

Enregistrer et analyser pour découvrir

Catherine Biscarat

catherine.biscarat@l2it.in2p3.fr

Laboratoire des 2 Infinis - Toulouse



Rencontres de physique de l'infiniment grand à l'infiniment petit,
le mercredi 13 juillet 2022

Ensemble, aujourd'hui

Cadre de la physique des particules

1/ Prise de données

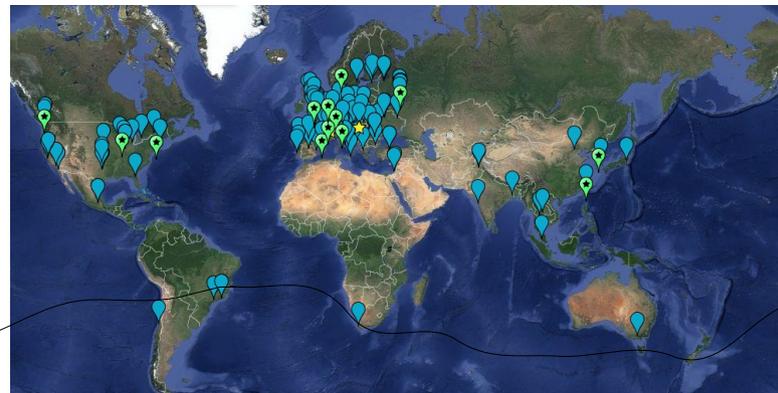
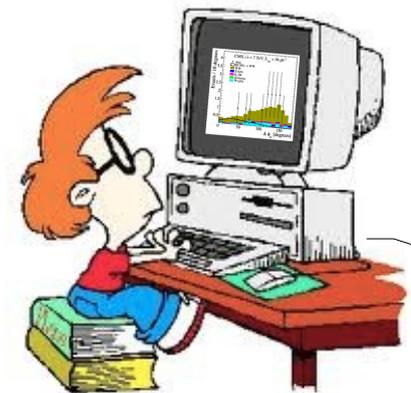
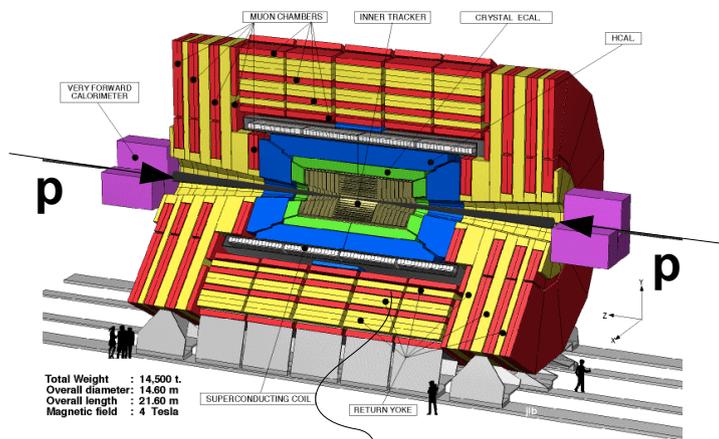
- Choix/tri des événements

2/ Analyse des données

- Traitement successifs → histogramme final

3/ Modèle de calcul

- 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 pour ATLAS dans un centre de calcul majeur

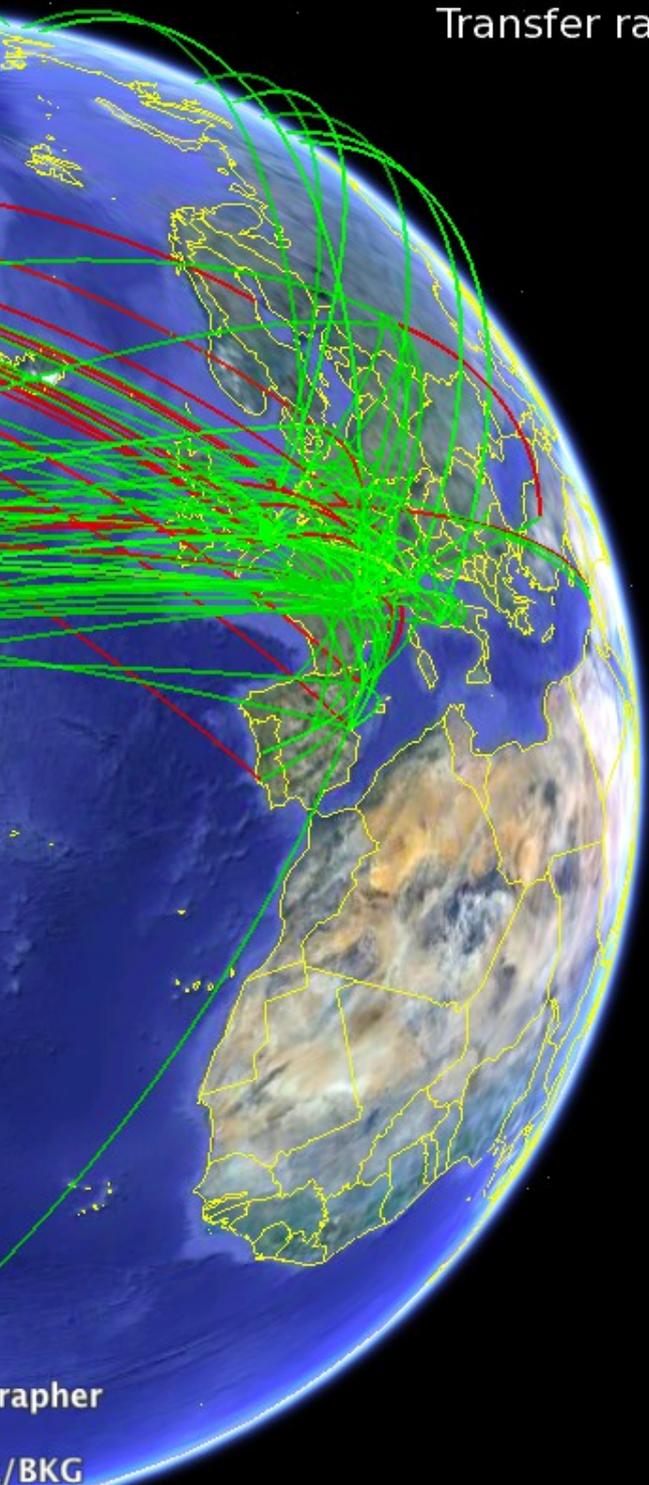
- Depuis 2011 : ingénieur en informatique au CNRS (attachée à l'IN2P3)

- grilles de calcul, infrastructures
- portage d'applications sur les grilles
- responsable technique du projet LCG-France
 - pour fournir les ressources de calcul et de stockage aux expériences du LHC



- depuis 2019 : orientation vers le calcul scientifique
- membre fondateur d'un nouveau laboratoire IN2P3 à Toulouse
 - responsable de l'équipe « calcul, algorithmes et données » (ATLAS et LISA)

Running jobs: 236092
Transfer rate: 11.41 GiB/sec



Enregistrer les données

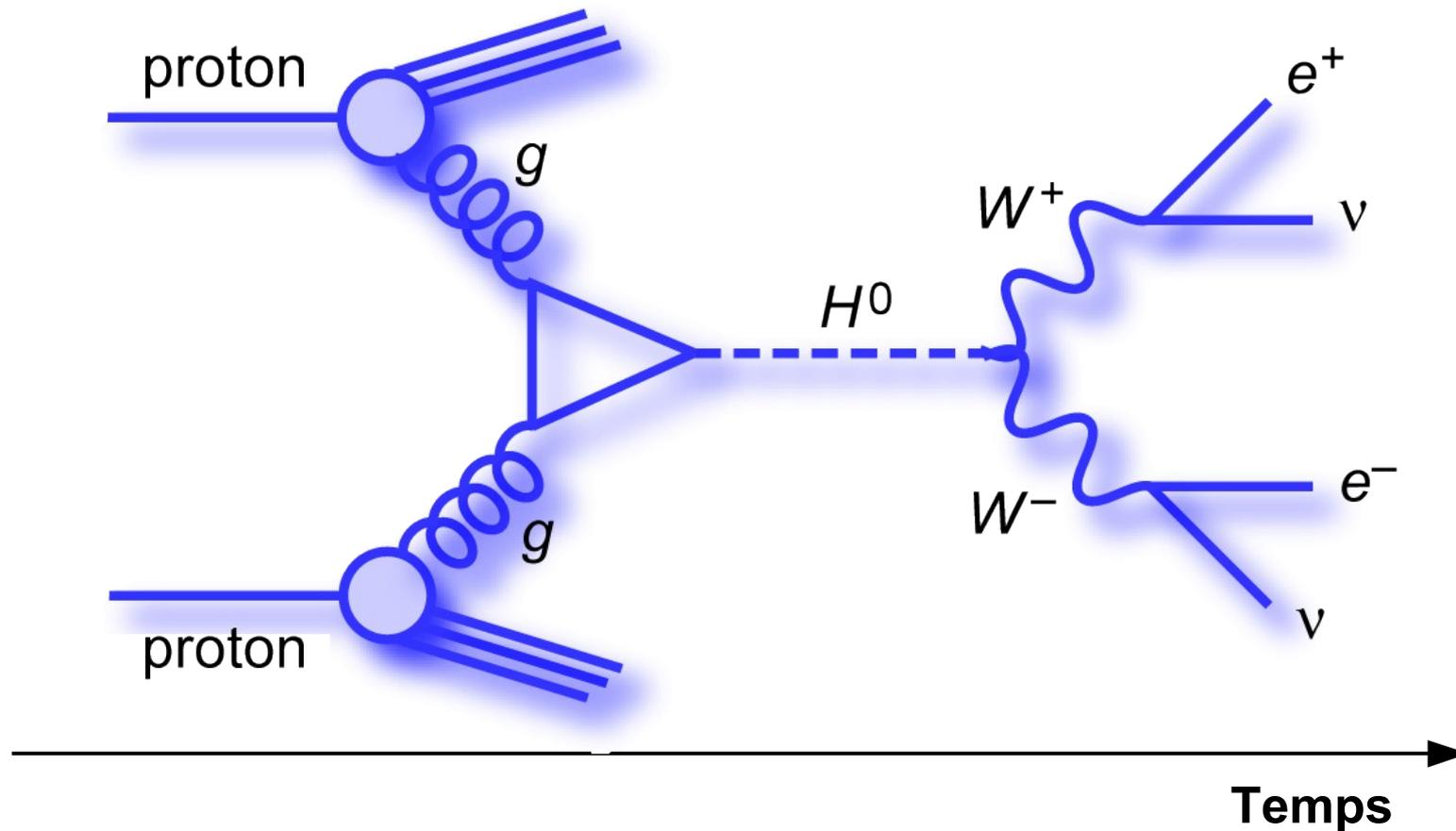
ographer

/BKG

NGA, GEBCO

Comment chercher le Higgs ?

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



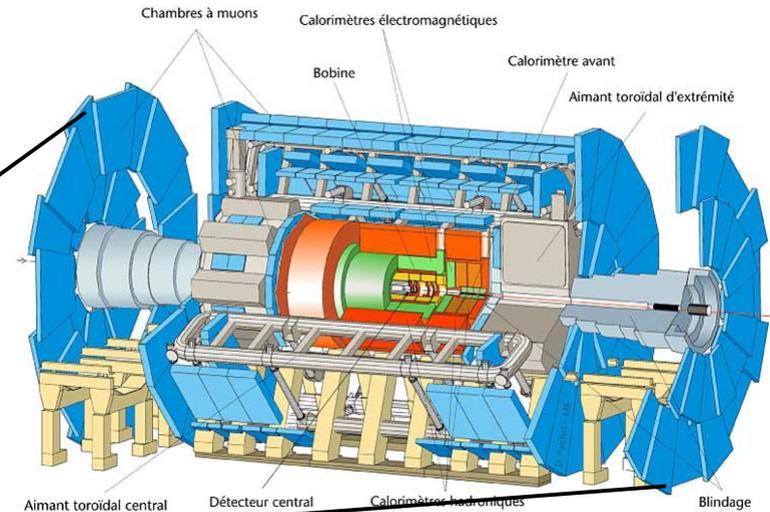
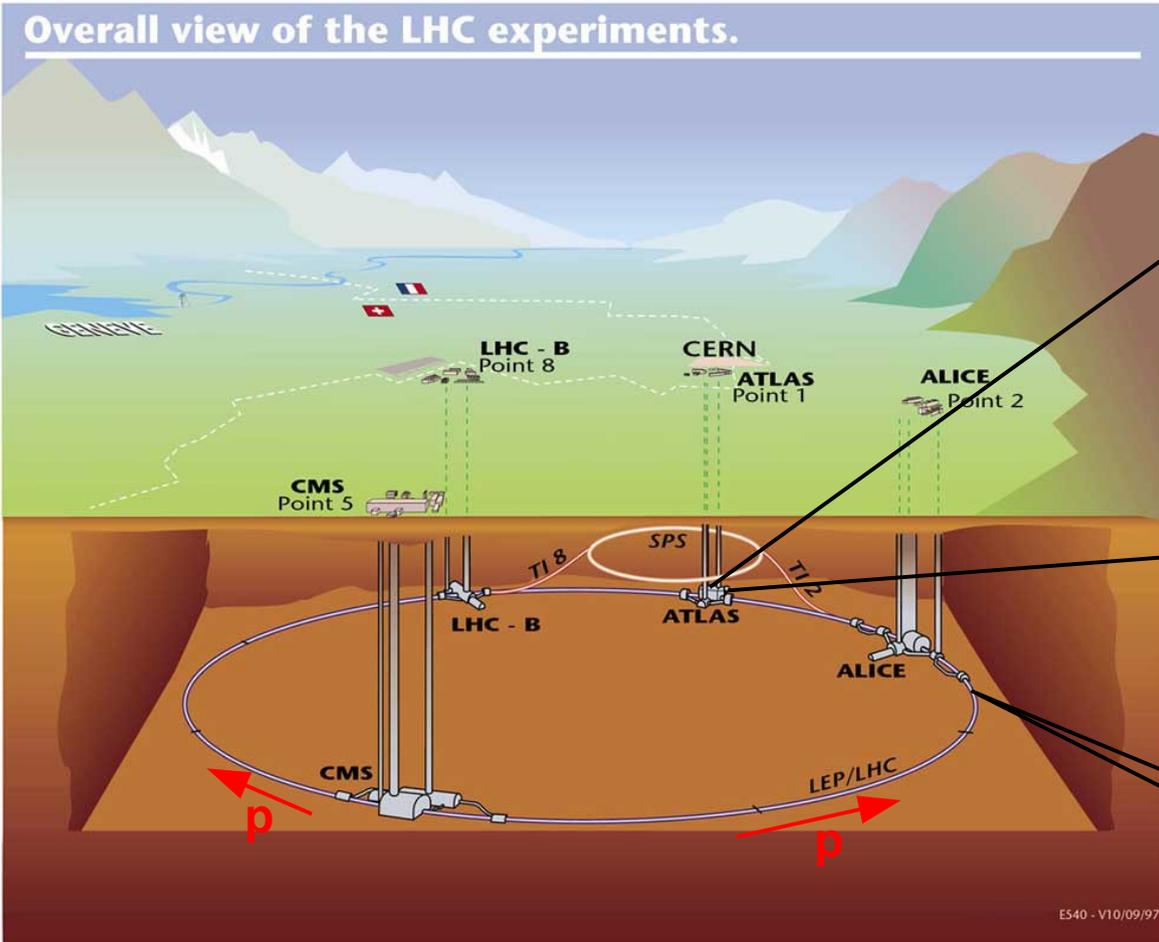
deux protons
entrent en collision

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)

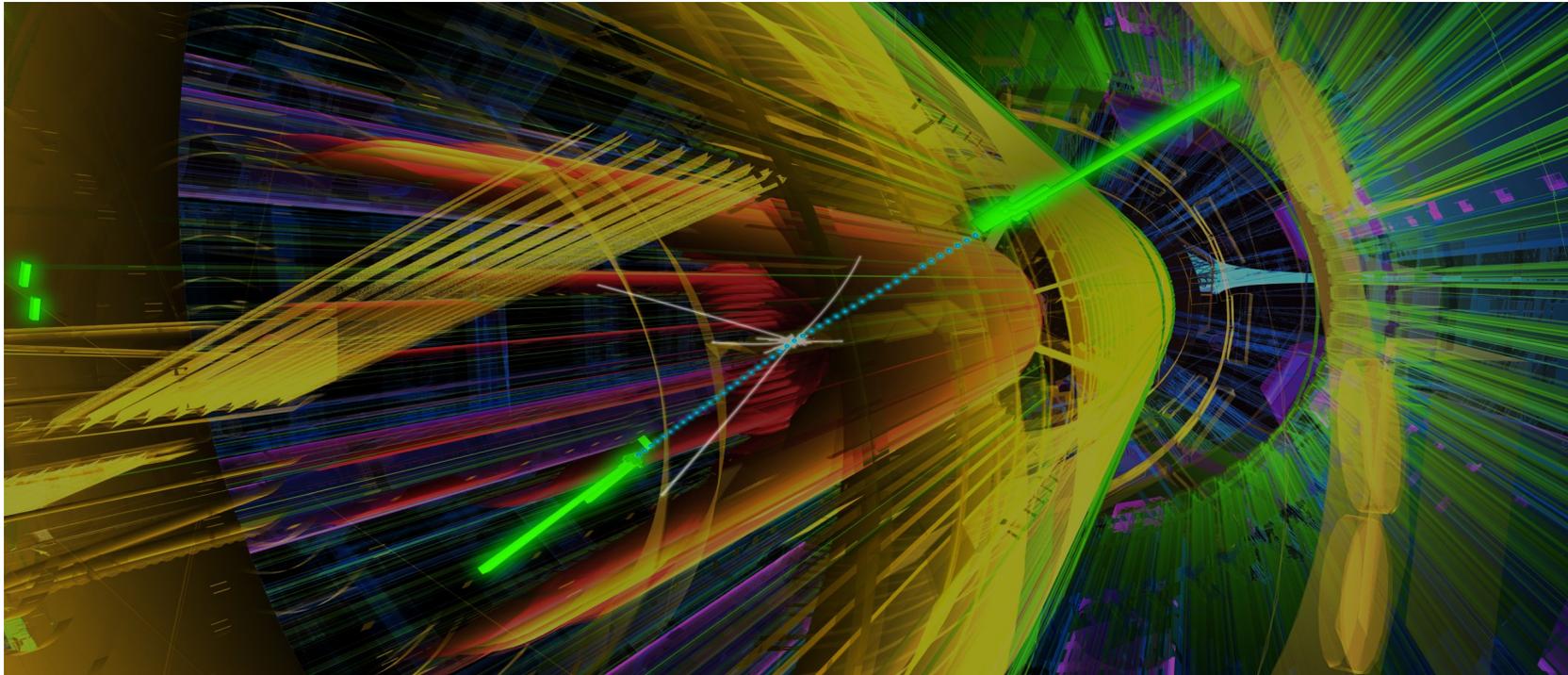
les particules
stables dans
l'état final
(ici e , ν) atteignent
le détecteur

L'appareillage en pratique



Les « événements »

- Nous prenons une image des collisions (une par une)
 - Appelé un « événement »
 - 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
- Distance lune-terre / 3 mois

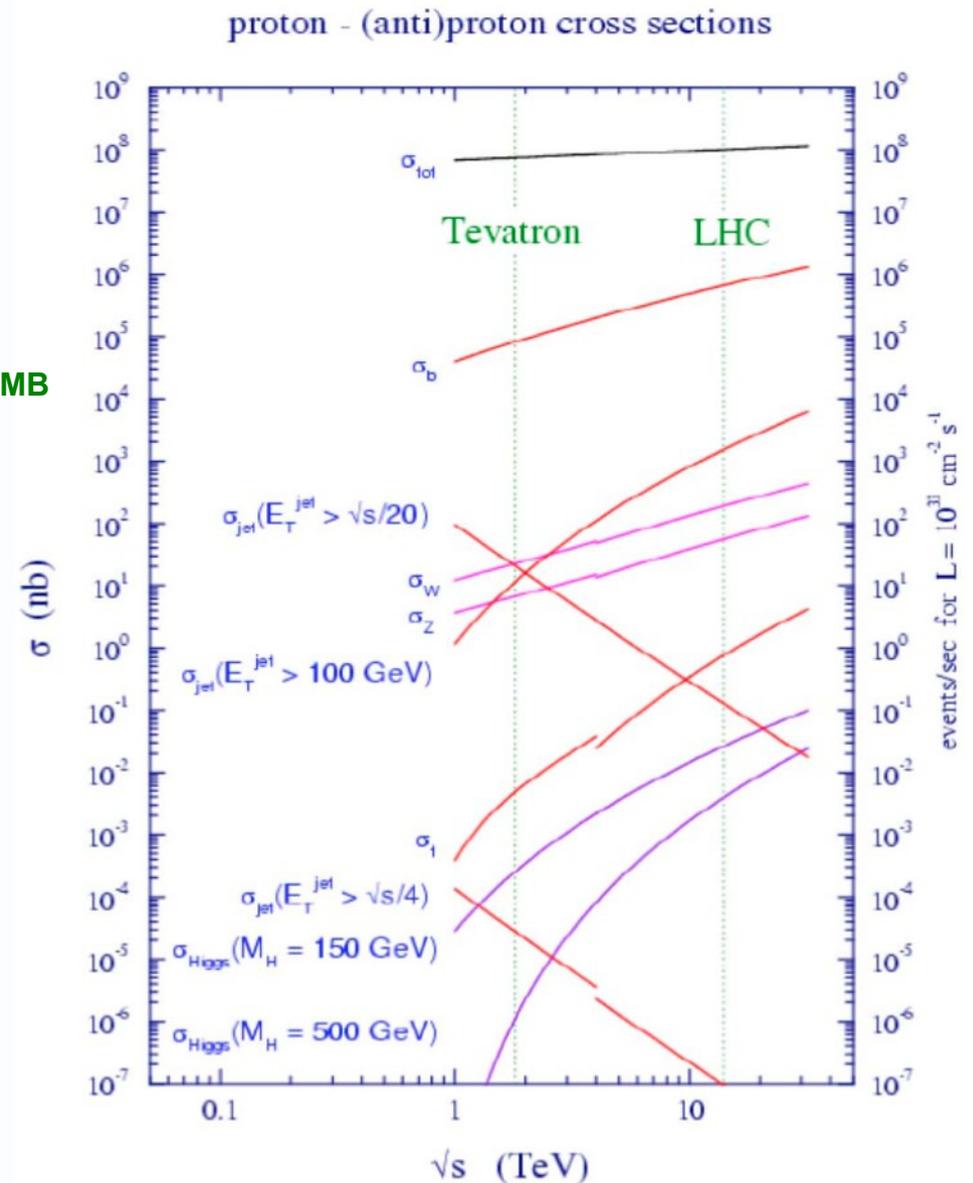
- Difficile à transmettre
- Coûteux à stocker
- Long à analyser

1 CD = 650 MB

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)

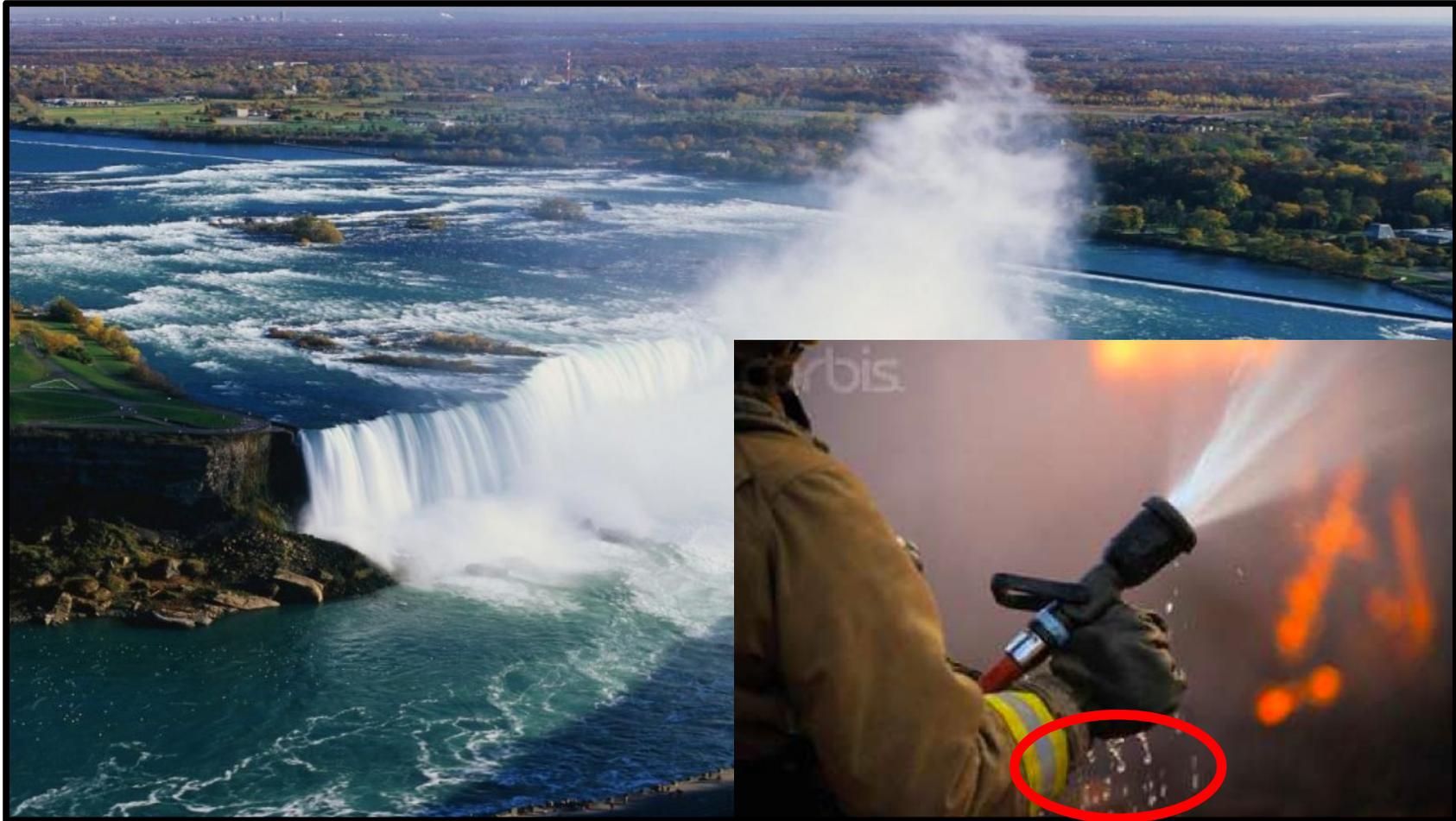
Quelques ordres de grandeur



Ce que nous pouvons nous permettre d'écrire : **lance à incendie** (100 gpm).

- Nous choisissons et stockons ~200 événements par seconde,
- Soit **½ CD écrit 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)

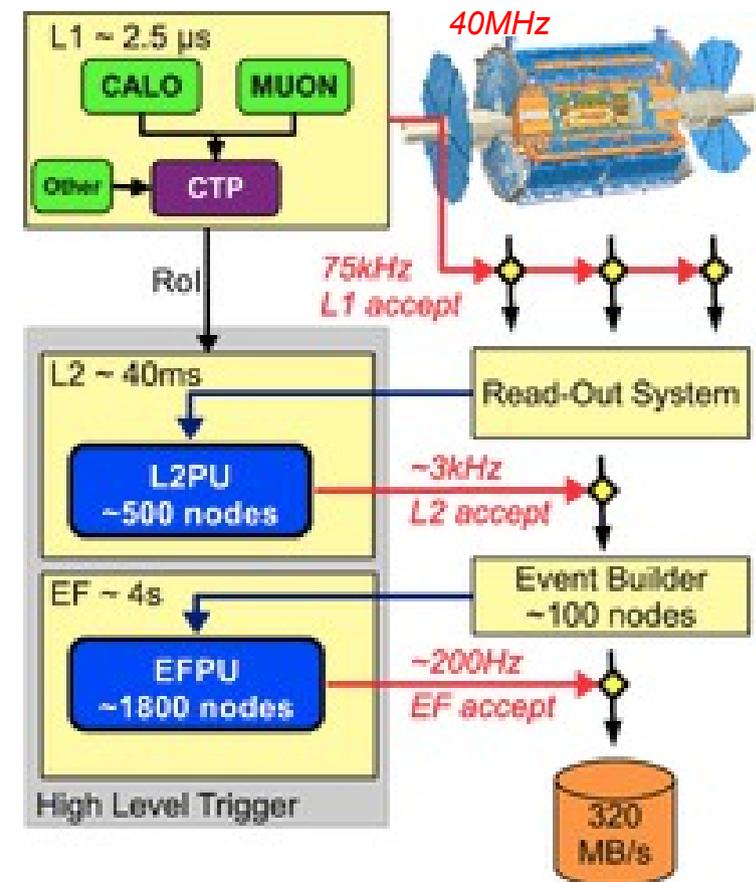
Niveau 2

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

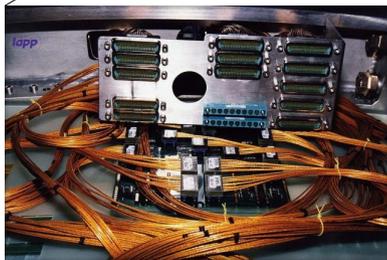
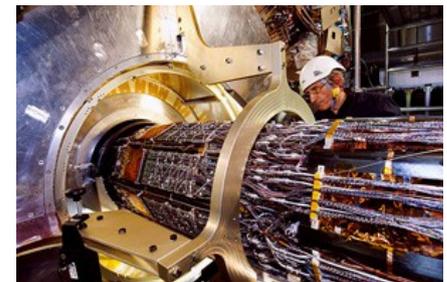
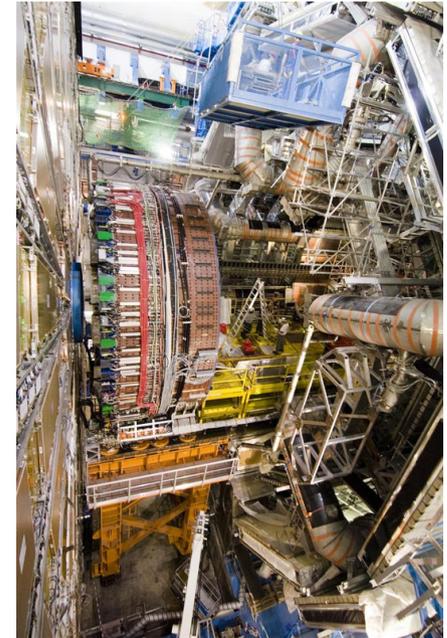
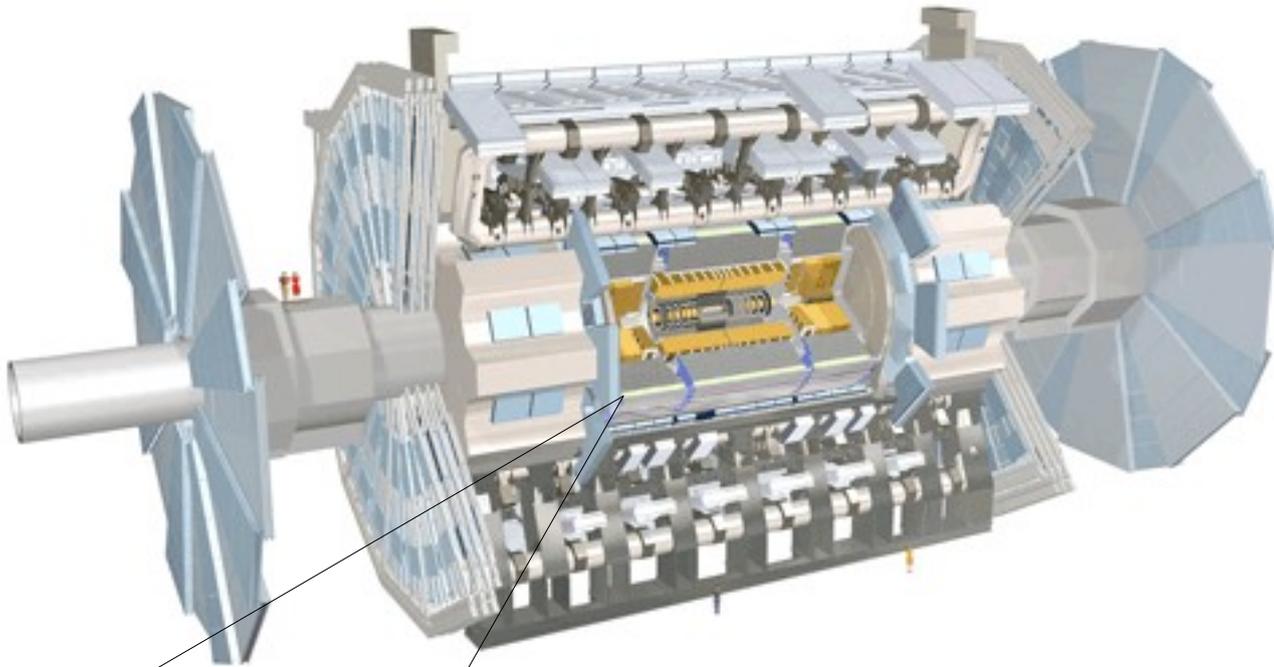
Niveau 3

- 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
```

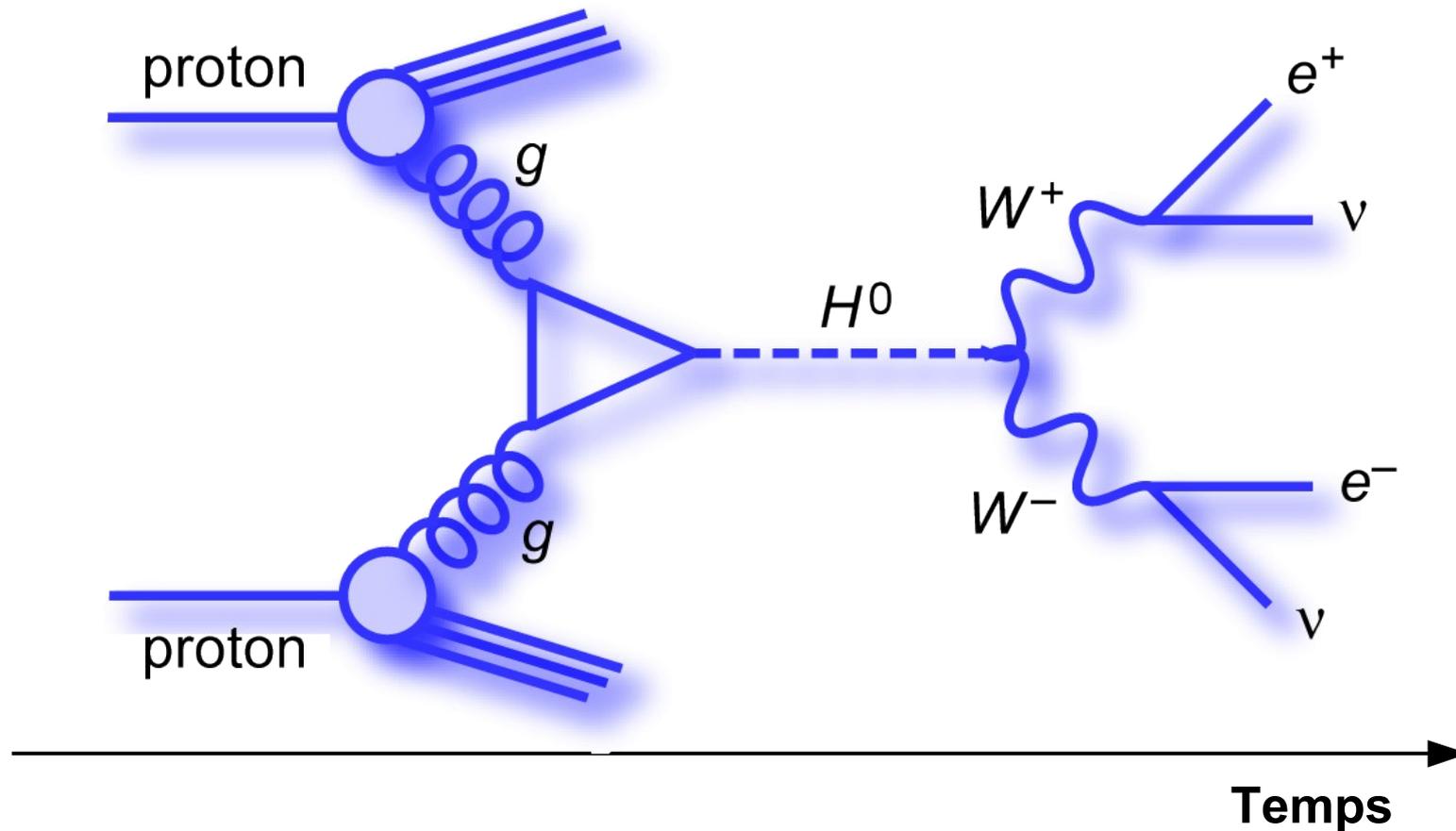
Stockées sur bandes
magnétiques au CERN



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

Comment chercher le Higgs ?

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



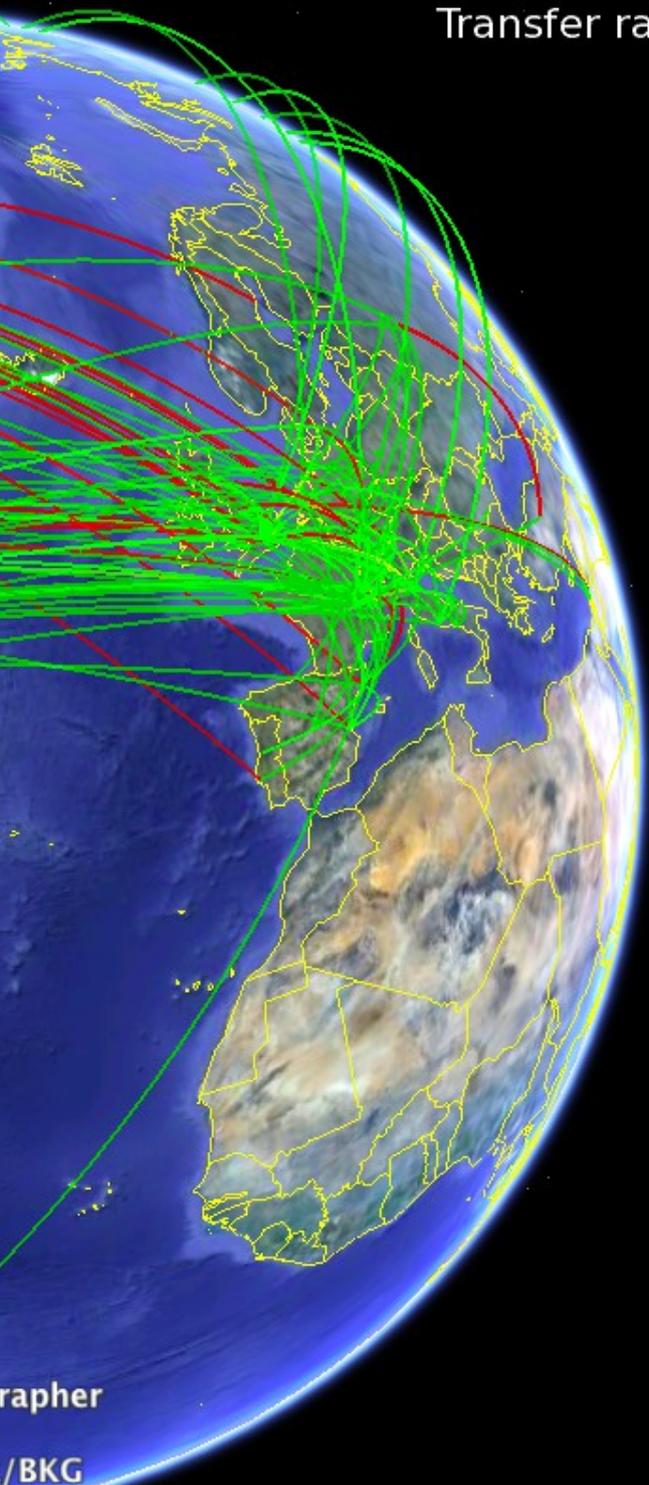
deux protons
entrent en collision

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

Running jobs: 236092
Transfer rate: 11.41 GiB/sec



Analyser les données

ographer
/BKG
NGA, GEBCO

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 traitement

~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

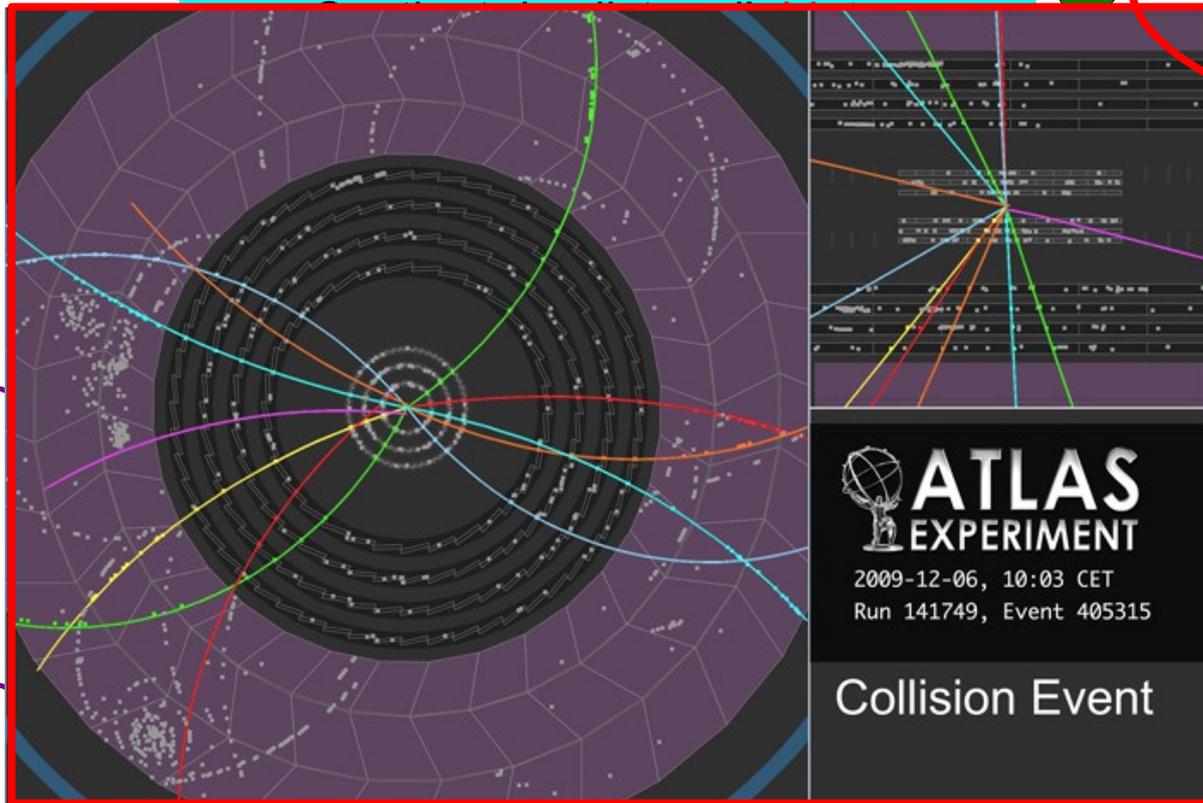
- Hits → traces
- 1-3 fois par an
- Calibration améliorée

Identification des objets

- Interactions connues

Analyse des évts reconstruits

- sélection des évts intéressants
- 10 fois par jour



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

Vers l'analyse des données

Taille/évt

Format de données

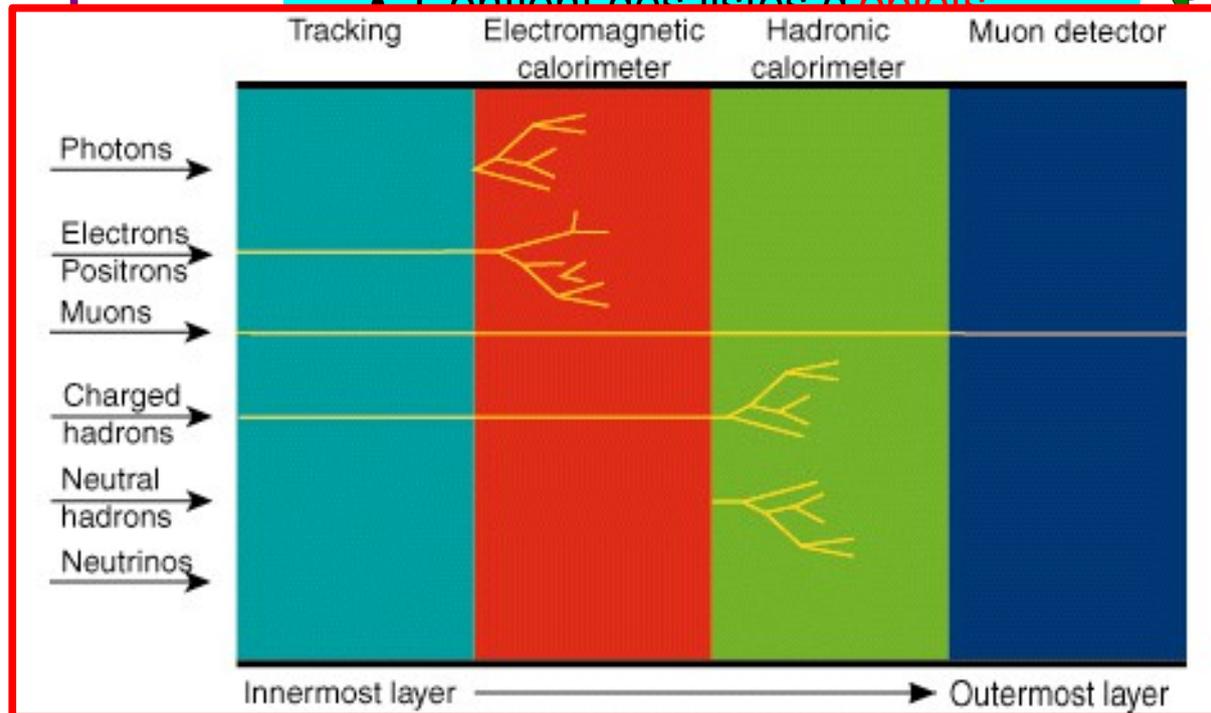
Type de traitement

~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



- 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

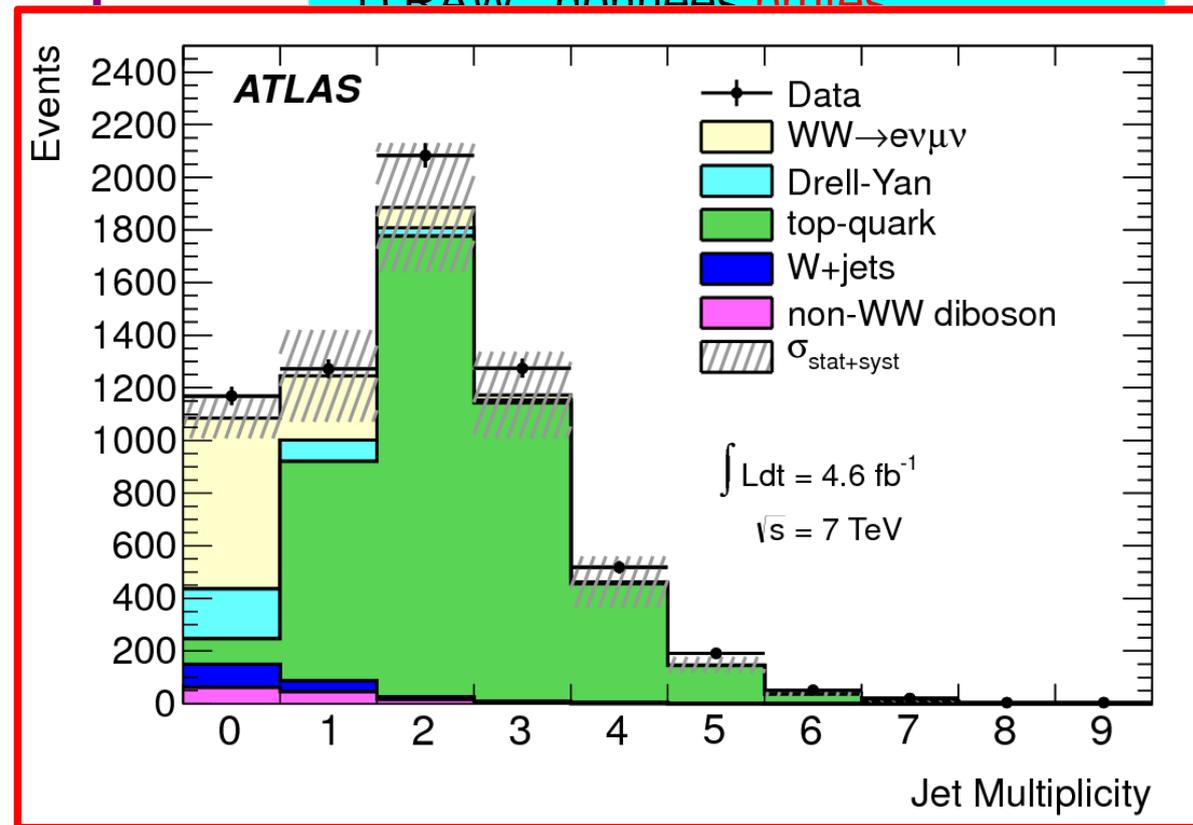
Vers l'analyse des données

Taille/évt

Format de données

Type de traitement

1) RAW : données brutes



~0.01 MB

- 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

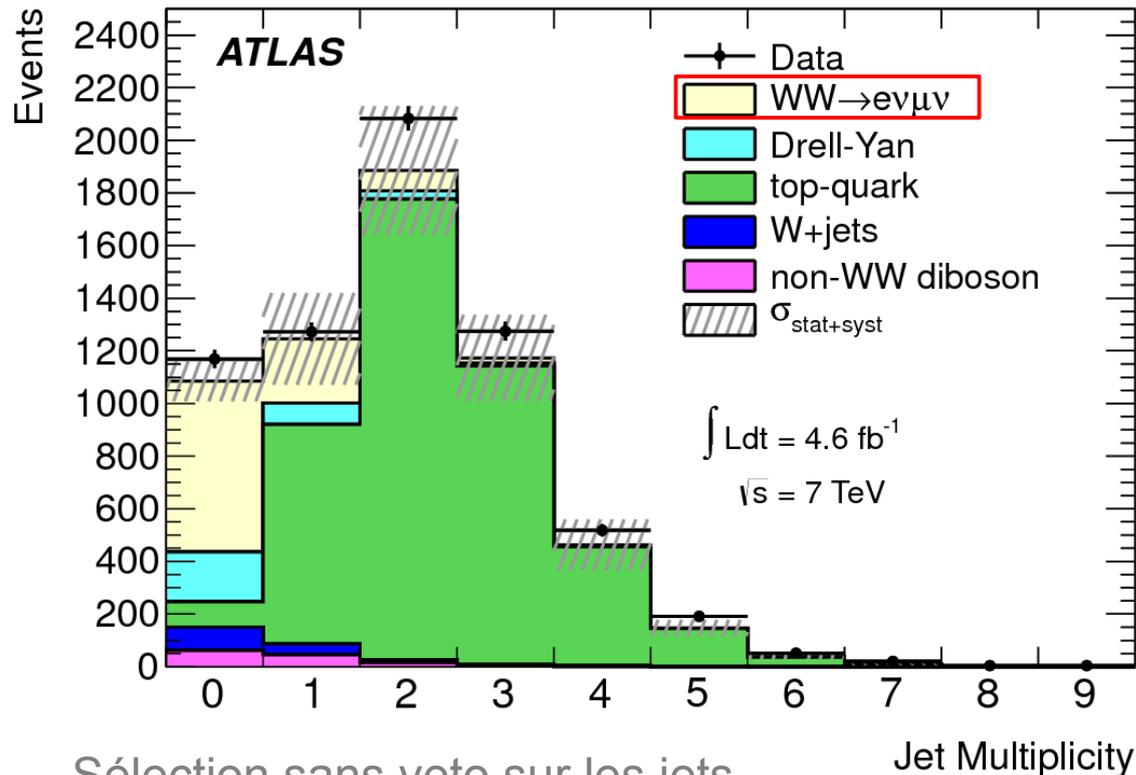
- Interactions connues

Analyse des évts reconstruits

- sélection des évts intéressants
- 10 fois par jour

Interpréter les données

Exemple : mesure du taux de production WW
(état final $e\nu$), jeu de sélection (e, ν , invisible, jet)



Sélection sans veto sur les jets
Sélectionnés : $tt \rightarrow WbWb \rightarrow (e\nu)b + (\mu\nu)b$

Ce que le physicien cherche :

Confronter les données à un modèle (le MS)

- **Accord** données avec le MS
(compréhension du détecteur)
- **Déviations** par rapport au MS
(découverte de nouveaux phénomènes)

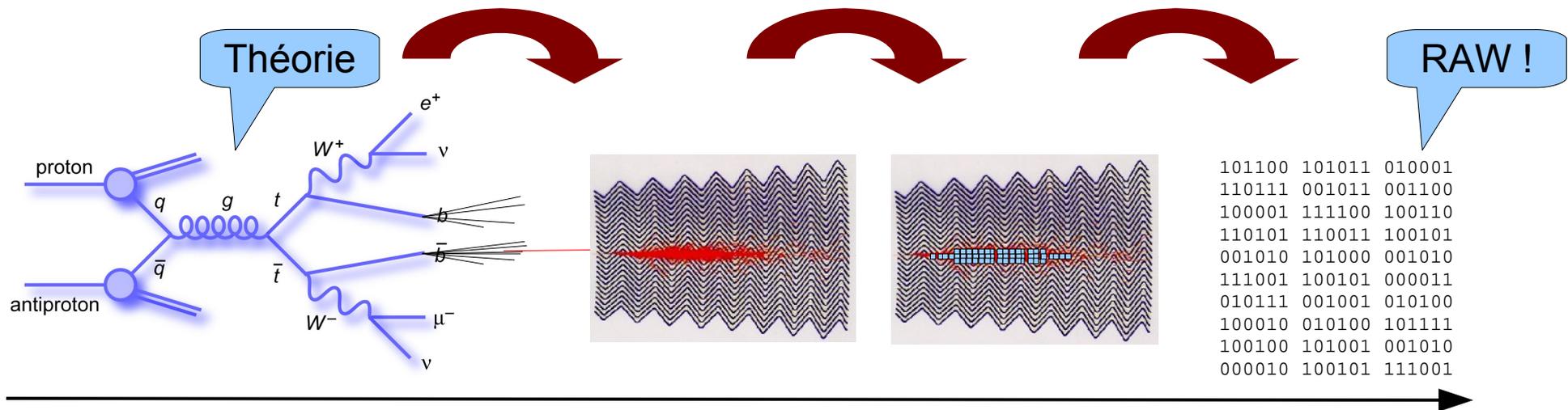
Exploitation d'une expérience : impossible sans simulation !!

La simulation

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

Trois ingrédients à modéliser :

- 1) La “physique” (collisions, processus)
- 2) L'interaction des particules dans le détecteur
- 3) Les signaux transmis par le détecteur

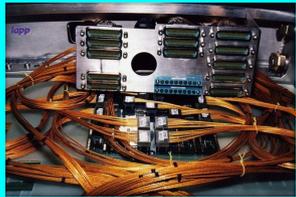


En résumé : les étapes de traitement

Traitement centralisé

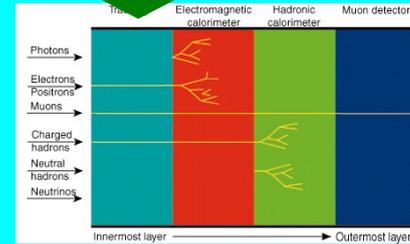
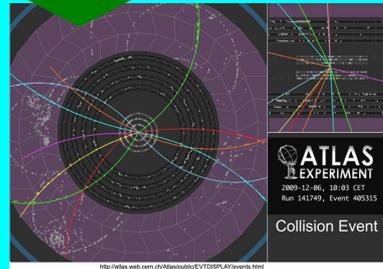
Reconstruction
des données brutes

Identification des objets
et sélection d'état final

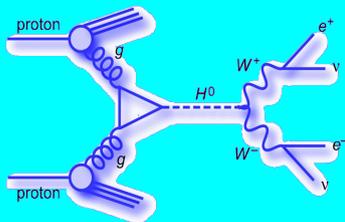


```

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

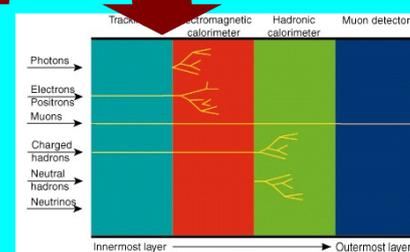
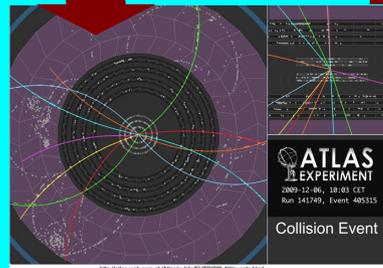


Simulation des événements



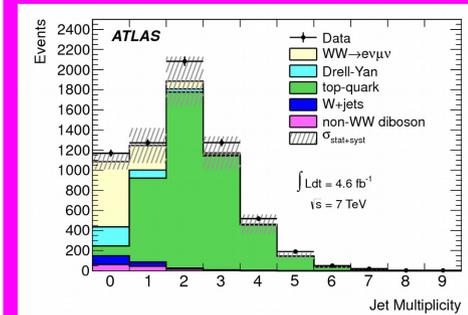
```

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

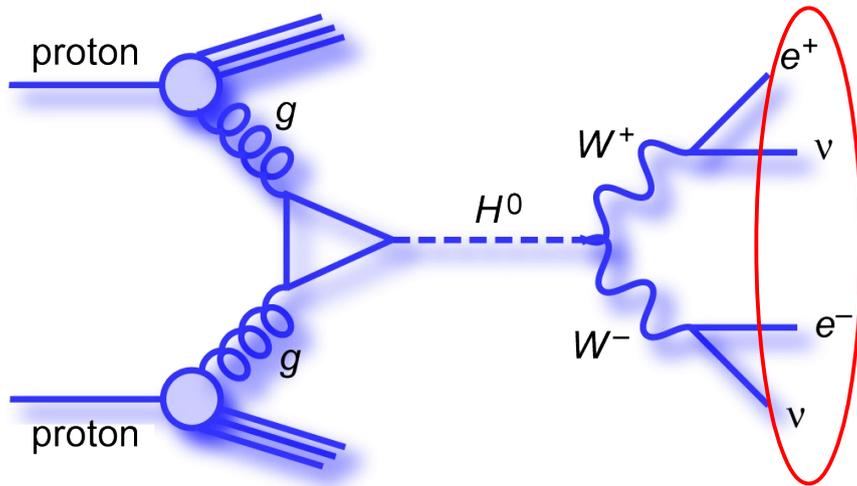


groupe/individu

Analyse finale
(n fois / jour)



Recherche d'un processus rare

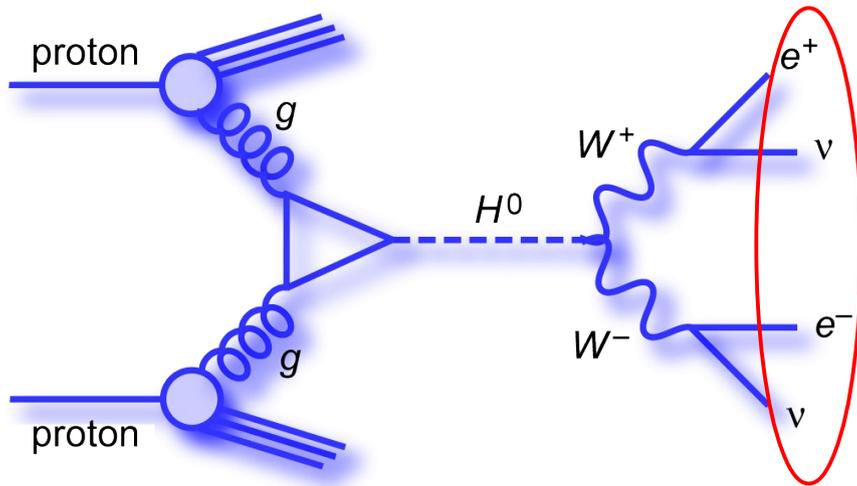


Nous avons déjà discuté cette chaîne de réaction.

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

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

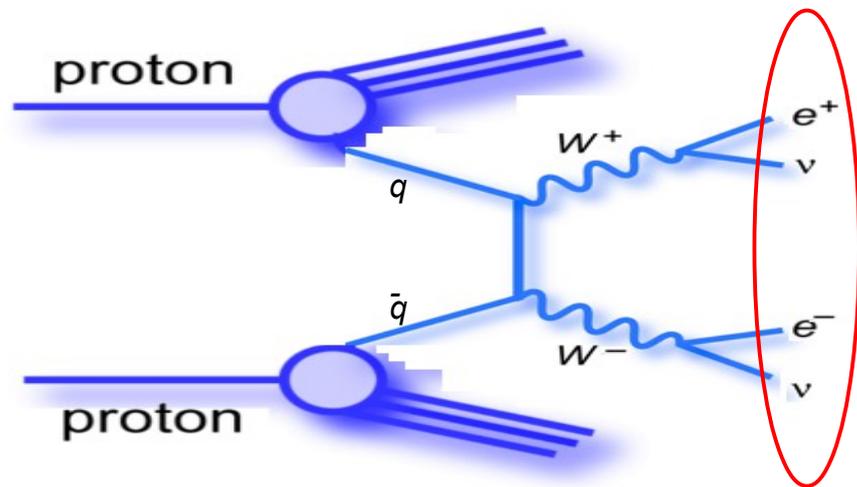
Recherche d'un processus rare



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.

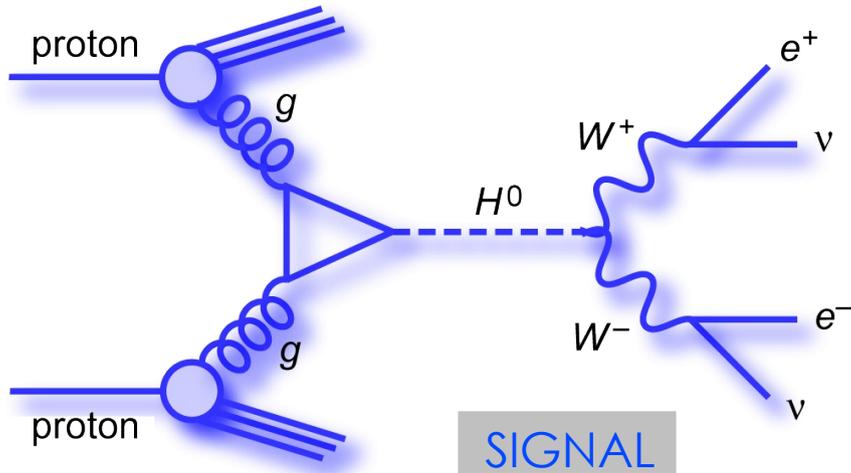


Malheureusement il existe d'autres chaînes qui donnent le même état final – et qui sont possibles même si le Higgs n'existait pas !!

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

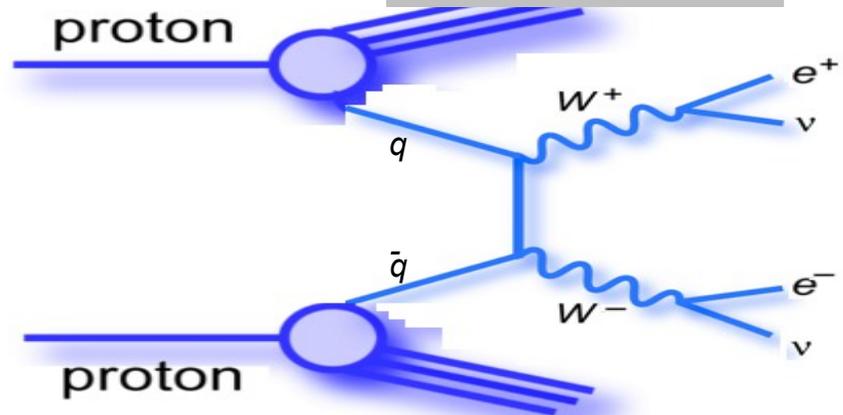
Pour rendre les choses encore pire : ce type de réaction est **beaucoup plus abondant que le signal**.

“Signal” et “bruit de fond”

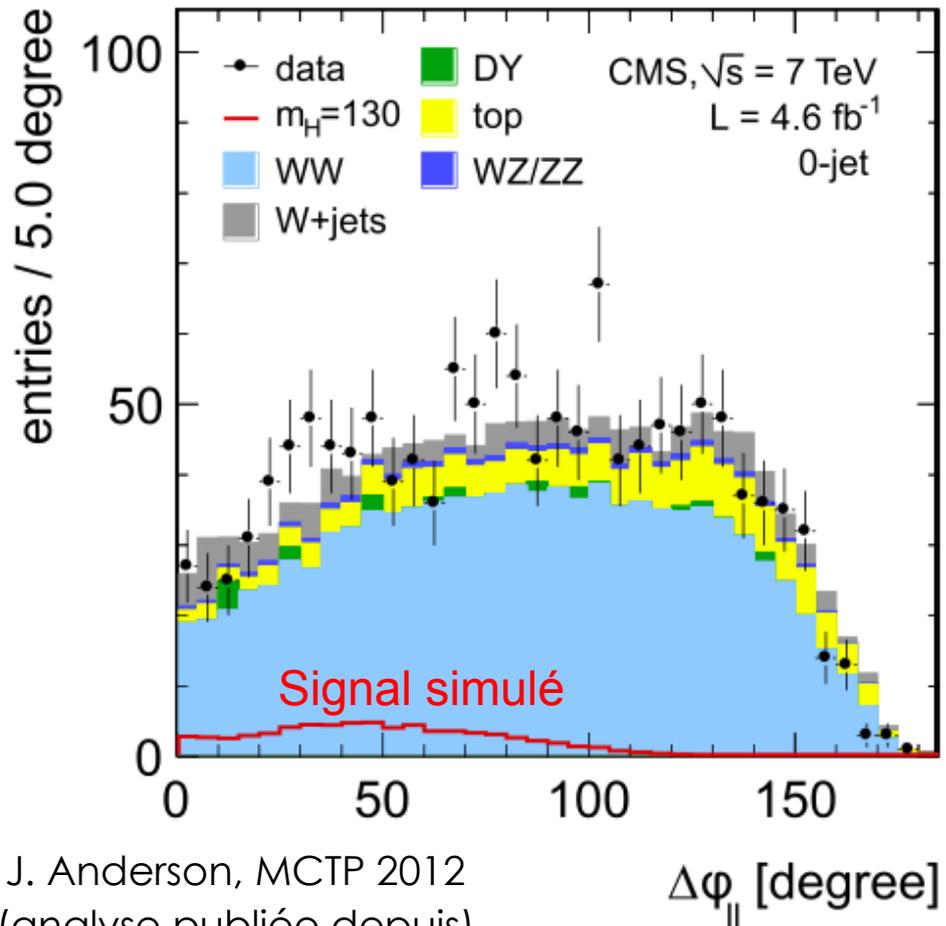


SIGNAL

BRUIT DE FOND



Après un jeu de sélection :
ce lot de données réelles (la réalité)
est-il **compatible** avec l'hypothèse
FOND SEUL ou bien FOND+SIGNAL ?

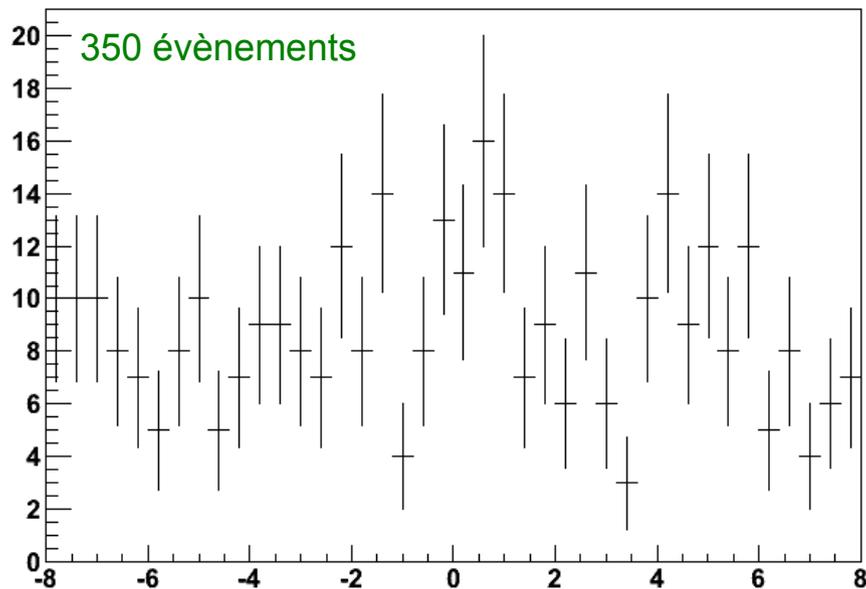


J. Anderson, MCTP 2012
(analyse publiée depuis)

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 :

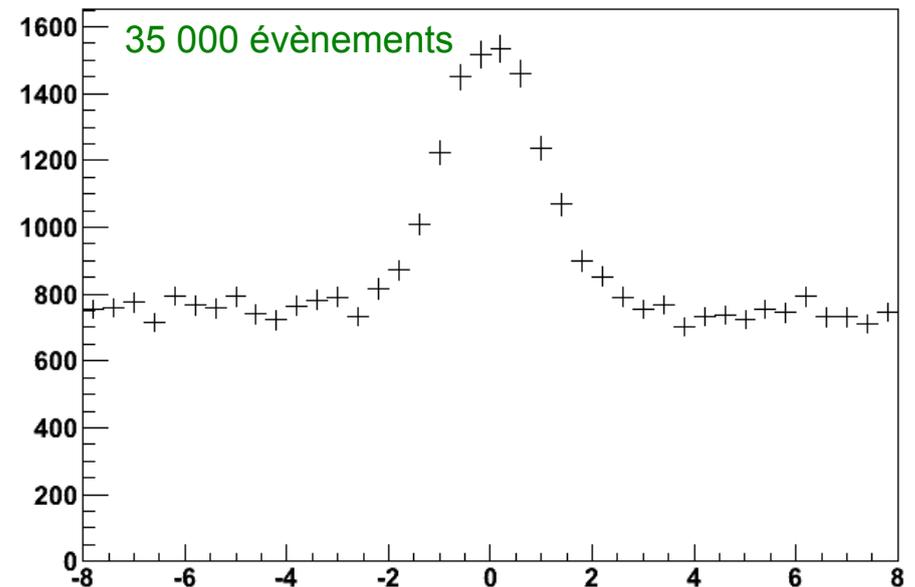
histogram



Avec peu de données la situation est bien moins claire :

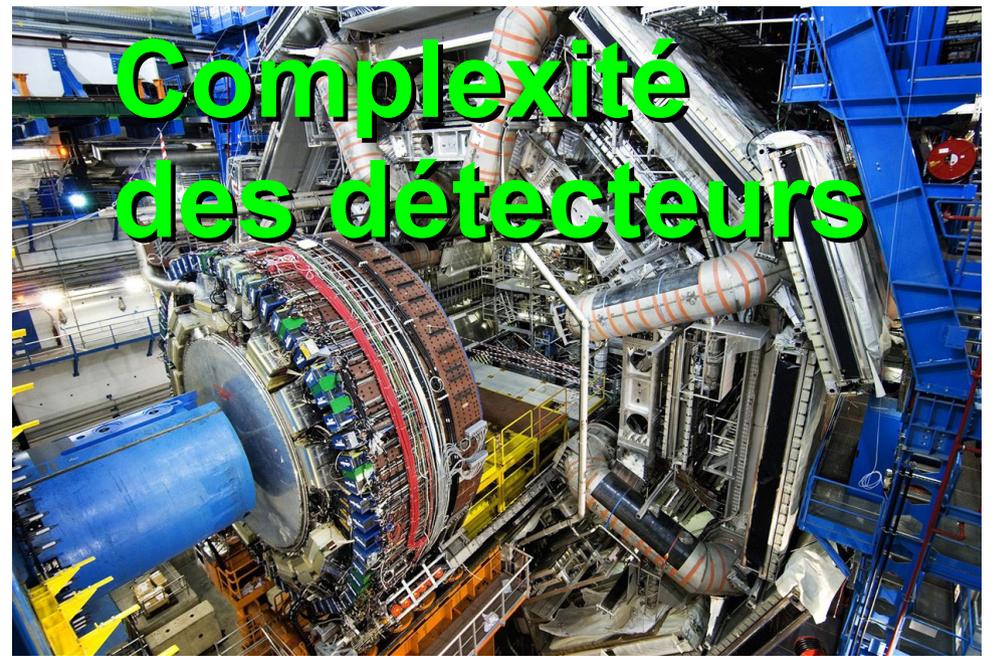
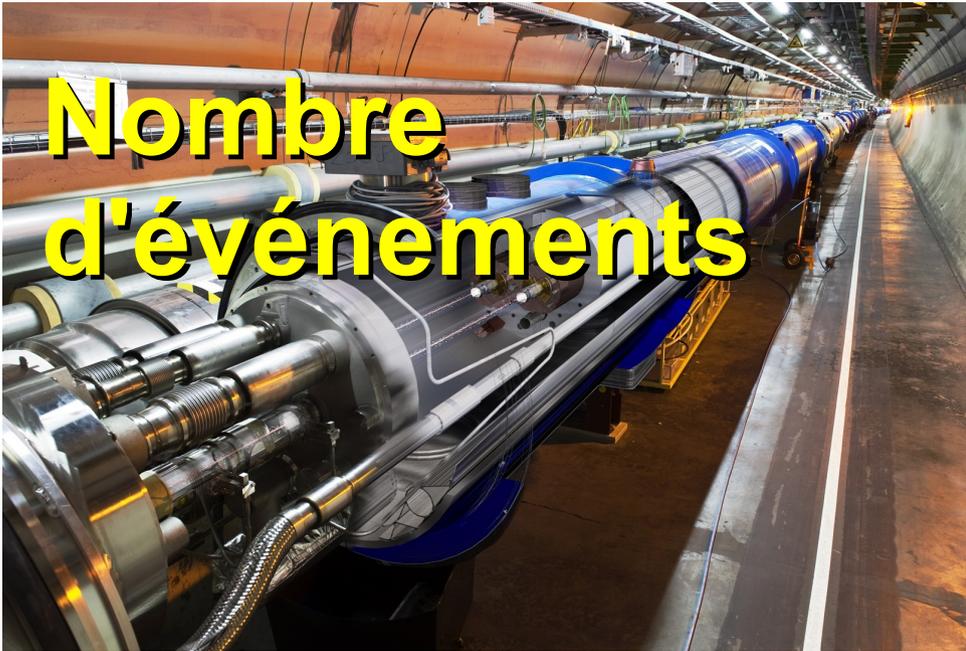
- est-ce tout simplement un spectre plat ?
- ou est-ce qu'il y a un pic quelque part ?

histogram



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

LHC : de nouveaux ordres de grandeur

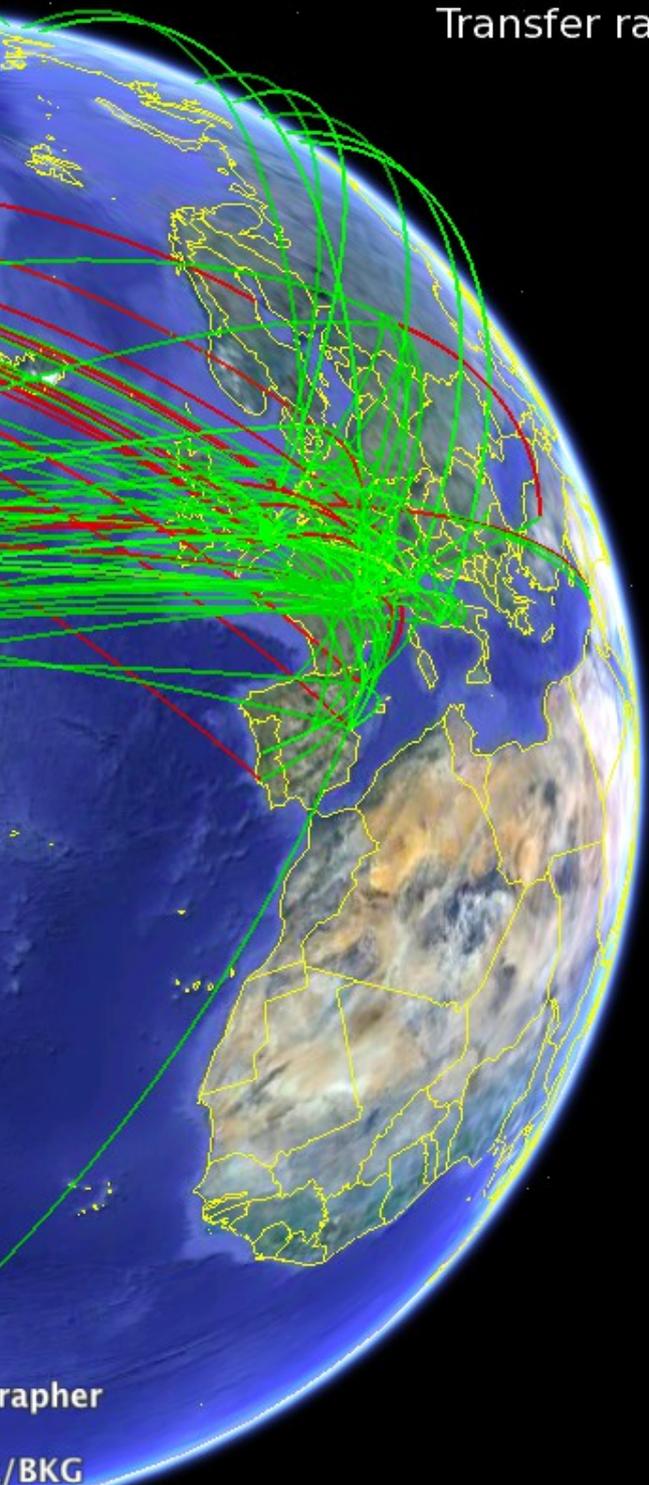


 CMS Experiment at LHC, CERN
Data recorded: Mon Nov 8 11:30:53 2010 CEST
Run/Event: 150431 / 630470
Lumi section: 173

Complexité des algorithmes



Running jobs: 236092
Transfer rate: 11.41 GiB/sec



Traiter les données

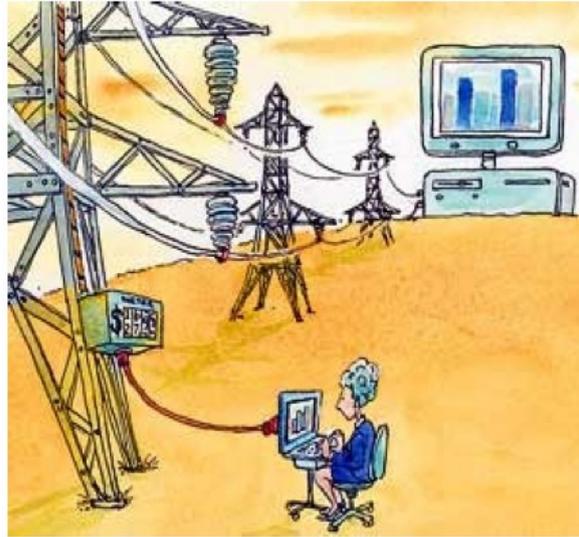
ographer
/BKG
NGA, GEBCO

Nouvelle problématique

C'était il y a 20 ans

Centre Typique

- Calcul et stockage
- Utilisateurs « locaux »
- Isolé des autres sites
- LEP, Tevatron

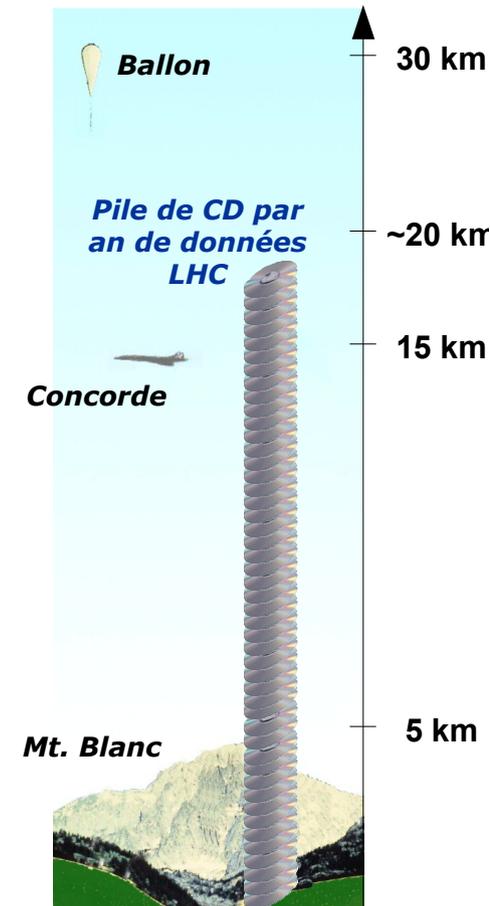


Nécessité d'évoluer

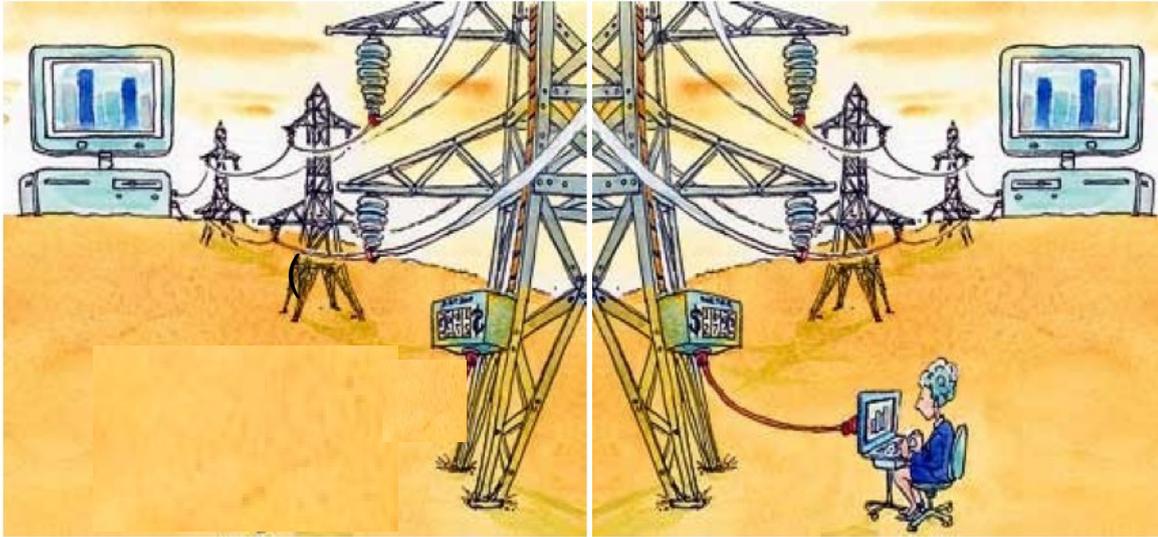
- Enorme quantité de données à stocker et à traiter
- Un site seul n'aurait pas suffi (ressources, infra, \$\$)
- Utilisateurs distribués partout dans le monde

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"

L'utilisateur ne sait ni où
ses calculs s'exécutent
ni où ses données sont
stockées

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 (événements indépendants)

Dans le même temps :

- « The Grid » 1998, I. Foster et C. Kesselman → les concepts
 - Coordination des ressources non contrôlées centralement, protocoles standards, ressources accessibles selon le droits de chaque utilisateur, manipulations de grandes quantités de données
- Les réseaux étendus haut débit se développent (GEANT 2000)

Une grille en pratique

Une grille est définie par son **intergiciel** (middleware), le liant utilisateurs – sites

Une couche logicielle pour cacher l'hétérogénéité des sites

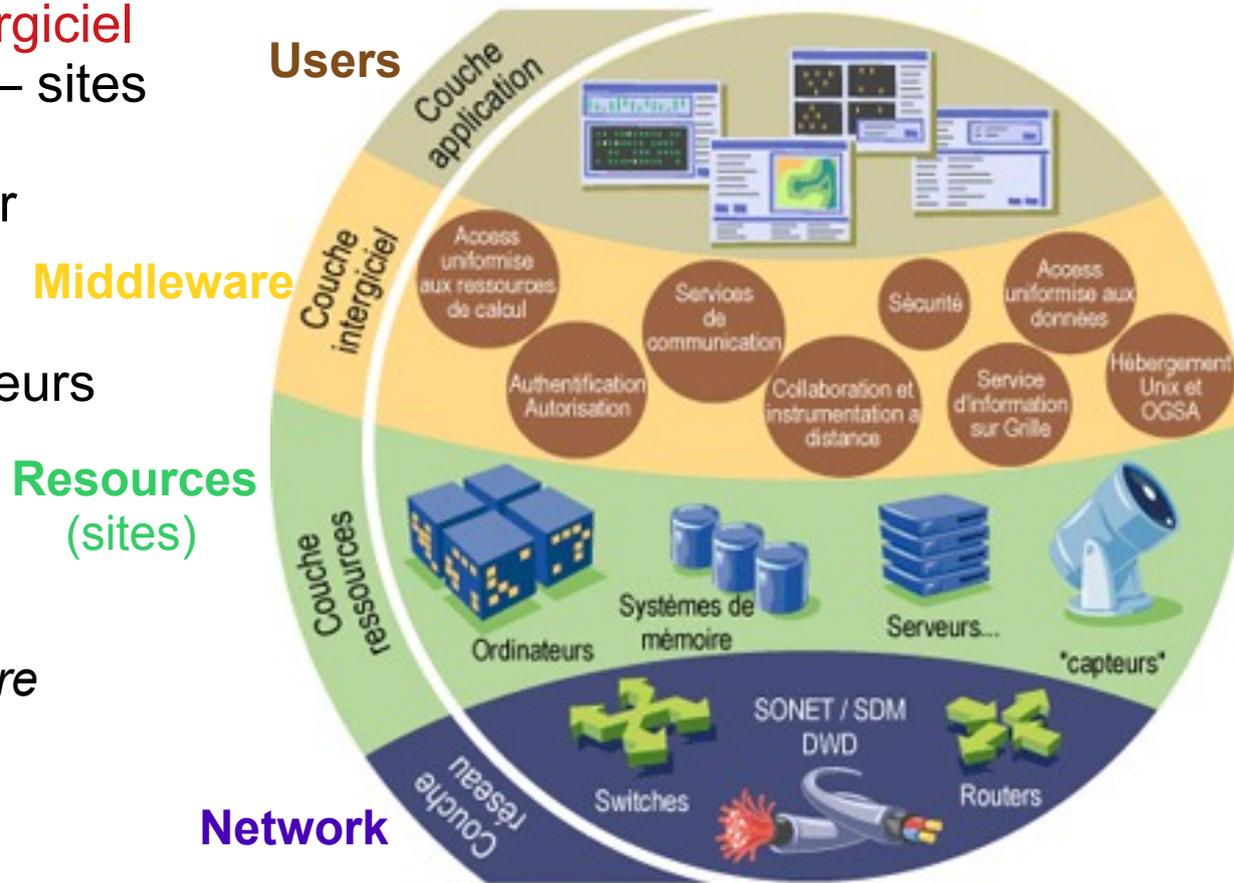
- Abstraction des ressources
- Pas de login local des utilisateurs
- Réseau de confiance

Principales grilles dans le monde

- EGI : *European Grid Infrastructure*
 - MW déployé en EU, Asie, CA...
- OSG : *Open Science Grid* (US)

La moelle épinière : le **réseau**

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

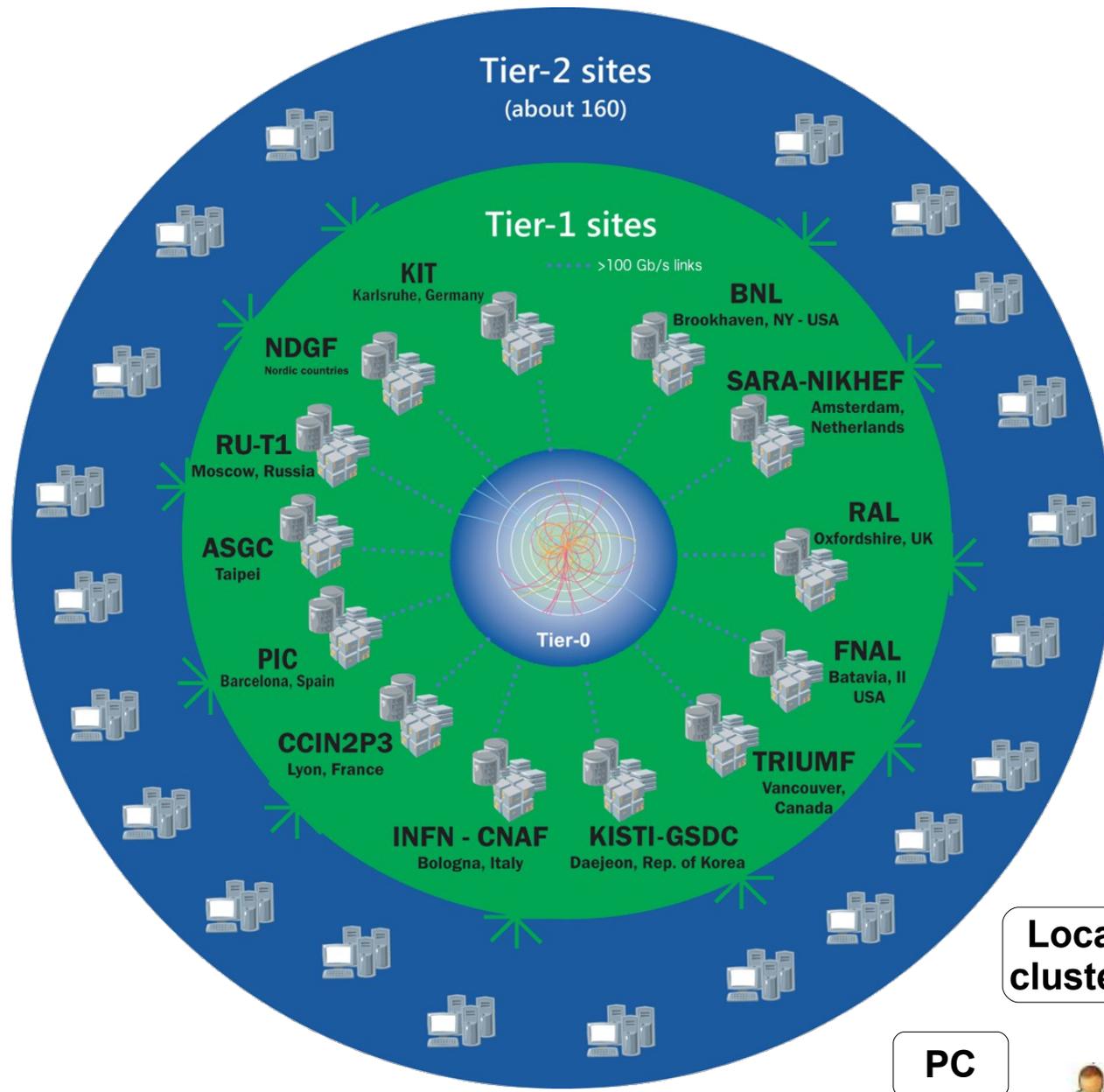


<http://www.gridcafe.org/FR/>

Worldwide LHC Computing Grid (WLCG)



Hiérarchie des sites



Tier-0 (CERN):

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

Tier-1 (centres primaires):

- Stockage permanent
- Re-reco des données

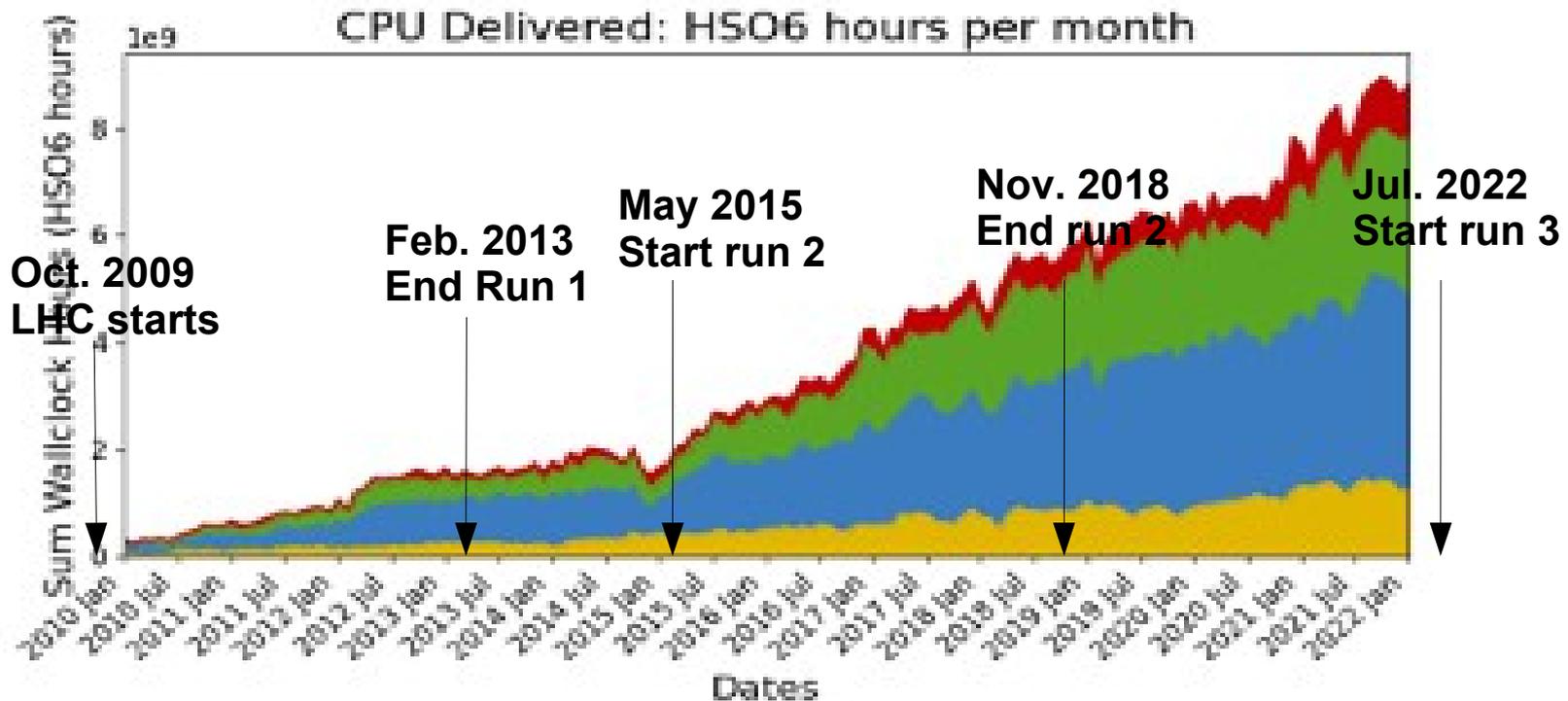
Tier-2 (centres secondaires):

- Simulation des données
- Analyses finales (physiciens)

En plus (end user analysis):

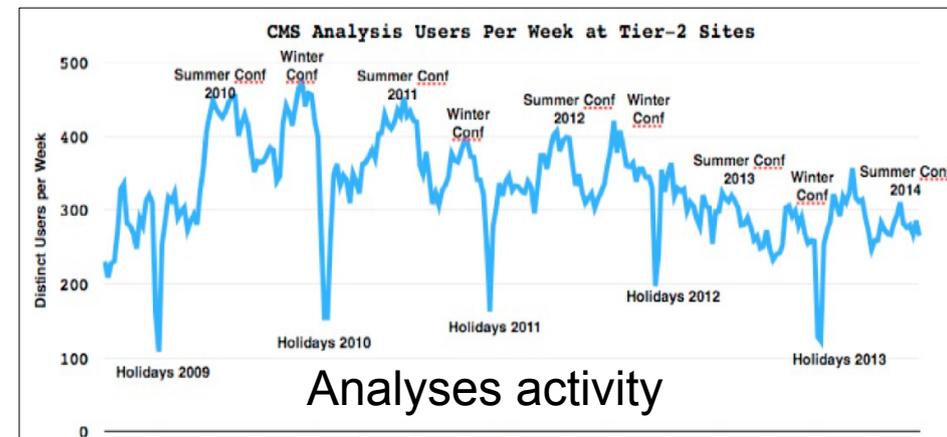
- Tier-3
- Serveurs locaux

Flash sur les activités de WLCG

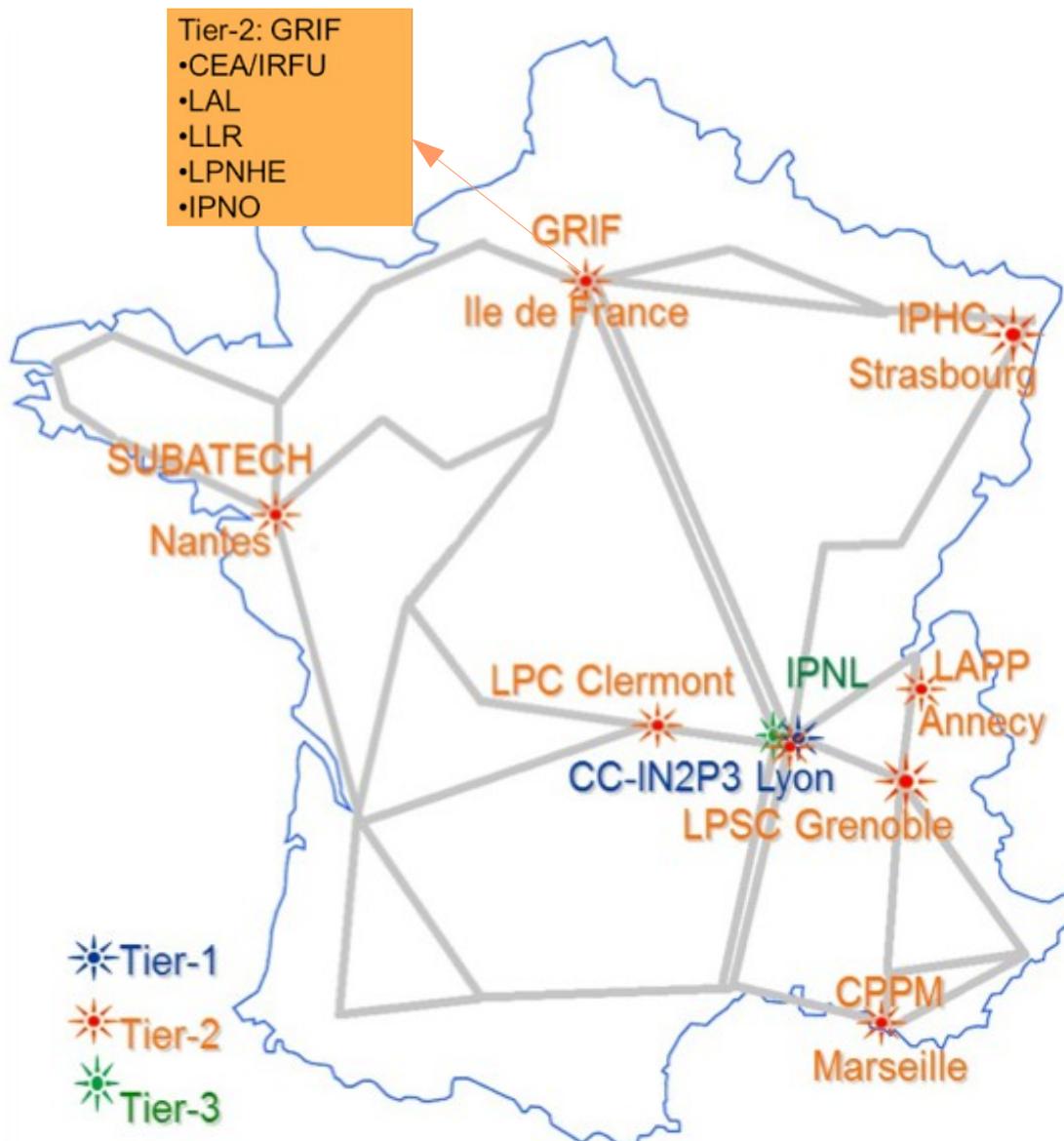


Jusqu'à ~1 000 000 coeurs en continu
Production centralisée et analyses individuelles

Transferts réguliers de > 100 PB/mois.



Sites WLCG en France



LCG France



Chaque site choisit les expériences qu'il accueille.

Accords site/WLCG pour assurer une haute **disponibilité** (7/24) :

- > 98% pour les Tier-1
- > 95% pour les Tier-2

Le Tier-1 : le Centre de Calcul de l'IN2P3 (Villeurbanne, Lyon)

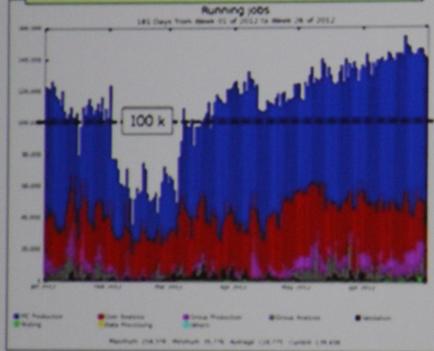
- ~60 ingénieurs
- 2x850 m² de salles machines
- 4 expériences (2/3 du centre)
- 10% des Tier-1 WLCG

« 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

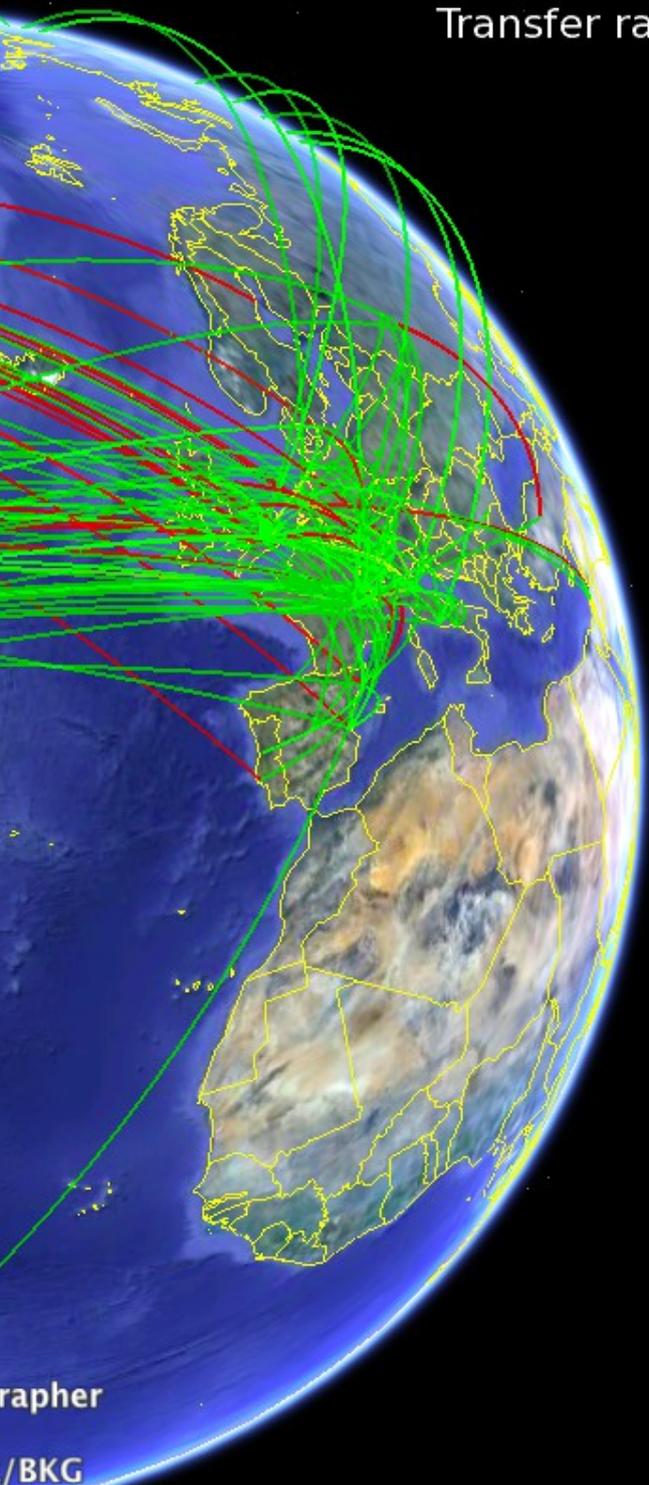
> 1500 distinct ATLAS users do analysis on the GRID

- 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



Et maintenant ?

ographer
/BKG
NGA, GEBCO

Utilisation des grilles

Derrière le succès de la grille

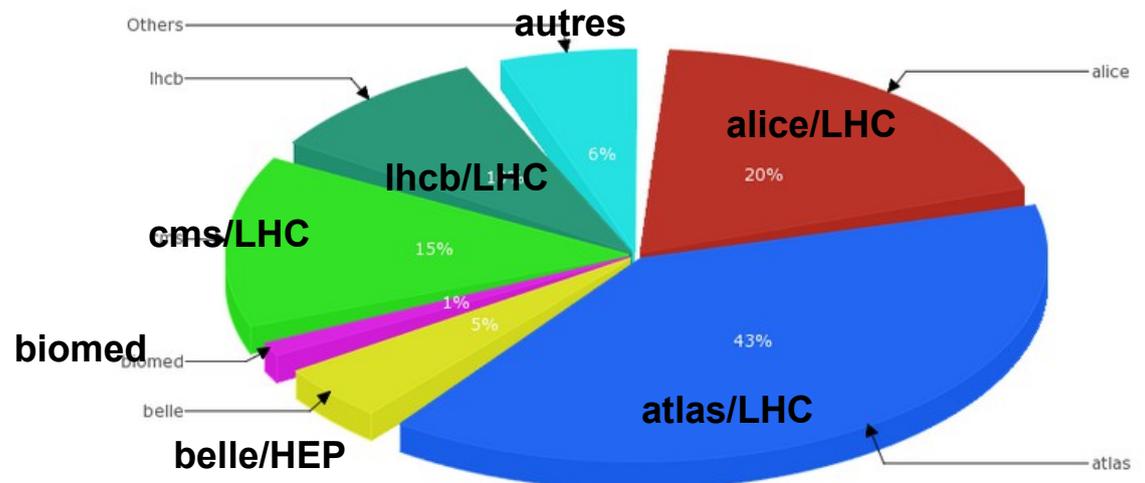
- ▶ Complexité et efforts humains importants
- ▶ Consolidation des sites, dvp des réseaux, amélioration des intergiciels, ...
- ▶ Basé sur notre expérience → optimisation et simplification

European Grid Infrastructure

- ▶ EGI (et ses ancêtres) ont contribué à la conception de la grille
- ▶ Les pionniers : physique des hautes énergie, sciences de la vie (génomique,...)
- ▶ Idéal pour de très nombreux évts indépendants (**High Throughput Computing**)

Temps CPU normalisé
(année 2015)

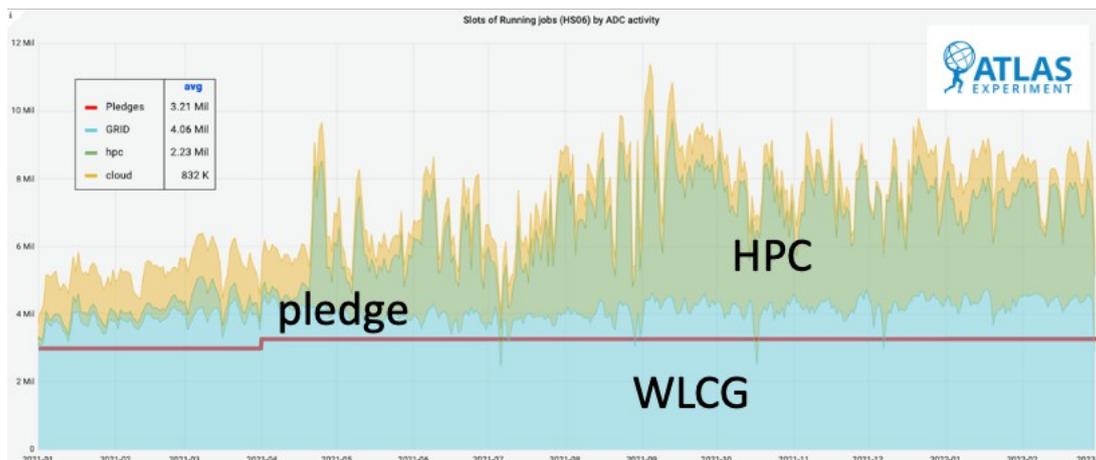
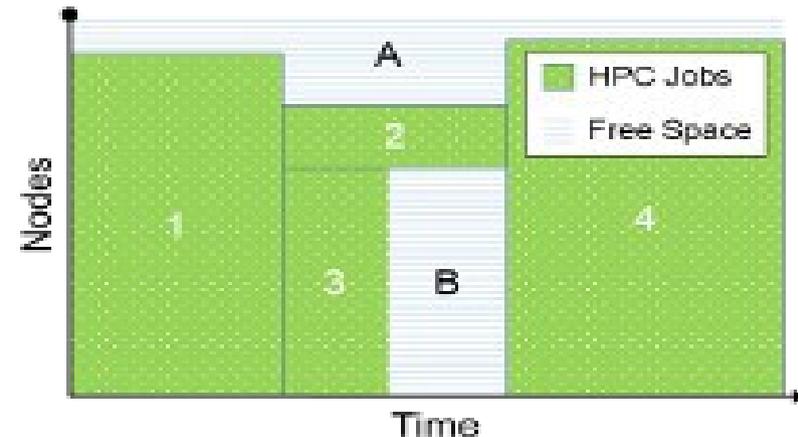
<https://accounting.egi.eu/>



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 (**H**igh **P**erformance **C**omputing)
 - Pyramide de Tiers-0/1/2 en Europe
 - Pas d'interconnexion de type "grille"
 - Par construction difficile de remplir les machines



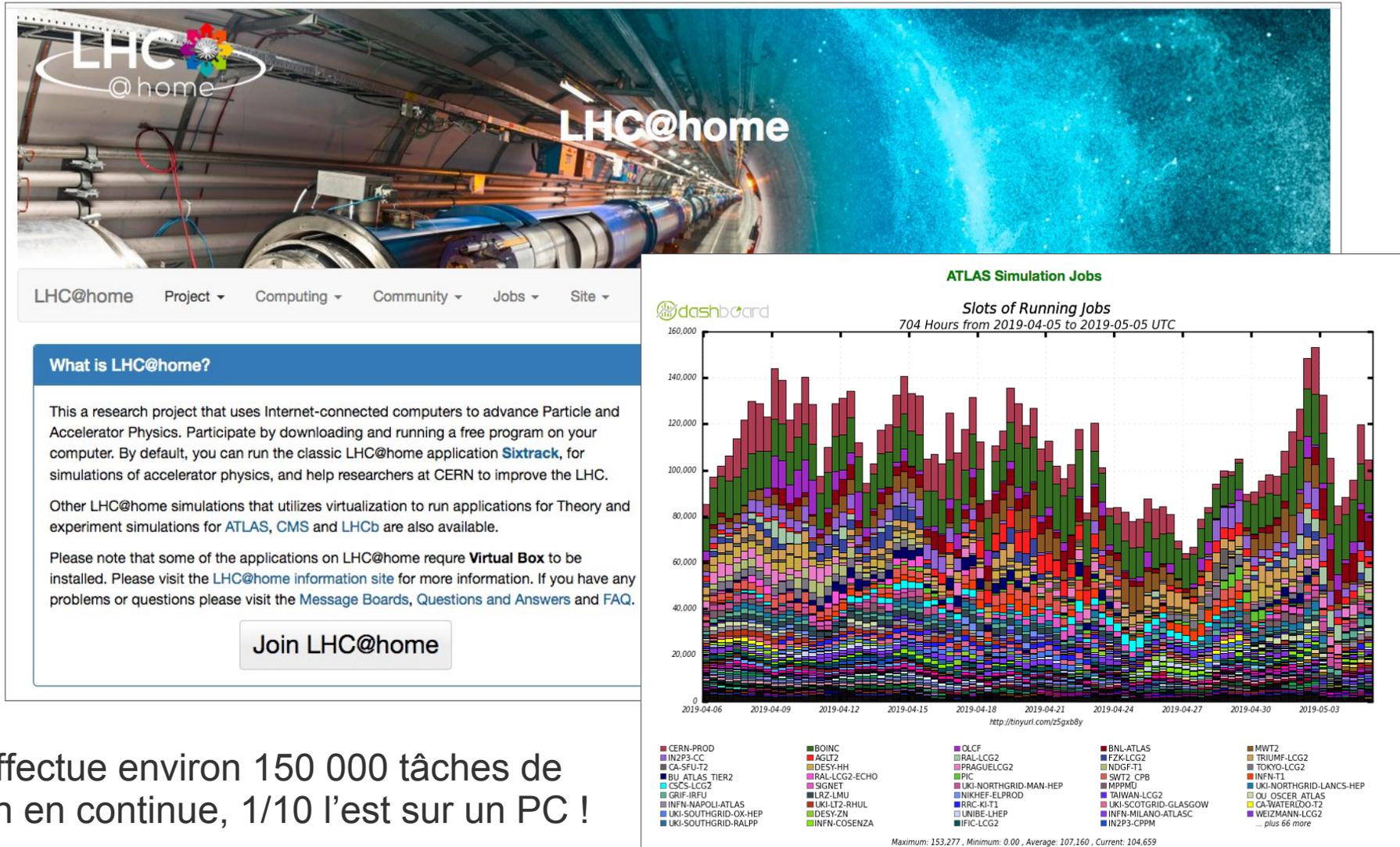
→ **collaboration avec les exp. LHC**
Remplissage des cycles vides
(usage opportuniste)

L'informatique volontaire

Les processeurs que nous utilisons sont les mêmes que ceux de vos PCs.

→ LHC@HOME permet d'effectuer des milliers de tâches en continue.

Chacun peut souscrire au projet et effectuer des tâches pour le LHC !



ATLAS effectue environ 150 000 tâches de simulation en continue, 1/10 l'est sur un PC !

Sur le front commercial

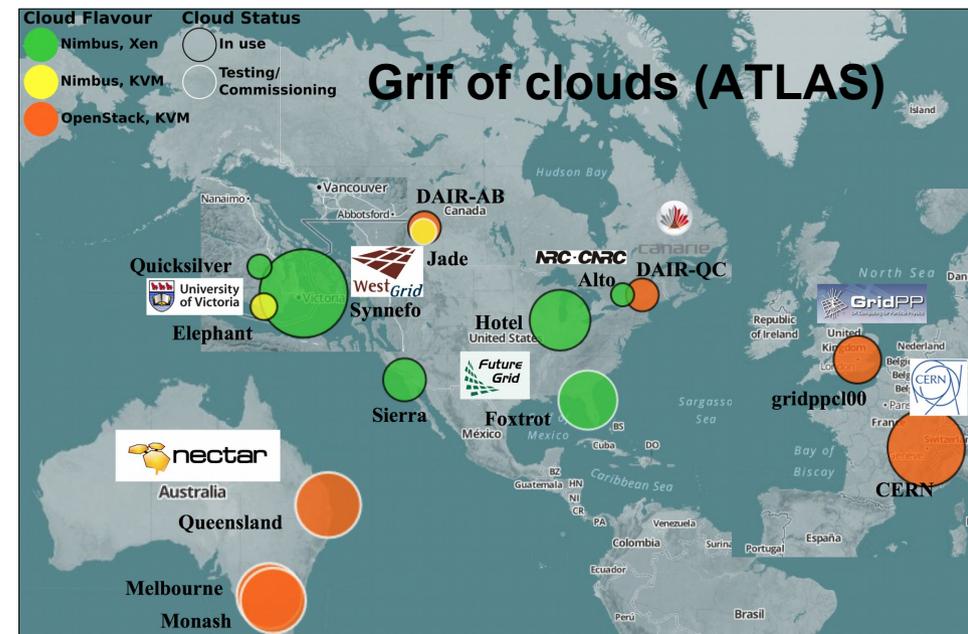
Pendant que nous développons la grille

- Naissance des technologies « Clouds »
- Flexibilité (virtualisation)
- Elasticité (à la demande)
- “Pay-as-you-go”

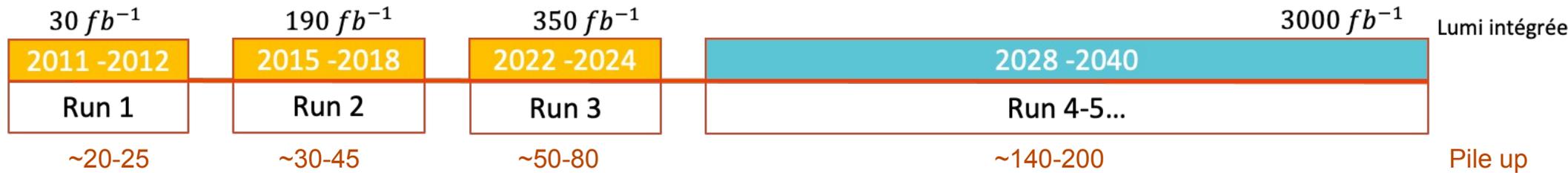


Intégrés dans le workflow des expériences LHC

- Infrastructure-as-a-service (IaaS)
 - une machine nue
- Clouds académiques (EGI Federated cloud)
 - « tail of sciences »
- Clouds commerciaux
 - en collaboration avec l'entreprise,
 - question du coût vs grille



Et après ? Horizon à 10 ans

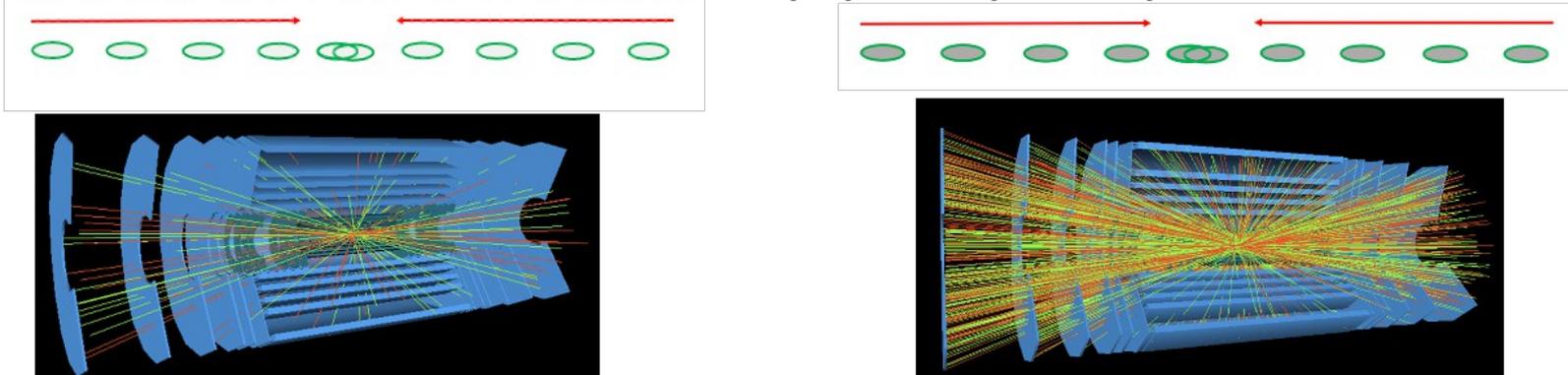


La phase de haute luminosité :

- 30 fois plus de données que aujourd'hui,
- Des faisceaux 5 fois plus intenses,
- Des collisions plus complexes ,
- Des détecteurs extrêmement sophistiqués.

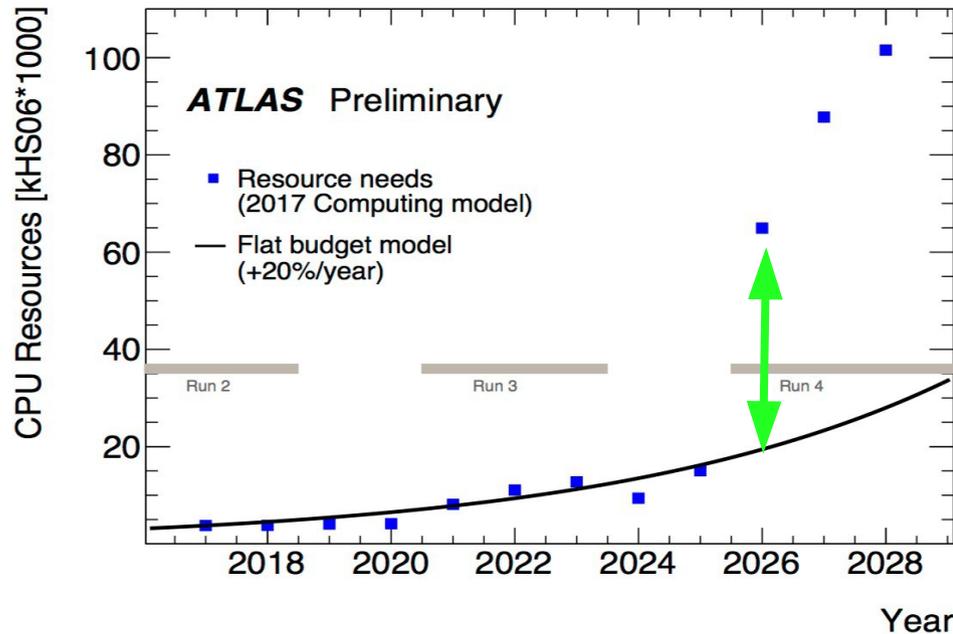
40 millions de croisement de paquets de protons par seconde !

Haute luminosité : comment ? Croisement de paquets de protons, plus denses

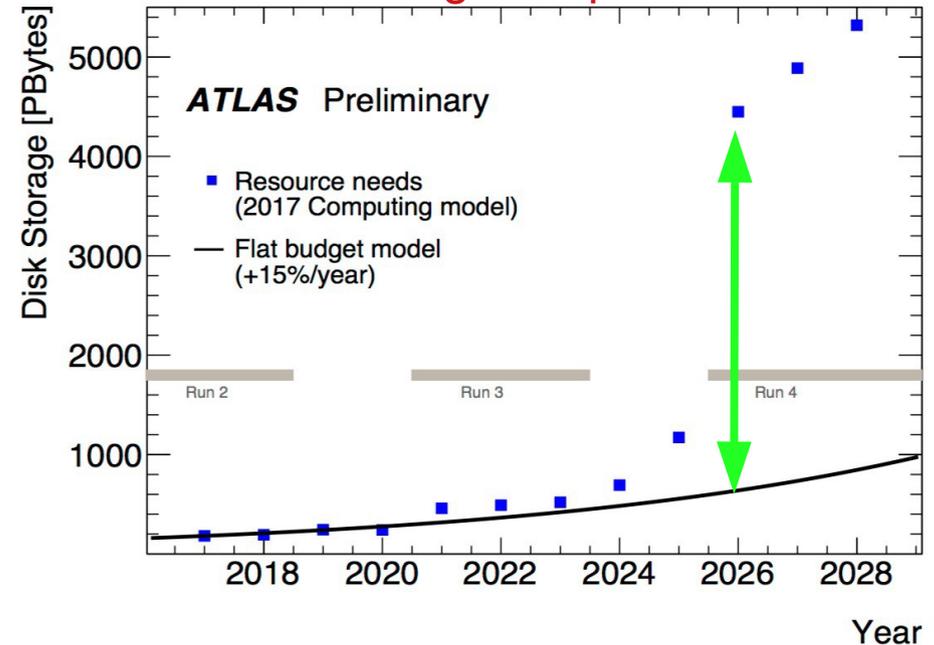


En termes de ressources

CPU



Stockage disque



- Si nous gardons notre modèle de computing, il **manquera un facteur important** dans les ressources de calcul et de stockage → **changements importants**
 - Software, architectures, infrastructures, gestion des données, ...
- D'autres expériences avec des besoins importants démarreront sur la même échelle de temps → **collaboration**
- Nous avons déjà réussi à réduire les besoins → **encore beaucoup de R&D devant nous** et d'incertitudes

Résumé – points forts

- Avec le LHC, énorme besoin en informatique (stockage, calcul, transfert, logistique)
 - Changement dramatique d'échelle
- 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, richesse d'autres résultats de physique
- Retombées : techniques de grille utiles pour d'autres disciplines et la société
 - Impact dans la qualité de vie (médecine, ...)
- Ce n'est pas la fin de l'histoire
 - Le LHC faire face à une nouvelle ère extrêmement challenging (HL-LHC)
 - Nous travaillons avec les autres sciences
 - Tous les aspects du computing sont révisés