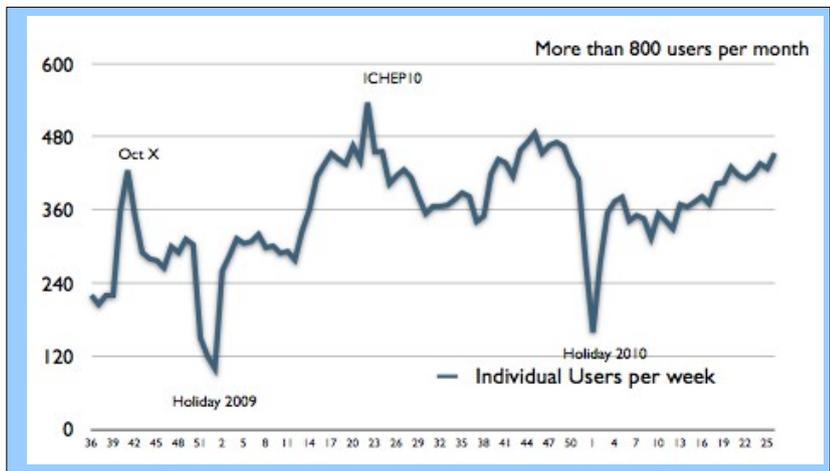
CPU normalisé

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

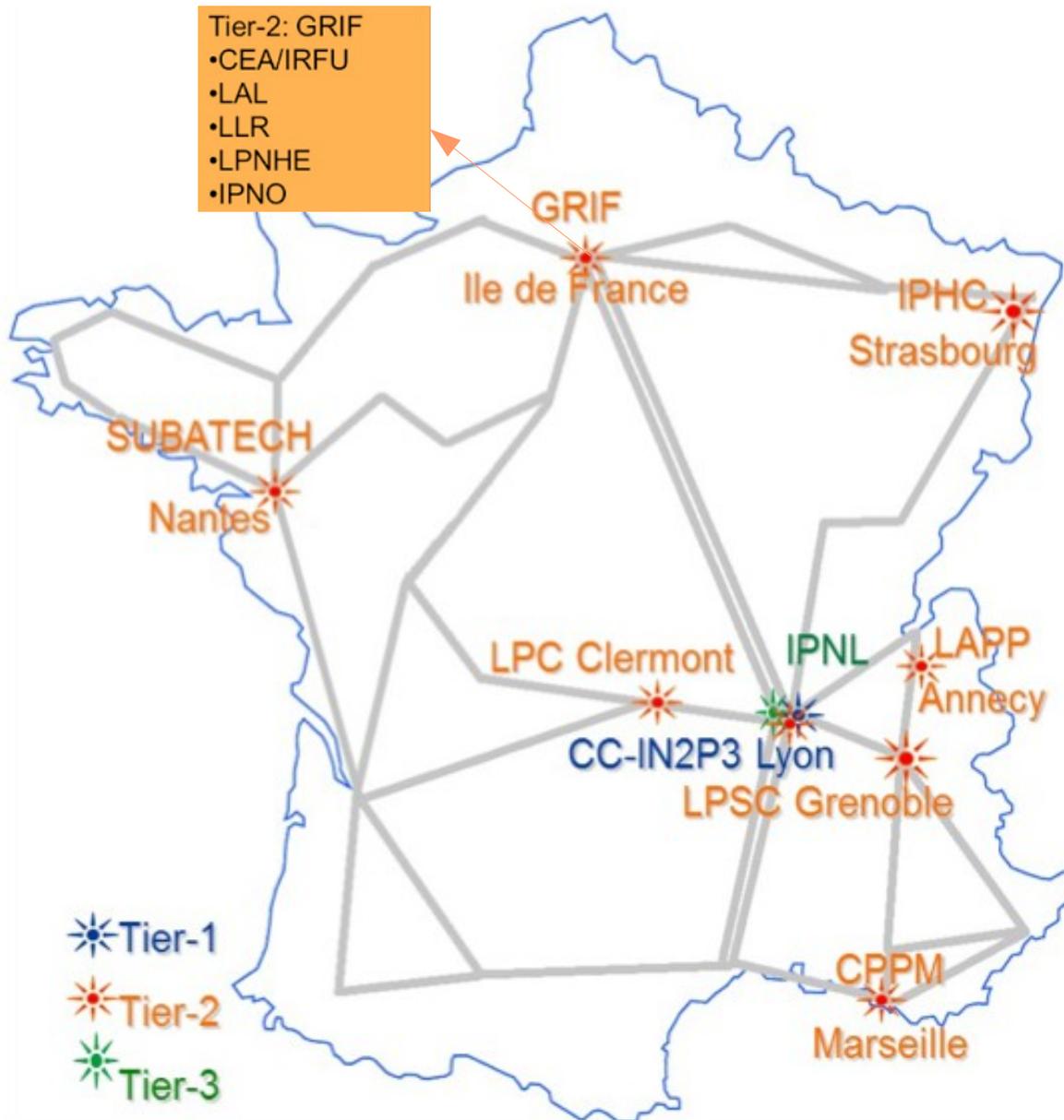
Transferts sur WLCG (plusieurs PB / jour)



Activités d'analyse



Sites WLCG en France



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

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

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

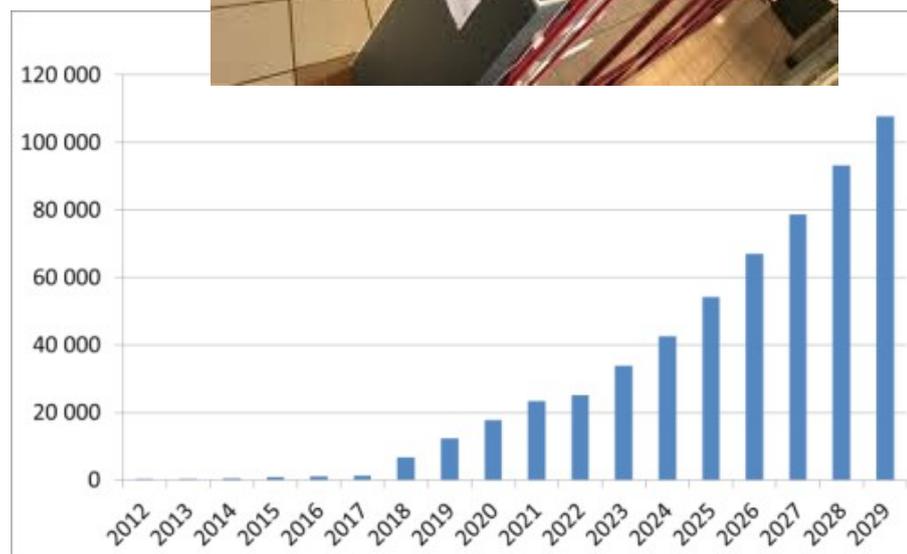
- ~60 ingénieurs
 - Site majeur des expériences LHC (4 fois T1 et T2)
 - Seul site WLCG si complet dans le monde
 - Ouvert à d'autres disciplines (sciences de la vie, ...)
 - 2011 : extension de la salle machine
-
- Assure ~10% des ressources de WLCG
 - LHC ~ 2/3 du centre



Ressources LCG

- Flot de plus de 100 000 tâches / jour
- 40 PB de stockage (disque et bande)

Estimation du nombre de coeurs physiques

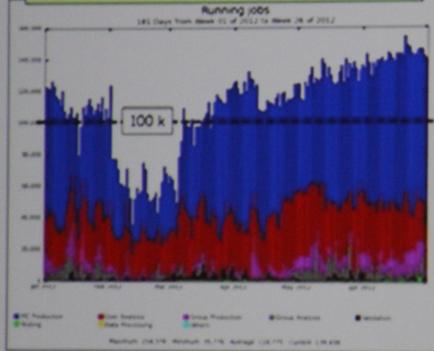


« Computing enables physics »

Photography: C. Biscarat

It would have been impossible to release physics results so quickly without the outstanding performance of the Grid (including the CERN Tier-0)

Number of concurrent ATLAS jobs Jan-July 2012



Includes MC production, user and group analysis at CERN, 10 Tier1-s, ~ 70 Tier-2 federations → > 80 sites

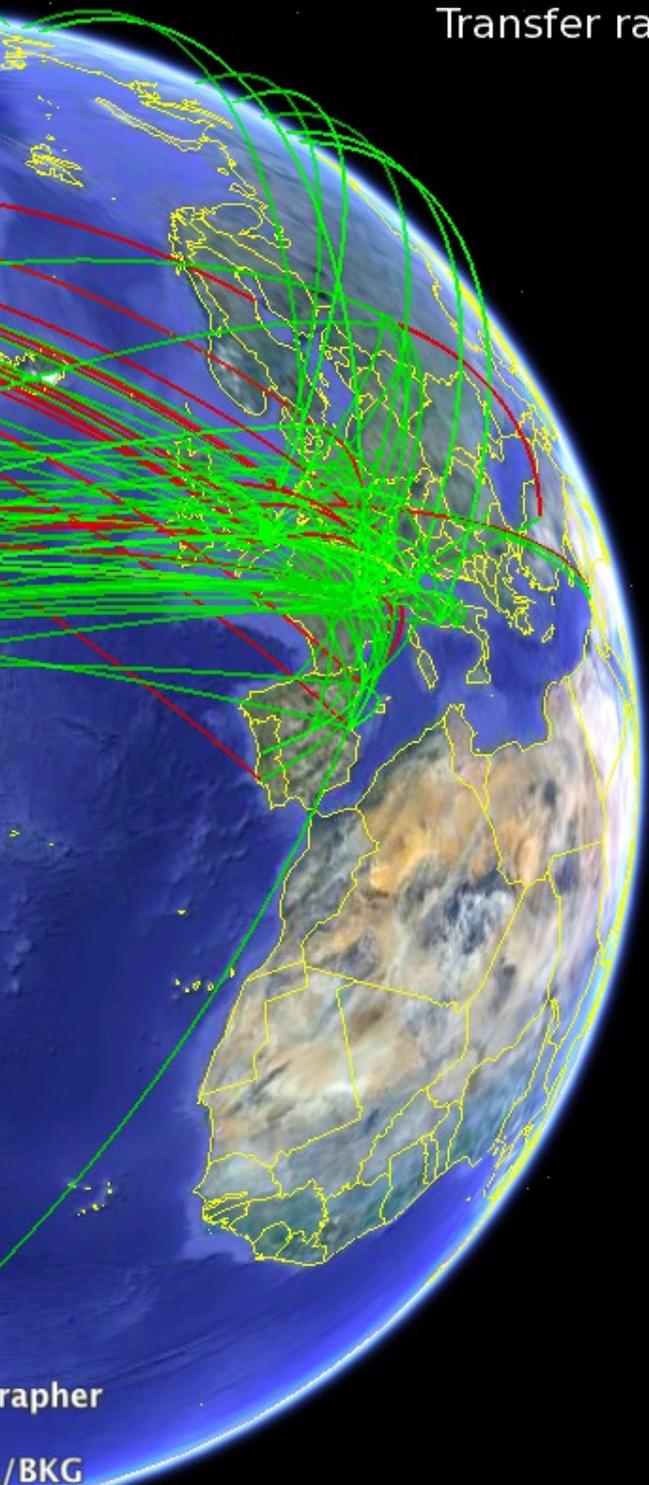
> 1500 distinct ATLAS users do analysis on the GRID

- Available resources fully used/stressed (beyond pledges in some cases)
- Massive production of 8 TeV Monte Carlo samples
- Very effective and flexible Computing Model and Operation team → accommodate high trigger rates and pile-up, intense MC simulation, analysis demands from worldwide users (through e.g. dynamic data placement)

CERN seminar,
July 4th 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

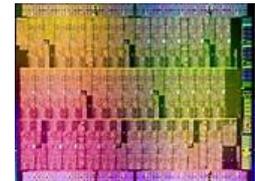
Pendant que nous développons la grille

- 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



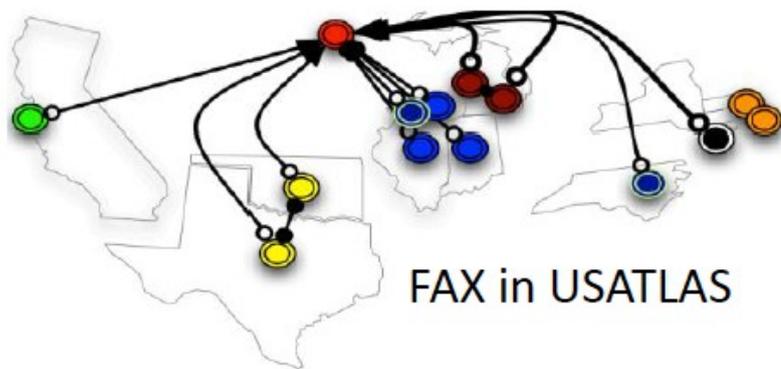
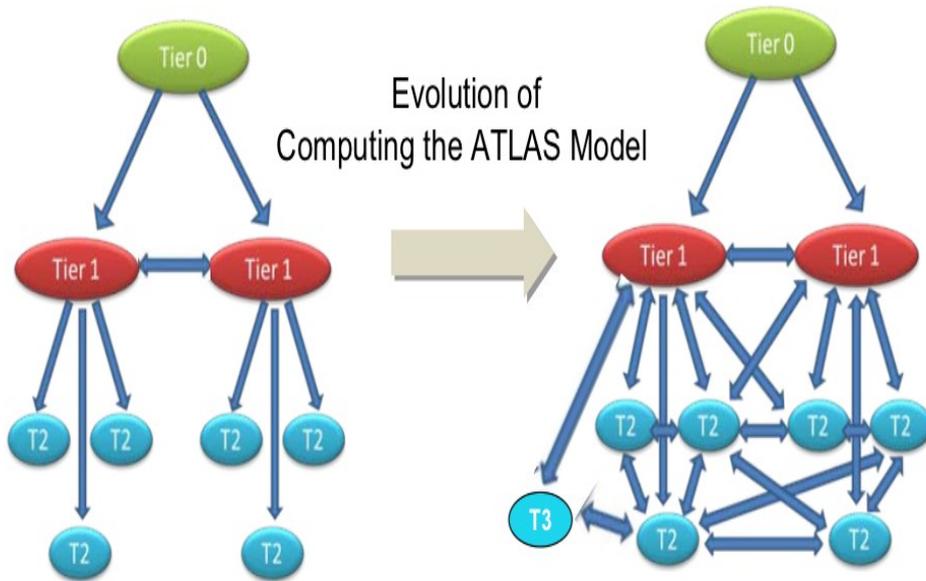
amazon

facebook

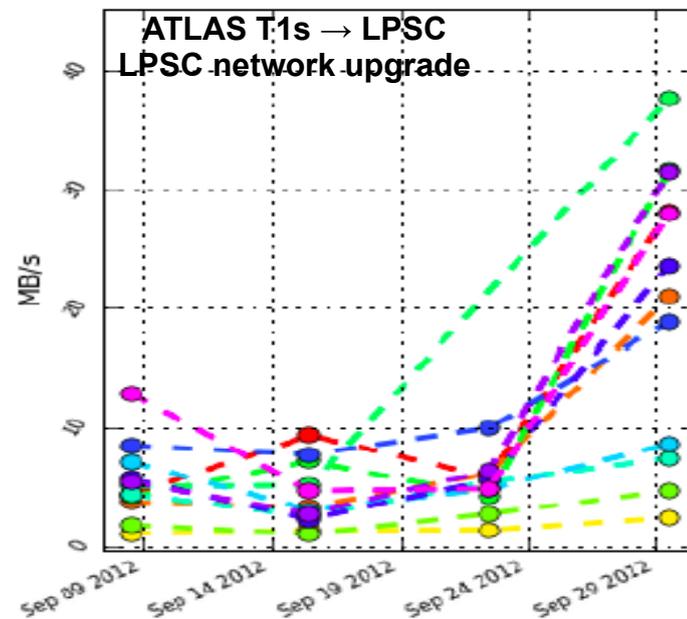


Nouvelles idées sur le marché → intégration dans le calcul pour le LHC

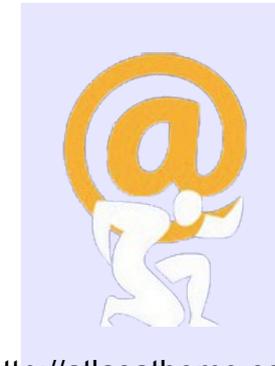
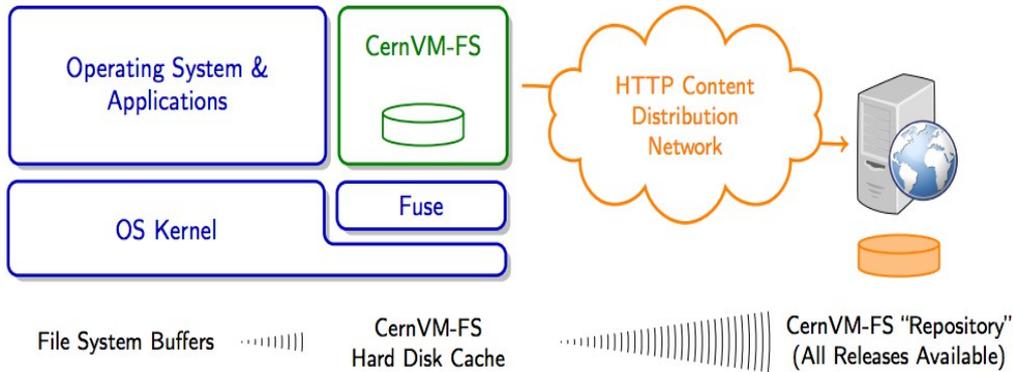
Quelques évolutions



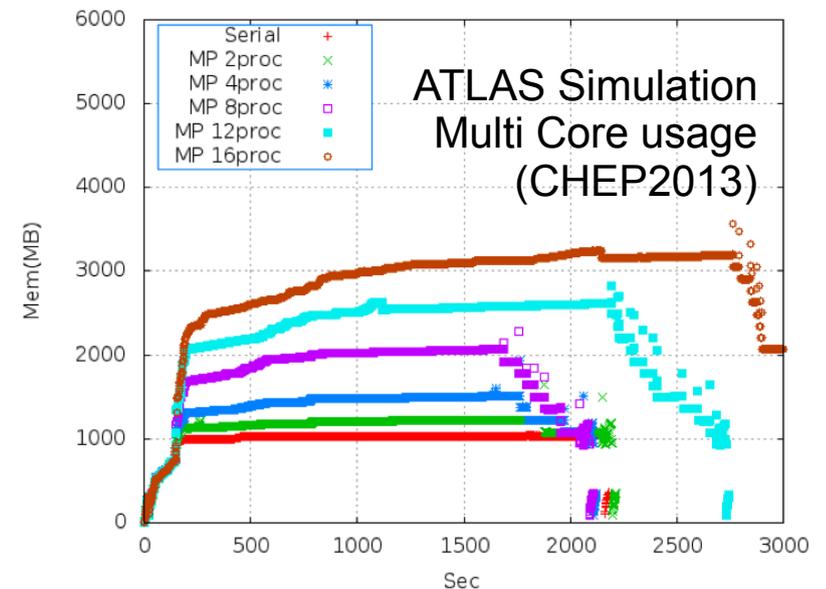
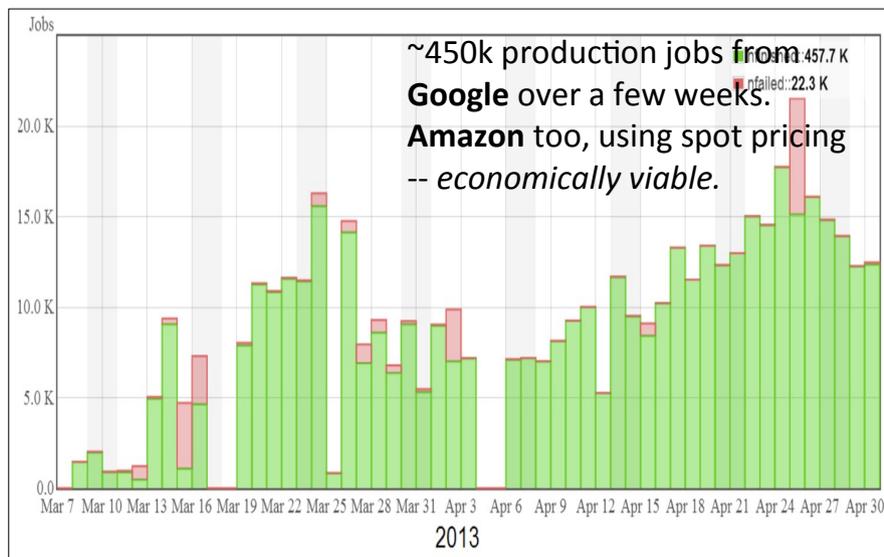
FTS transfer rates



Quelques évolutions



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



Au-delà de la physique des particules

Un modèle de calcul très particulier

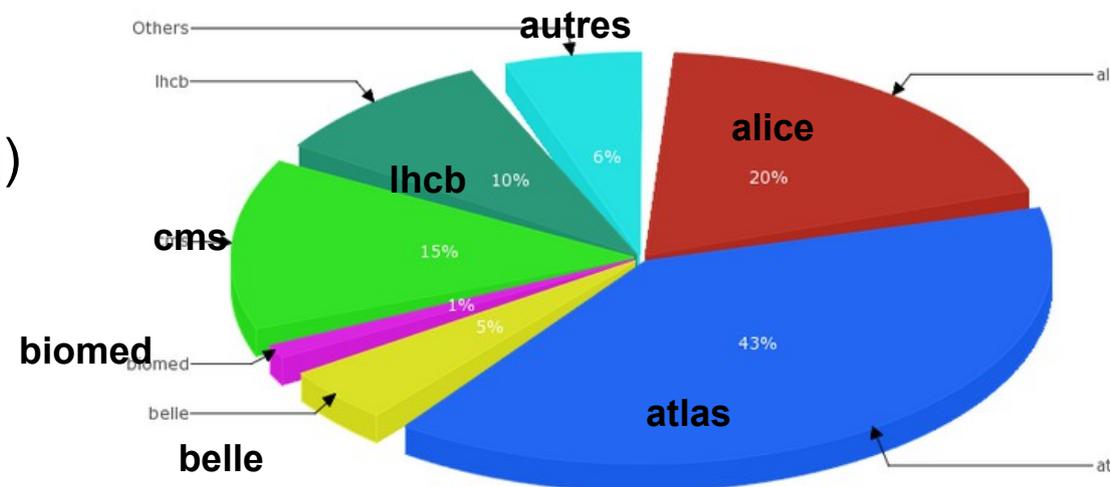
- ▶ Depuis toujours : de très nombreux petits événements indépendants
- ▶ La grille de calcul est idéale (**High Throughput Computing**)

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
(année 2015)

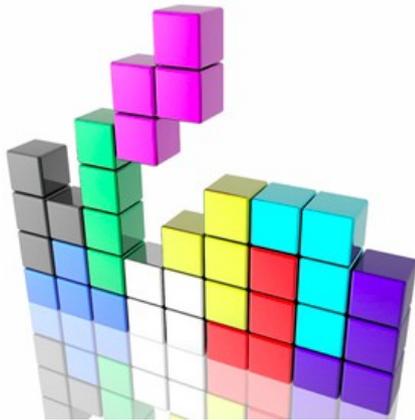
<https://accounting.egi.eu/>



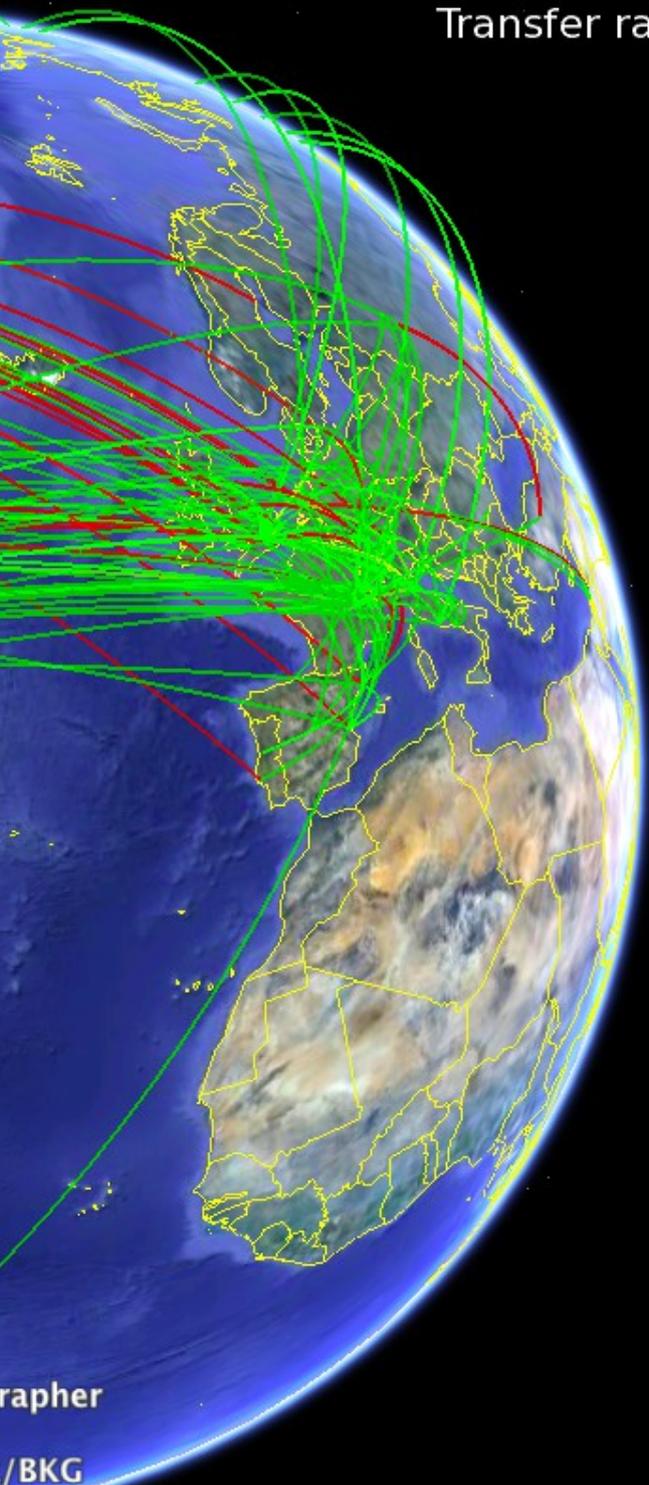
Un autre modèle que la grille

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, méca. des fluides ...
- HPC (**High Performance Computing**)
 - Pyramide de Tiers-0/1/2 en France
 - Machine Curie : ~100 000 cœurs, 15 PB de stockage



Running jobs: 236092
Transfer rate: 11.41 GiB/sec

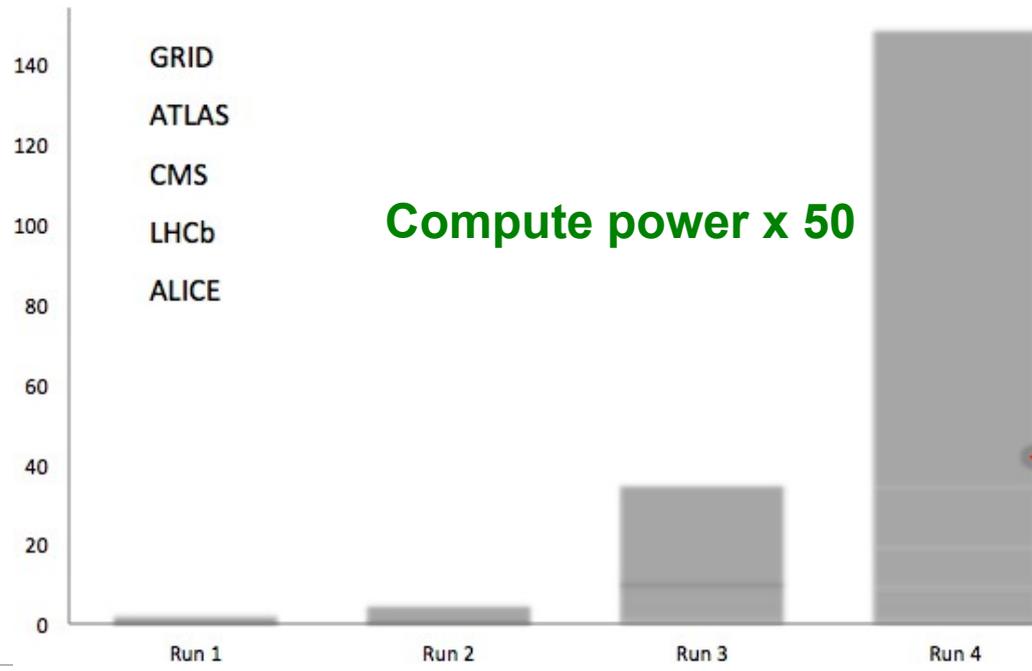
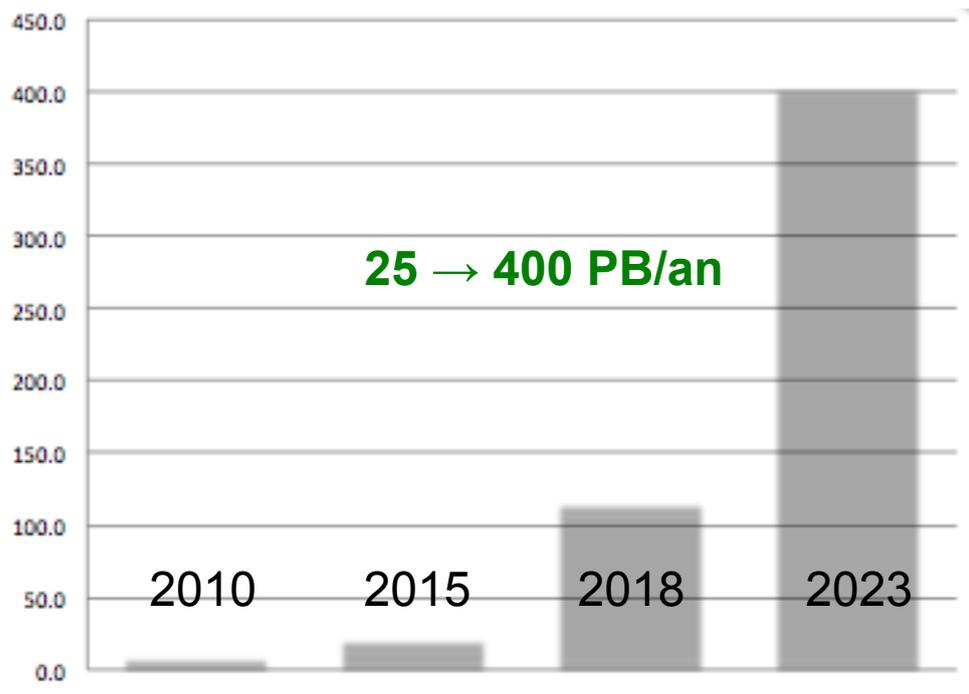
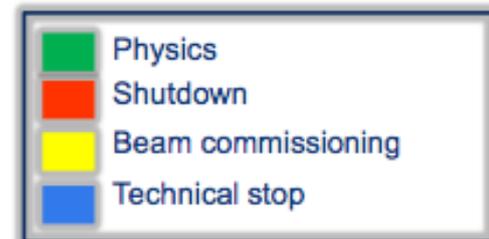
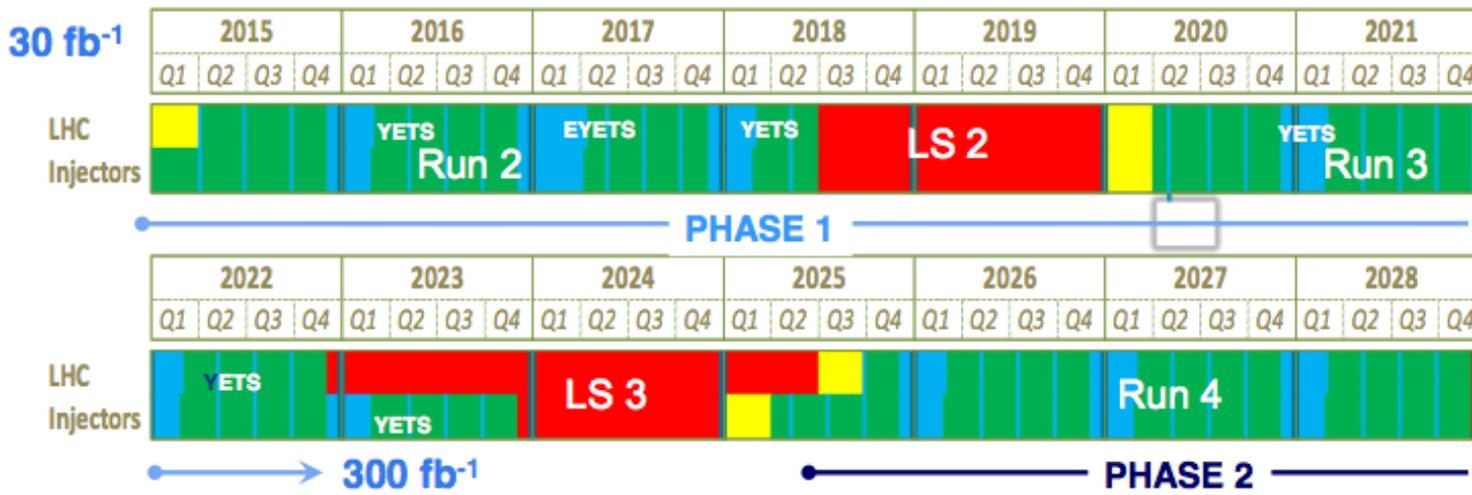


Pour finir

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 quatre 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 !**