

# **Service Informatique LAPP**

Présentation pour « stage 3<sup>ème</sup> »



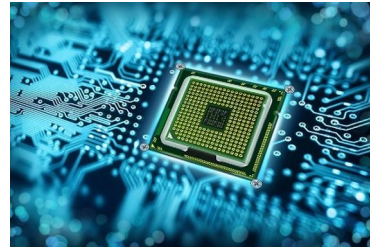
*Attention :*

*Au regard de l'évolution rapide de l'informatique et des expériences, les informations et les chiffres donnés dans ce document sont transmis à titre indicatif pour avoir un ordre de grandeur ...*

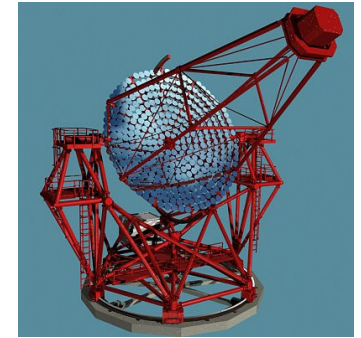
# Les missions informatiques au LAPP (1)



Administration



Electronique



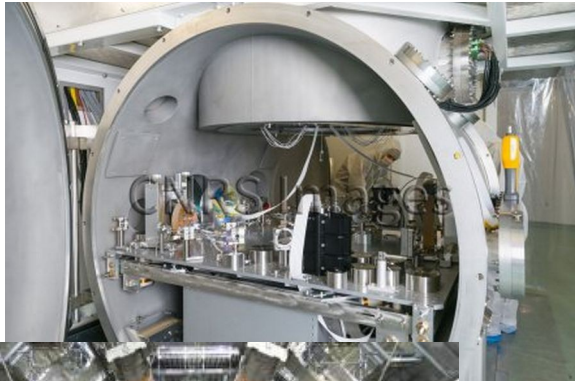
Mécanique

## INFORMATIQUE

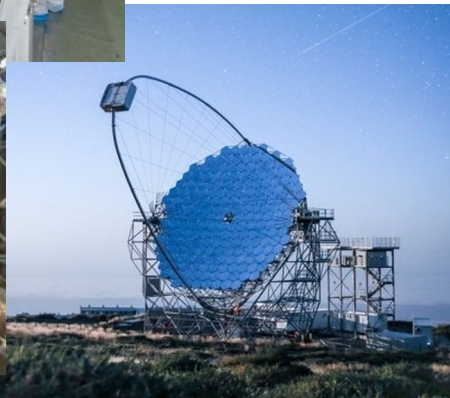
Support et Développement  
20 ingénieurs et techniciens



UNIVERSITÉ  
SAVOIE  
MONT BLANC



Expériences



LAPTh



Physique Théorique

# Les missions informatiques au LAPP (2)

- **Support aux utilisateurs**

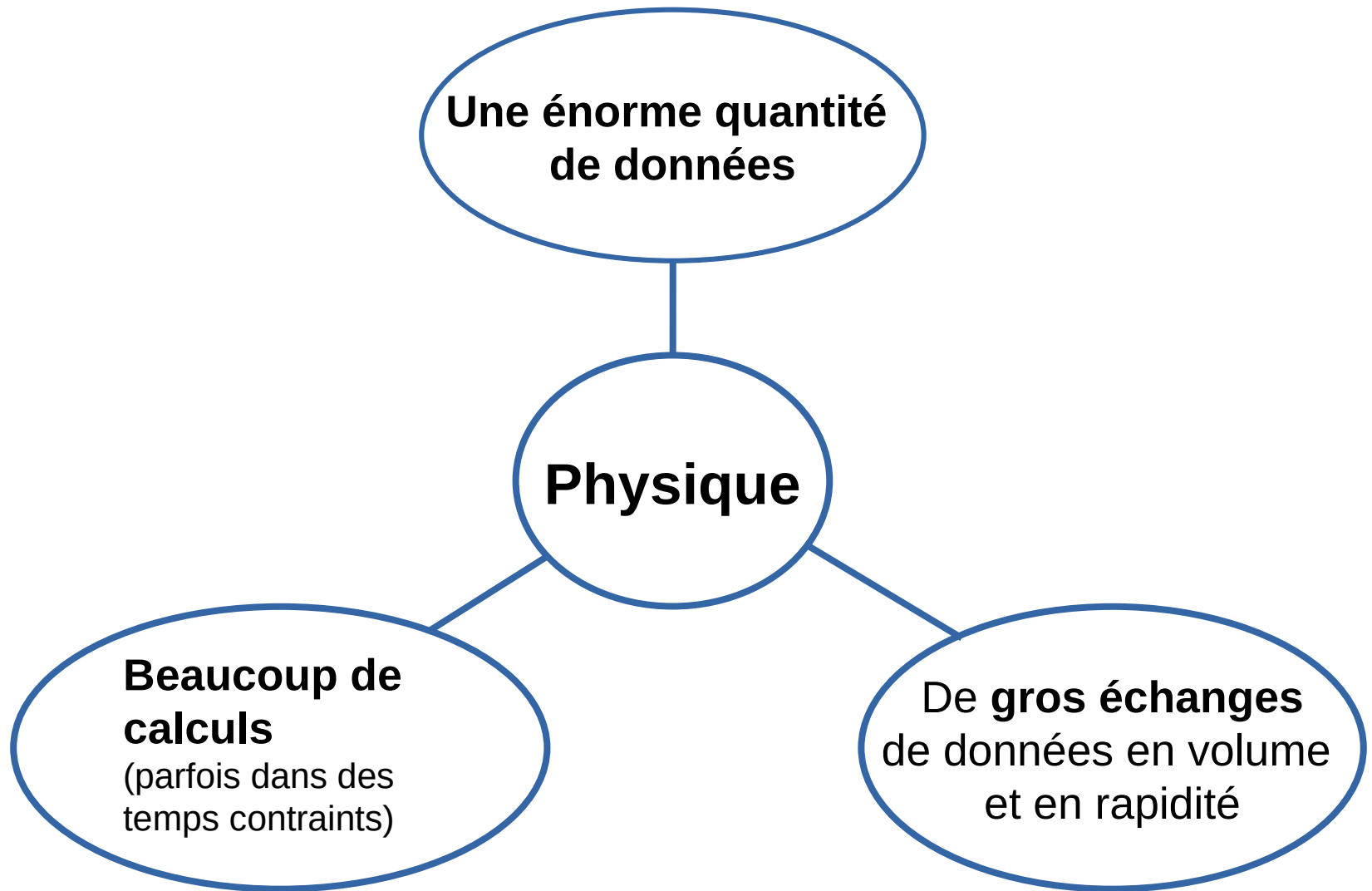
- Administration du réseau et de la téléphonie
- Administration des systèmes (Linux – Windows - Mac)
- Services: messagerie, gestion et sauvegarde des données, web, infographie, visioconférence, impressions, ...
- **Calcul scientifique MUST** (Grille de calcul)

- **Support aux expériences**

- Systèmes d'acquisition et de traitement en ligne
- Outils de simulation et d'analyse de données
- Machine learning / Big data
- Développement de logiciels spécifiques



# L'informatique au service de la science en général... ...et de la physique des particules en particulier



## Le calcul : kHz, MHz, GHz ?

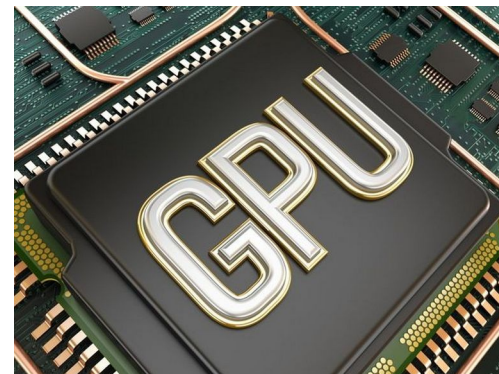
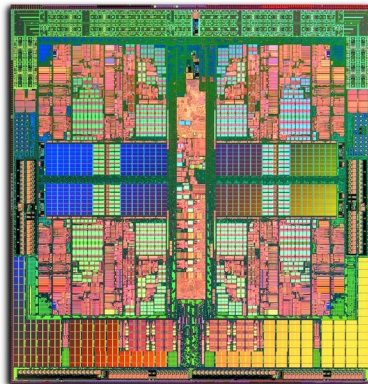
Ce sont des unités de fréquence : le nombre de fois qu'un « événement » se répète par seconde. L'unité de base de la fréquence est le **Hertz (Hz)**.

En informatique, cela caractérise la vitesse de travail d'un composant : convertisseur de données, ... et surtout le **processeur d'une machine**.

Plus la fréquence de l'horloge de base d'un processeur est élevée, plus il calcule vite :

- kHz (kilo) = 1 000 fois/seconde
- MHz (méga) = 1 000 000 fois /seconde
- GHz (giga) = 1 000 000 000 fois / seconde

## Le calcul : multicore, GPU, ...



# Le calcul : kHz, MHz, GHz ? (2)

## La puissance de calcul du CERN

La puissance de calcul collective du système du CERN a désormais atteint près de **2,5 exaFLOPS**.

1 **exaflop** = un milliard de milliards d'opérations en virgule flottante par seconde)

C'est une puissance supérieure à celle que l'on obtiendrait si on réunissait les 500 supercalculateurs les plus puissants au monde. Le CERN met à disposition environ 10 000 cœurs de processeurs de son principal centre de calcul.

*(Chiffres d'avril 2020)*

# Le volume des données : Ko, Mo, Go, To, Po ?

## Ko, Mo, Go, To, Po ?

En informatique, toute donnée est représentée sous forme d'octets.

Un octet est constitué de 8 bits (8 zéros ou uns).

En assemblant 8 zéros et uns, on peut faire 256 combinaisons différentes (00000000....00101110...11101011...11111111).

Un octet a donc une valeur entre 0 et 255

8 bits =  $2^8 = 256$  combinaisons possibles

16 bits =  $2^{16} = 65536$

En fait, l'ordinateur ne calcule jamais sur 1 bit à la fois, mais sur un ou plusieurs octets ; ce qui fait 8 bits ou plus, mais toujours des multiples de 8 bits.

Les premiers ordinateurs personnels calculaient sur 8 bits. Ils ne comptaient que sur 1 octet à la fois. A ce jour, les ordinateurs communs travaillent sur 32 ou 64 bits.

Pour simplifier : **1 Byte** (terme anglais) = **1 octet = 8 bits**



majuscule / minuscule « B » pour Byte et « b » pour bit



On écrit les valeurs des **bits** avec un « b » (**b miniscule**)

On écrit les valeurs des **bytes** avec un « B » (**B majuscule**)

On écrit les valeurs des **octets** avec un « o » (**o miniscule**).

Ainsi, une valeur de disque dur s'exprimera de la façon suivante :

500 GB ou 500 Go (mais surtout pas 500 Gb comme on peut le trouver, même dans des articles de grands médias).

En résumé :

- KB = Kilo Bytes, MB = Méga Bytes, GB = GigaBytes, TB TeraBytes, PB = PetaByte...
- Ko = Kilo octets, Mo = Méga octets, Go = Giga octets, Tera octets, Peta octets ...
- Kb = Kilo bits, Mb = Méga bits

**Ko, Mo, Go, To, Po** sont maintenant plus parlants pour vous ;-)

**1 Po = 1 000 To = 1 000 000 Go ...**

## Les données au CERN

Bien que les données ne soient pas toutes conservées, le Centre de calcul du CERN traite en moyenne un pétaoctet (un million de gigaoctets) de données chaque jour.

**Les expériences du LHC produisent de l'ordre de 90 pétaoctets de données par an, tandis que 25 pétaoctets additionnels de données sont produits en parallèle par d'autres expériences au CERN.**

Le stockage de ces grandes quantités de données est une fonction essentielle de l'infrastructure informatique du CERN. Les données sont stockées sur bandes magnétiques pour être préservées à long terme et sont migrées, dès que la technologie le permet, sur des bandes de densité supérieure.

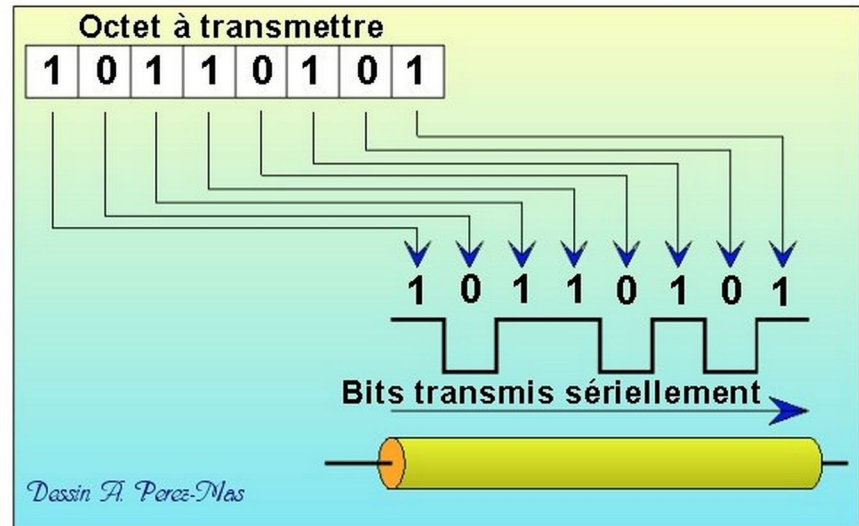
# Les échanges et transferts de données : kb/s ? Mb/s ? Gb/s ?

Pour transmettre les données, il faut généralement transmettre les bits les uns après les autres. On parle alors de débit en nombre de bits par seconde.

**Rappel : 1 octet = 8 bits**



Donc 1024 Ko/s n'est pas équivalent à 1024 kbits/s (ou 1024 kb/s)



Quelques notions de débit

**Au LAPP**

Débit internet : **10 Gbits/sec**

Connexion 100 Mbits/sec pour les postes de bureau

Connexion 1 ou 10 Gbits/sec pour les serveurs

A titre de comparaison **l'ADSL (chez vous)**

20 Mbit/s (théorique) en réception soit 500 fois moins qu'au LAPP et seulement 1 Mbit/s en émission.

# L'informatique au service d'un laboratoire (1)

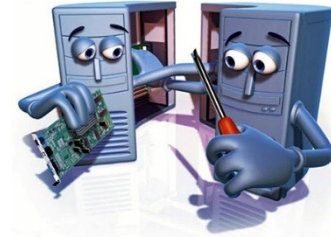
Postes clients  
135 fixes / 200 portables  
Windows 10 / Linux / Mac



Réseau



Achats



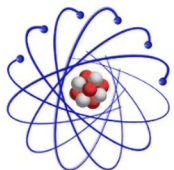
Maintenance

MUST  
Serveurs de calcul - Stockage



45 serveurs Linux / Windows

Windows Server 2016



Scientific Linux



Services d'impression

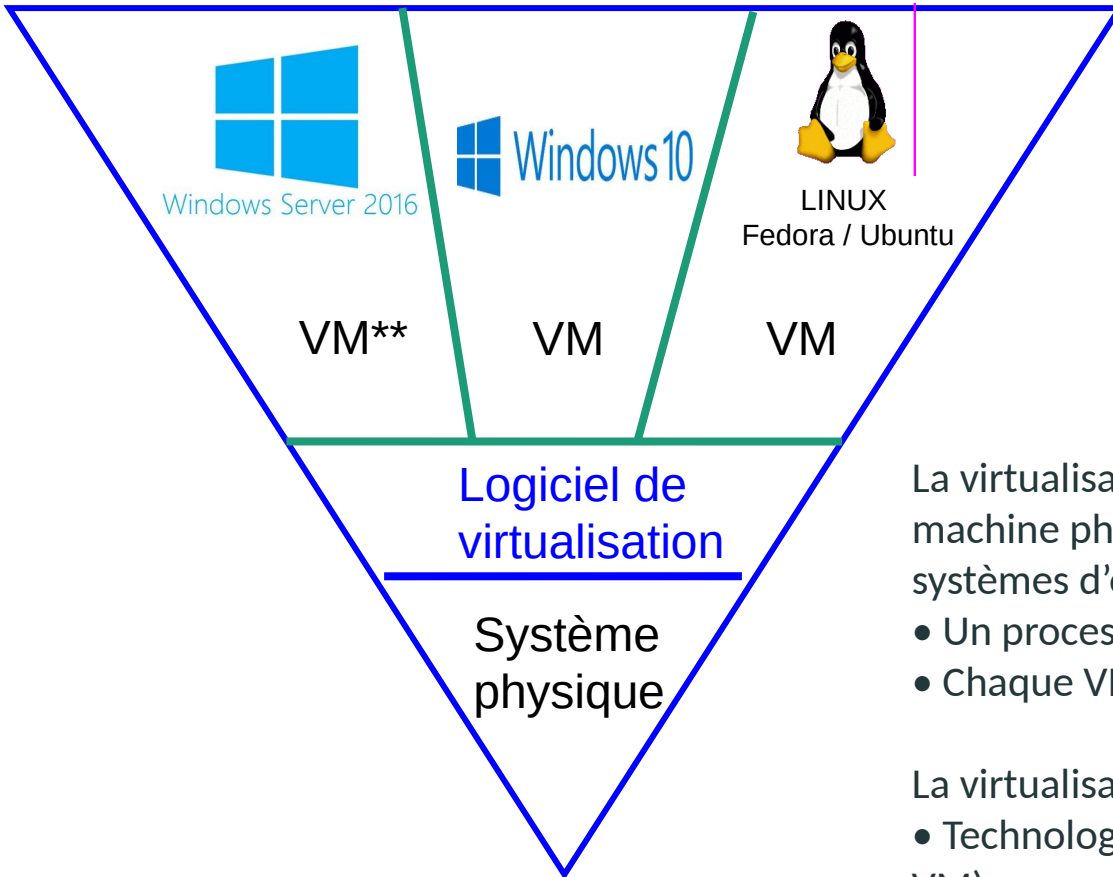


Téléphonie



# L'informatique au service d'un laboratoire (2)

## Plusieurs OS\* et la virtualisation des systèmes



**PROXMOX**



La virtualisation consiste à exécuter sur une machine physique, dans un environnement isolé, des systèmes d'exploitation.

- Un processus par VM sur l'hyperviseur
- Chaque VM possède son propre Kernel (Noyau)

La virtualisation moderne utilise :

- Technologie CPU Intel-VT ou AMD-V (Ring 0 pour les VM)
- Périphériques "simulés" : disque, réseau (para-virtualisation)...

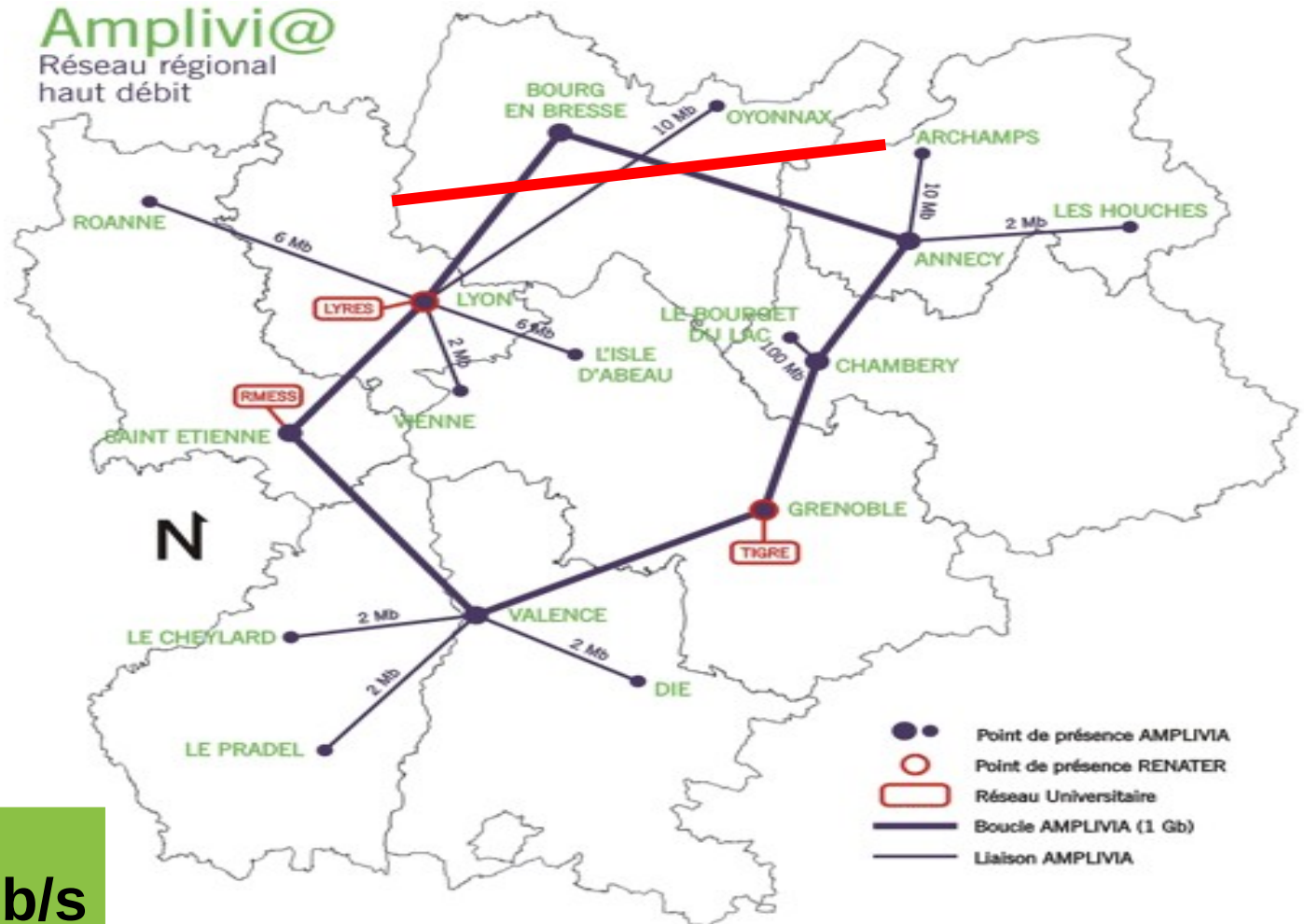
(\*) *Operating System = Système d'exploitation*

(\*\*) *Virtual Machine = Machine Virtuelle*

# L'informatique au service d'un laboratoire (3)

Liaison via le réseau régional Amplivia

Liaison directe avec le centre de calcul IN2P3 de Lyon



**Réseau  
Débit: 40 Gb/s**

# L'informatique au service d'un laboratoire (4)

## Infrastructure nationale RENATER

Réseau national de télécommunications pour la technologie, l'enseignement et la recherche

Une couverture réseau complète

- 12 000 km de fibre optiques
- 72 points de présence (NR)
- 15 longueurs d'ondes à 100 Gbit/s
- 130 longueurs d'ondes à 10 Gbit/s

Le réseau RENATER offre les spécificités suivantes :

- Une architecture basée sur des fibres noires et des équipements DWDM, afin de permettre des évolutions rapides des débits.
- Une généralisation du 10 Gigabit Ethernet dans le réseau et des fibres à 100 Gbit/s .
- Une architecture avec un maillage complet sur l'ensemble des points de présence du réseau.
- Une possibilité de répondre aux besoins de très hauts débits des grands projets de recherche en établissant des chemins optiques de bout en bout entre les points de présence

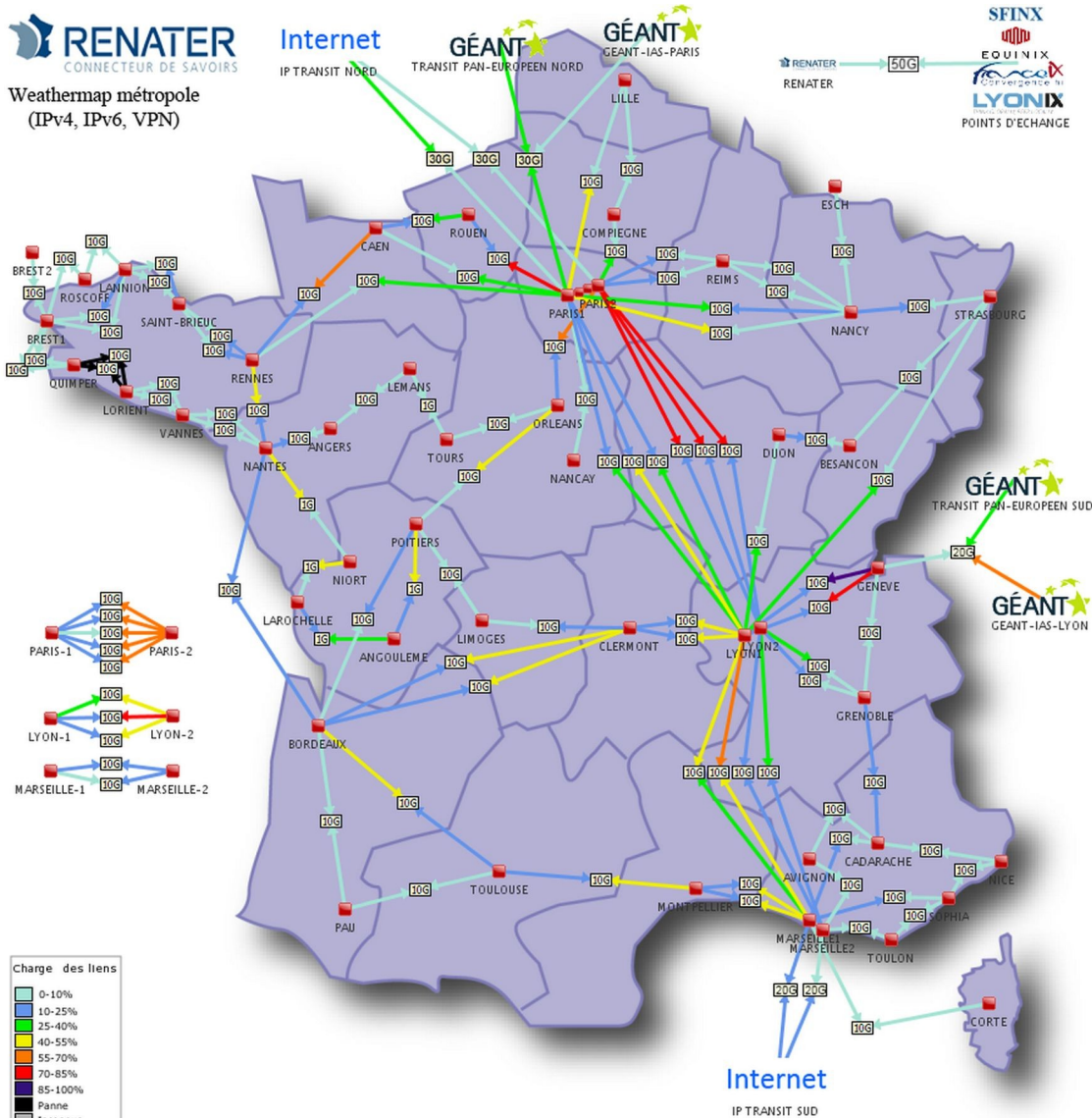


# L'informatique au service d'un laboratoire (5)

REseau **N**ational de **T**élécommunications pour la technologie, l'enseignement et la **R**echerche



Weathermap métropole  
(IPv4, IPv6, VPN)



Charge des liens

0-10%
10-25%
25-40%
40-55%
55-70%
70-85%
85-100%
Panne
Inconnue

Last update: Wed Oct 11 15:18:04 CEST 2017

# Le soutien aux expériences

C'est l'informatique directement liée à l'expérience.

► Une informatique d'acquisition et de contrôle au plus près des équipements (détecteur, télescope, interféromètre, ...) et de son électronique : **ONLINE**

- Des logiciels d'acquisition et de filtrage des données: les données doivent être traitées, en particulier triées, en un temps donné, en général très court.
- Des logiciels de contrôle et commande des instruments.

► Une informatique de traitement algorithmique et scientifique en temps différé : **OFFLINE**

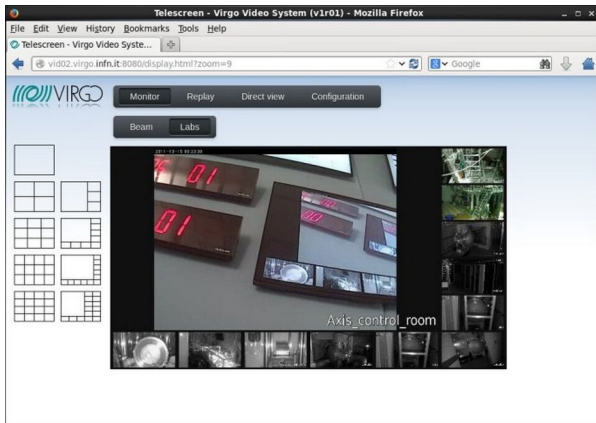
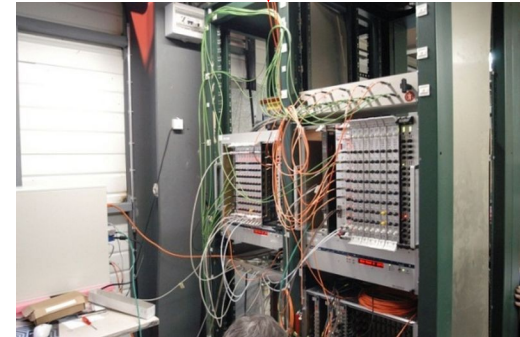
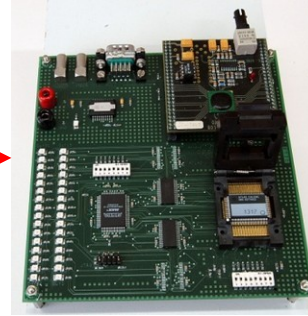
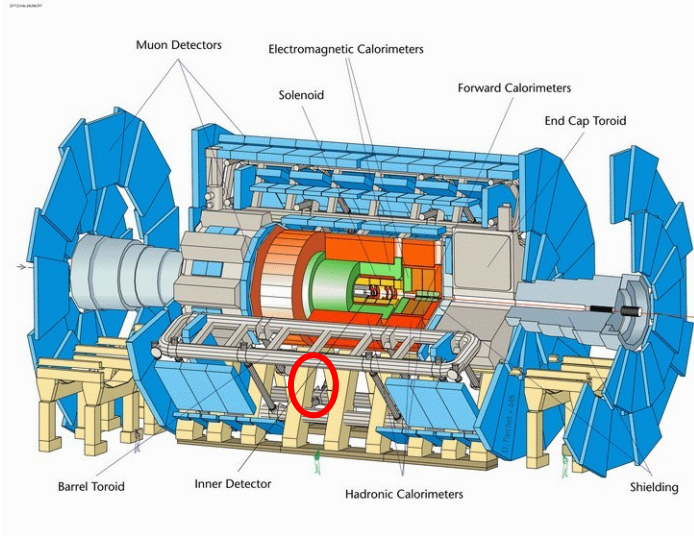
- Des logiciels de traitement et d'analyse des données retenues
- Des logiciels de visualisation des données,
- Des outils d'échanges et/ou de stockage des données

► Une informatique de soutien calculatoire : **La GRILLE**



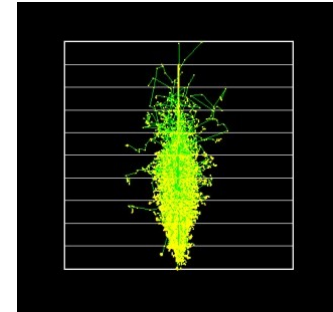
# Le support des expériences :

du *ONLINE*...

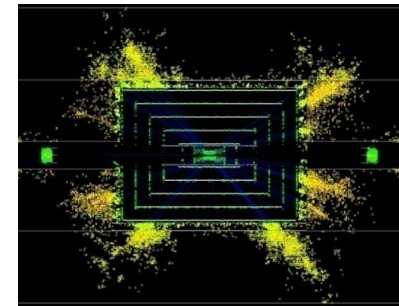


# Le support des expériences : ...vers le *OFFLINE*

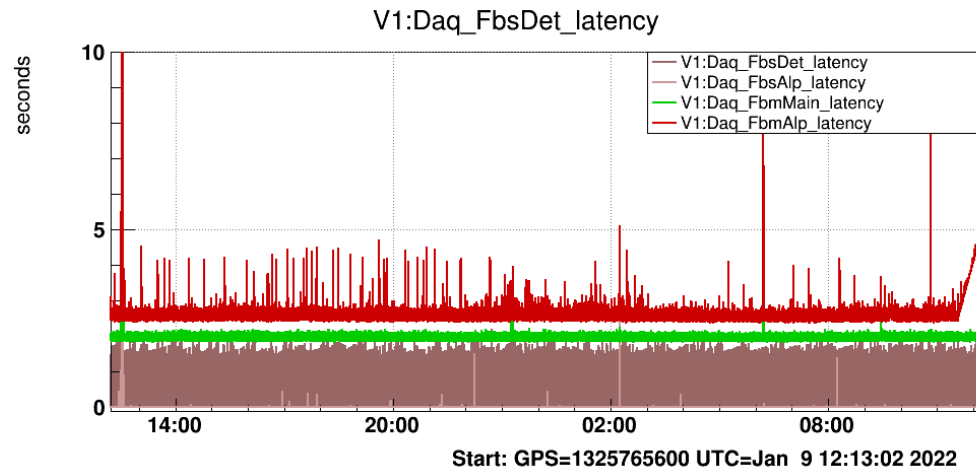
L'informatique pour simuler la traversée des  
particules dans les détecteurs



L'informatique de traitement des données



L'informatique pour  
visualiser les données



# Des expériences ?

## Le projet LHC du CERN



27 km de circonférence

### Le CERN (Genève)

C'est le plus grand centre de physique des particules du monde  
20 pays européens membres  
+ 28 pays qui sont impliqués dans les projets

### Le projet LHC : Large Hadron Collider

**Le Grand collisionneur de hadrons (LHC)**

Plus grand accélérateur de particules :  
2 faisceaux de particules circulent en sens opposés 🧑‍🔬 collisions proton/proton

### Nombre de collisions

**Détecteurs de particules : ATLAS – CMS – ALICE- LHCb**

40 millions de paquets de particules se croisent pendant une seconde  
🧑‍🔬 ce qui va générer 1 milliard de collisions proton/proton par seconde

Pour chaque seconde, seuls les 100 événements les plus intéressants sont enregistrés  
🧑‍🔬 soit environ 1Go/seconde

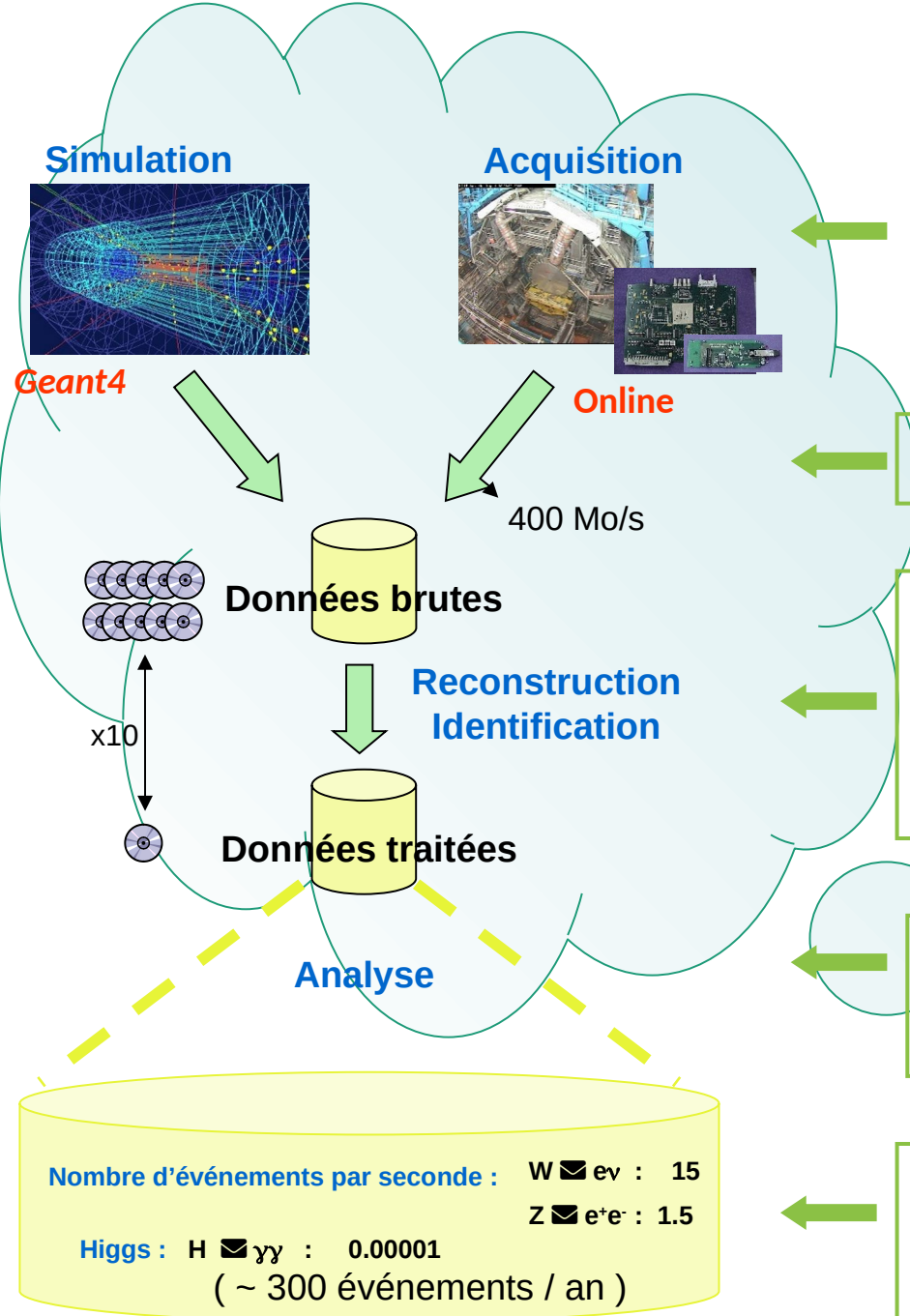
**Energie d'une collision :** les collisions ont lieu entre deux protons de 6.5 TeV

Un moustique en vol = 1TeV

**Cependant !!! : un proton est mille milliards de fois plus petit qu'un moustique !!!**  
( toute l'énergie est concentrée en un tout petit point )



# Du Online vers le Offline



Les données sont issues de deux processus distincts :

- la simulation (geant4), les calculs sont effectués à partir d'un modèle informatisé
- les mesures *online* (électronique), qui sont effectuées en temps réel par acquisition de signaux électroniques

La vitesse d'acquisition des données en mode Online est de l'ordre d'un 1/2 CD par seconde

Les données brutes sont traitées afin d'en extraire les informations significatives :

- énergies, traces, ...
- reconstruction des trajectoires
- identification des particules

+ ratio 1/10 entre les données brutes et traitées

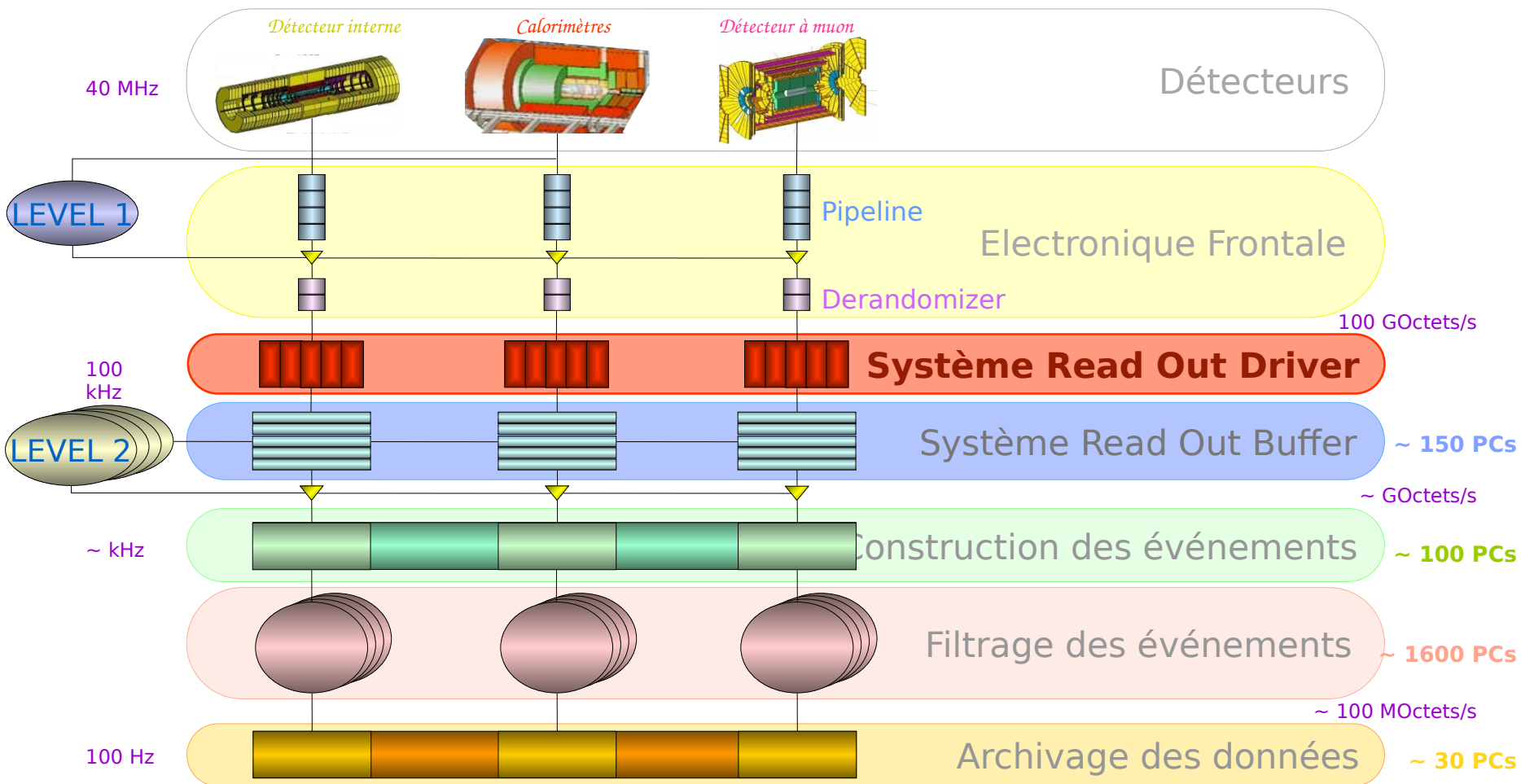
Le physicien analyse les données reconstruites afin de :

- déterminer quelle suite d'événements a eu lieu
- détecter des particules
- déterminer des caractéristiques physique de particules

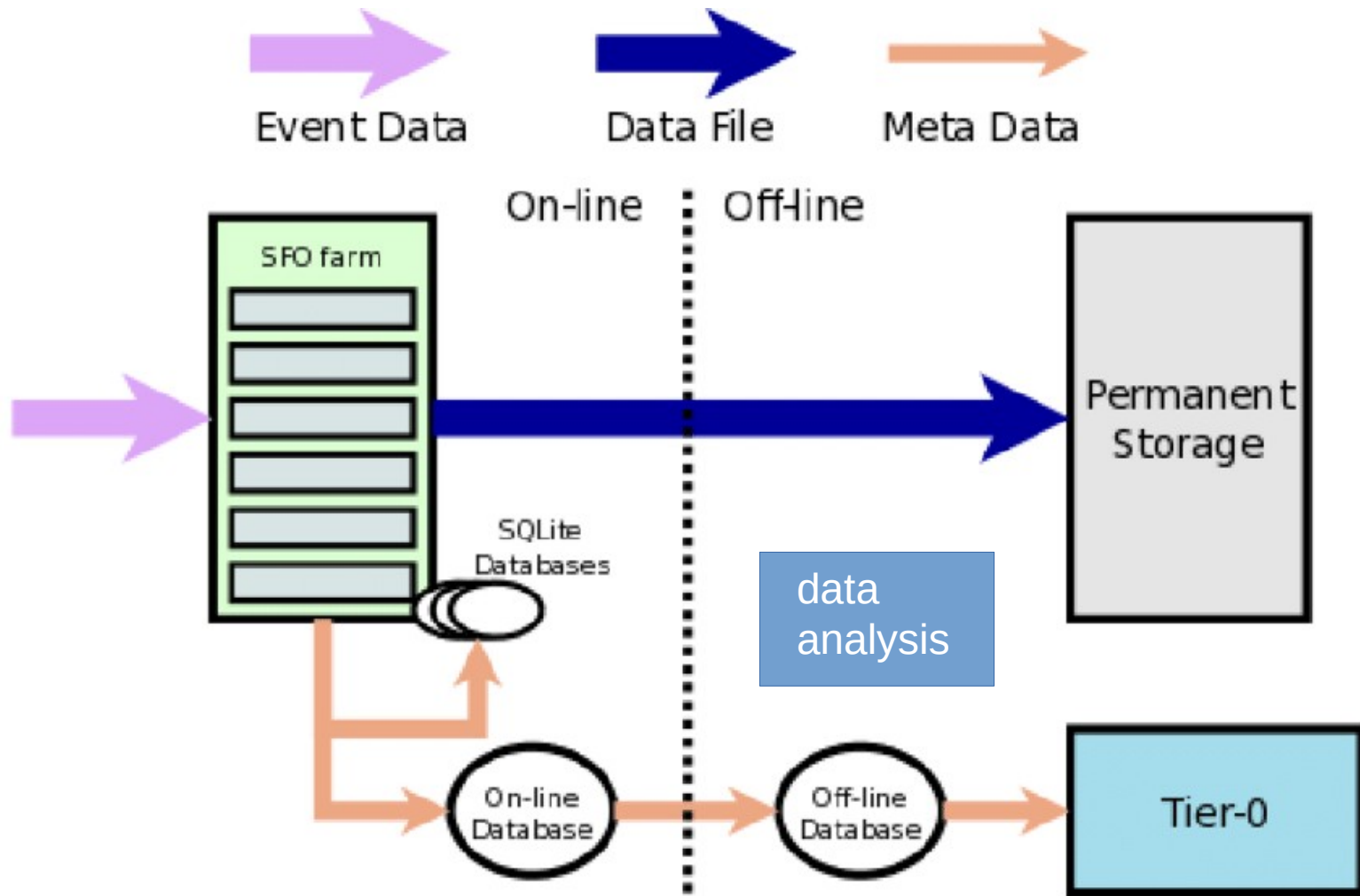
Toutes les données ne sont pas représentatives pour une même étude de physique :

=> de 1.5 événement / sec à 300 evts / an : importance de ne pas perdre de données

# Online : acquisition en ligne d'ATLAS



# Offline : acquisition d'ATLAS



# Soutien aux expériences

## => Développer des programmes (1)

Pour faire « fonctionner » l'électronique du « online » et traiter toutes les données recueillies (« offline »), il faut des applications et des programmes informatiques.

Quelques règles à respecter :

- Etablir puis respecter le cahier des charges
- Réfléchir avant de programmer : c'est la conception
- Plusieurs langages de programmation à connaître et utilisés selon les besoins ou selon la nature de l'application
- Tester
- Documenter les programmes,
- Utiliser les outils de développement

# Développer des programmes (2)

```
index.html - Untitled (Workspace) - Visual Studio Code
File Edit Selection View Go Run Terminal Help
EXPLORER
OPEN EDITORS
main.c DyWeb + src
index.html DyWeb + html/lightningChart
test.html DyWeb + html
mongoose.h DyWeb + src
mongoose.c DyWeb + src
requirements DyWeb + cmt
UNTITLED (WORKSPACE)
Cm2Ws
cmt
src
dev
DyWeb
cmt
data
DyWeb-cert.pem
DyWeb-key.pem
vpm-certificate.pem
vpm-key.pem
html
lightningChart
index.html
js lcjs.life.js
plotly
test.html
Linux-x86_64-CL7-4.9.80-hal-4-rtai-5.1
src
main.c
main.ph
main.pp
mongoose.c
mongoose.h
mongoose.ph
mongoose.pp
VirgoProcessMonitoring
OUTLINE
TIMELINE
master* 0 0 0
Ln 88, Col 35 Spaces: 4 UTF-8 LF HTML
```

```
49
50 // Extract required parts from LightningChartJS.
51 const {
52   lightningChart,
53   AxisTickStrategies,
54   AxisScrollStrategies
55 } = lcjs //Note: @arction/lcjs is not needed here, when using IIFE assembly
56
57
58 // Create a XY Chart.
59 const chart = lightningChart().ChartXY({
60   // Set the chart into a div with id, 'target'.
61   // Chart's size will automatically adjust to div's size.
62   //disableAnimations: true,
63   container: 'target'
64 })
65
66 .setTitle('My first chart') // Set chart title
67 .setAnimationsEnabled(false) // disable animation at startup
68
69 chart.getDefaultAxisX().setTitle('Time')
70 .setTitleFont((font) => font
71   .setSize(16)
72   .setFamily('Arial, Helvetica, sans-serif'))
73 .setTickStrategy(AxisTickStrategies.DateTime, (tickStrategy) => tickStrategy)
74 .setMajorTickStyle((tickStyle) => tickStyle
75   .setLabelFont((font) => font
76     .setFamily('Arial, Helvetica, sans-serif')
77     .setSize(15)
78     .setStyle('normal')
79   )
80   .setMinorTickStyle((tickStyle) => tickStyle
81     .setLabelFont((font) => font
82       .setFamily('Arial, Helvetica, sans-serif')
83       .setSize(12)
84       .setStyle('normal')
85     )
86   )
87 )
88 .setInterval(0, 300000)
89 .setScrollStrategy(AxisScrollStrategies.progressive);
90
91 const data = [
92   { x: 0, y: 1.52 },
93   { x: 10000, y: 1.56 },
94   { x: 20560, y: 1.42 },
95   { x: 30000, y: 1.85 },
96   { x: 35000, y: 1.29 },
97   { x: 50000, y: 1.62 }
98 ]
99 const yData = [1.52, 1.56, -0.42, 1.85, 1.29, 1.62]
100
101 // Add a line series.
102 const lineSeries = chart.addLineSeries()
```

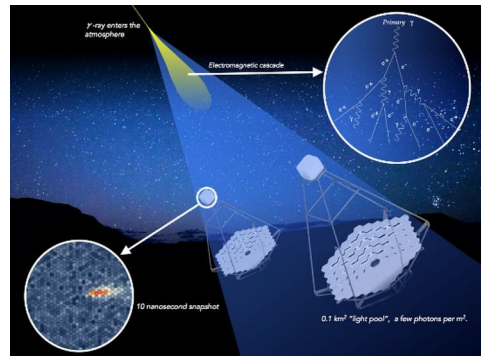
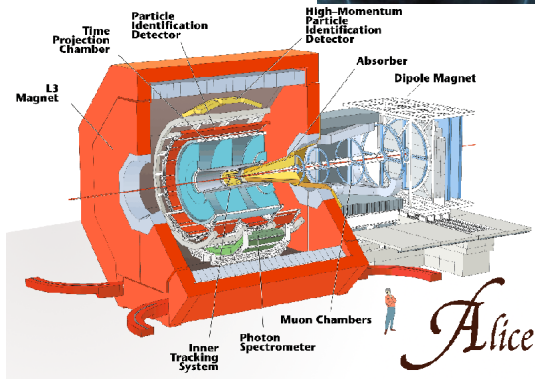


# Soutien aux expériences => les enjeux et les solutions du calcul

Les instruments scientifiques produisent d'énormes quantités de données



Besoins informatiques accrus et nouveaux  
**GRILLE ?**



Les données à analyser doivent être accessibles à tous les chercheurs partout dans le monde

Le défi informatique du LHC : **Soutien aux expériences**

## => **les solutions du calcul pour le LHC**

*Les moyens informatiques de calcul et de stockage nécessaires pour supporter l'expérience du LHC sont colossaux*

- ➔ Malgré les évolutions de l'électronique et du matériel informatique, il n'existe pas de structure capable de fournir de telles puissances.
- ➔ De plus, les personnes qui collaborent aux expériences du LHC travaillent dans des universités et des laboratoires répartis partout dans le monde...



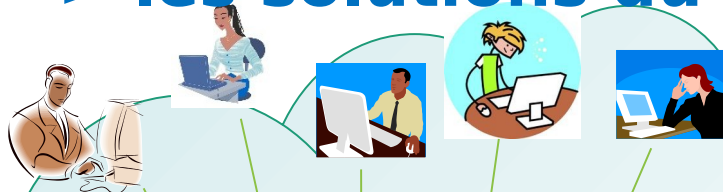
Construire une infrastructure de travail commune et accessible par tout le monde en regroupant et en partageant des fermes de calcul et de stockage installées dans les universités et les laboratoires

**Cette nouvelle infrastructure s'appelle la grille de calcul**

La grille construite en Europe s'appelle **EGI** (European Grid Initiative )

Le projet **WLCG** ( Worldwide LHC Grid Computing ) est la grille pour le LHC

# Soutien aux expériences => les solutions du calcul : la grille



Interface utilisateur

Interface logicielle transparente pour l'utilisateur qui spécifie quel calcul il souhaite réaliser et à partir de quelles données...

Puis le système détermine :

- où sont les données
- où le calcul va être exécuté
- envoie le calcul sur le site retenu
- donne un suivi temps réel du déroulement du calcul
- récupère les résultats, les répertorie et les stocke

Protocoles d'identification  
Suivi temps réel

Réseaux - web

Cette infrastructure est rendue possible grâce à l'évolution des réseaux (débits à plusieurs Gbits/seconde)

**Idée principale** : mutualisation des moyens – mise en commun des données

Chaque site met à la disposition de la communauté ses moyens informatiques, en échange il a accès aux moyens mis en oeuvre par les autres

ATTENTION : ce ne sont pas des PC, mais des fermes de calcul et des unités de stockage



## Soutien aux expériences => les solutions du calcul : la grille

Une définition (imaginée) possible...

La grille est un super centre de calcul.

On peut comparer la grille au réseau électrique qui nous fournit la puissance sans que nous nous préoccupions de savoir où et comment elle a été produite, ni par où elle circule.

On accède à la grille par une prise (le réseau internet) qui fournit à l'utilisateur la puissance de calcul et la capacité de stockage dont il a besoin, sans qu'il ait à se préoccuper de l'endroit où les services sont installés.

## Soutien aux expériences

# => les solutions du calcul pour le LHC : WLCG

Par exemple, l'expérience ATLAS, après le filtrage de niveau 1, génère **1Go / seconde**.

(les autres expériences ALICE: 4 Go/s, CMS: 600 Mo/s, LHCb: 750 Mo/s)

La [Grille de calcul mondiale pour le LHC \(WLCG\)](#) traite cette « montagne » de données en deux étapes. Tout d'abord, elle exécute des algorithmes spécifiques permettant d'éliminer certains événements, soit parce que les physiciens les connaissent déjà soit parce qu'ils les considèrent comme inintéressants. Les physiciens peuvent ainsi se concentrer sur les données les plus importantes, celles qui pourraient conduire à de nouvelles découvertes en physique.

- Lors de cette première étape de sélection, parmi les quelques **600 millions d'événements** que les détecteurs enregistrent par seconde, **seuls 100 000 sont envoyés au Centre de calcul du CERN** pour être reconstitués numériquement.
- Lors de la deuxième étape, des algorithmes plus sophistiqués traitent à nouveau les données, ne retenant que **100 à 200 événements intéressants par seconde**.
- Ces données brutes sont enregistrées sur les serveurs du Centre de calcul du CERN à raison d'environ **1,5 CD par seconde** (quelque 1050 mégaoctets par seconde).

# Soutien aux expériences => le LAPP au sein de la grille

Taille de l'infrastructure disponible à ce jour pour les expériences LHC



Aujourd'hui : 400 PetaOctets et 500 000 CPUs  
40 pays, 190 sites et 6 continents

La ferme de calcul du **LAPP** :  
collaboration LAPP – Université de Savoie



**Projet  
MUST**



- 3 PetaOctets de stockage (= 3000 To)
- 5000 CPUs (chiffres au 9/3/2020)

# Soutien aux expériences => le projet « grille » au LAPP : MUST



- Mésocentre de calcul et de stockage pour l'Université Savoie Mont Blanc, nœud Tier2 pour ATLAS et LHCb ouvert sur la grille EGI\*
  - 10 laboratoires de l'université de Savoie en sont membres (75% des chercheurs scientifiques de l'Université)
  - 5000 CPUs et 3000 To de stockage
  - Une salle de 200m<sup>2</sup> dans la maison de la mécatronique
  - Une équipe support applicatif: autres laboratoires de l'Université, ATLAS, LHCb, CTA, LC



(\*) **EGI** : European Grid Infrastructure : consortium pour une grille européenne dédiée à la science

