



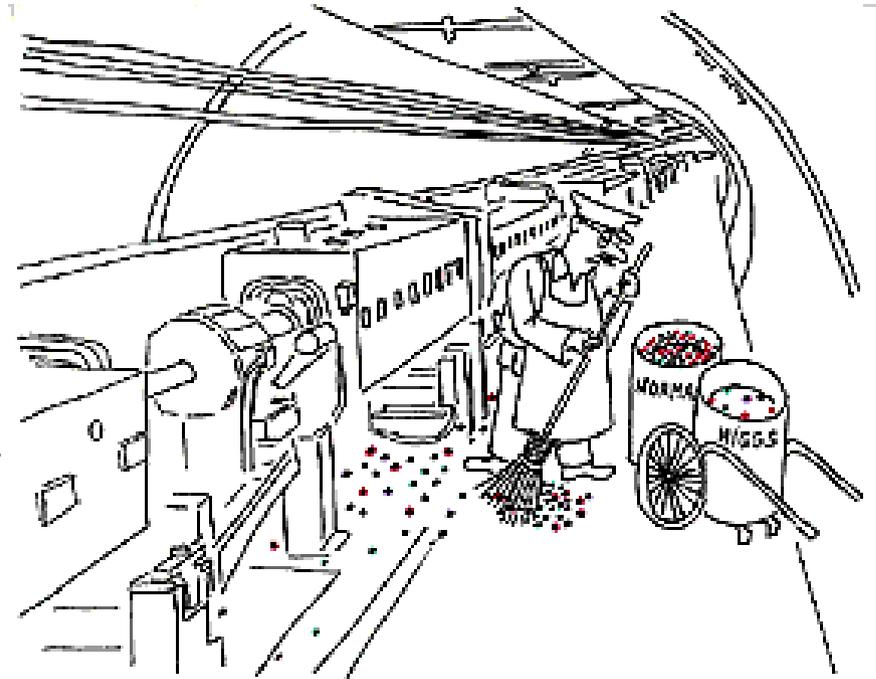
# Acquisition de données



**J.P. Cachemiche**  
Centre de Physique des Particules de Marseille

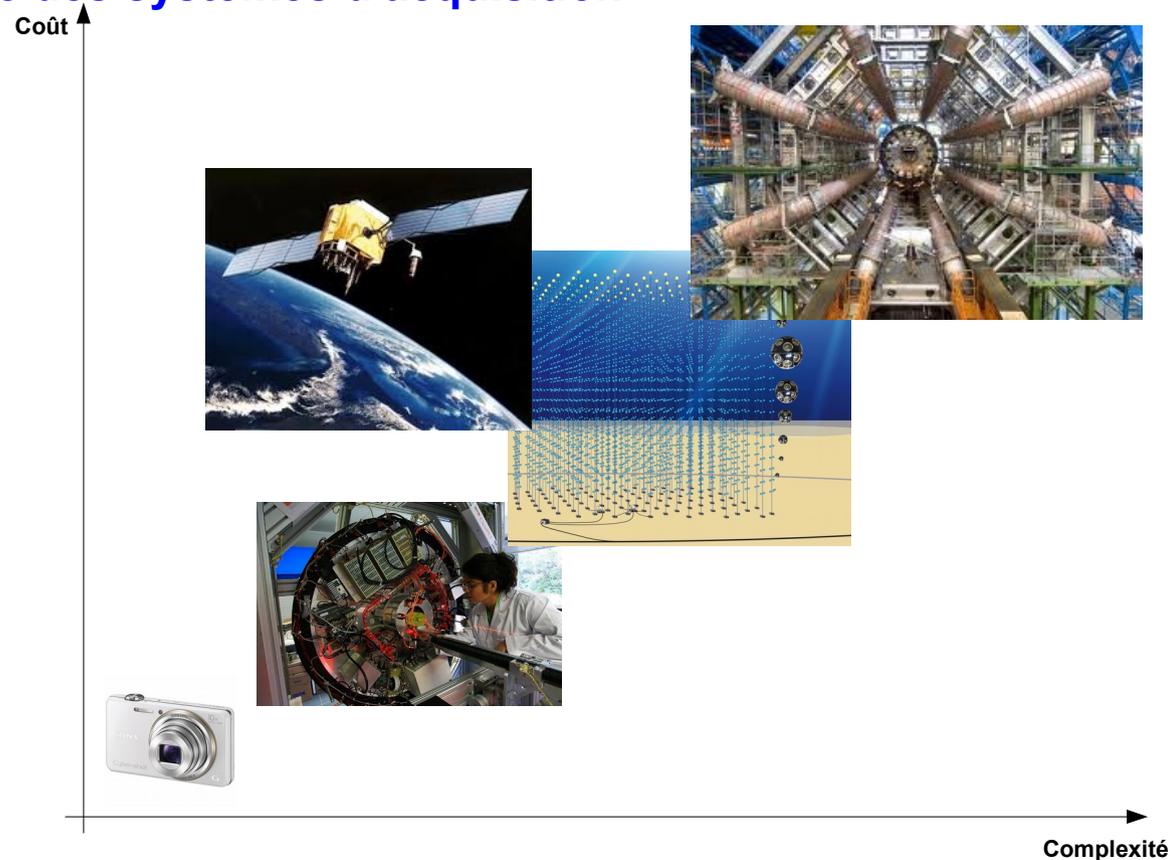
## Plan

- **Introduction**
- **Concepts de base**
- **Front-end**
- **Readout**
- **Trigger**
- **Distribution temporelle**
- **Contrôle et monitoring**



# Systemes d'acquisition

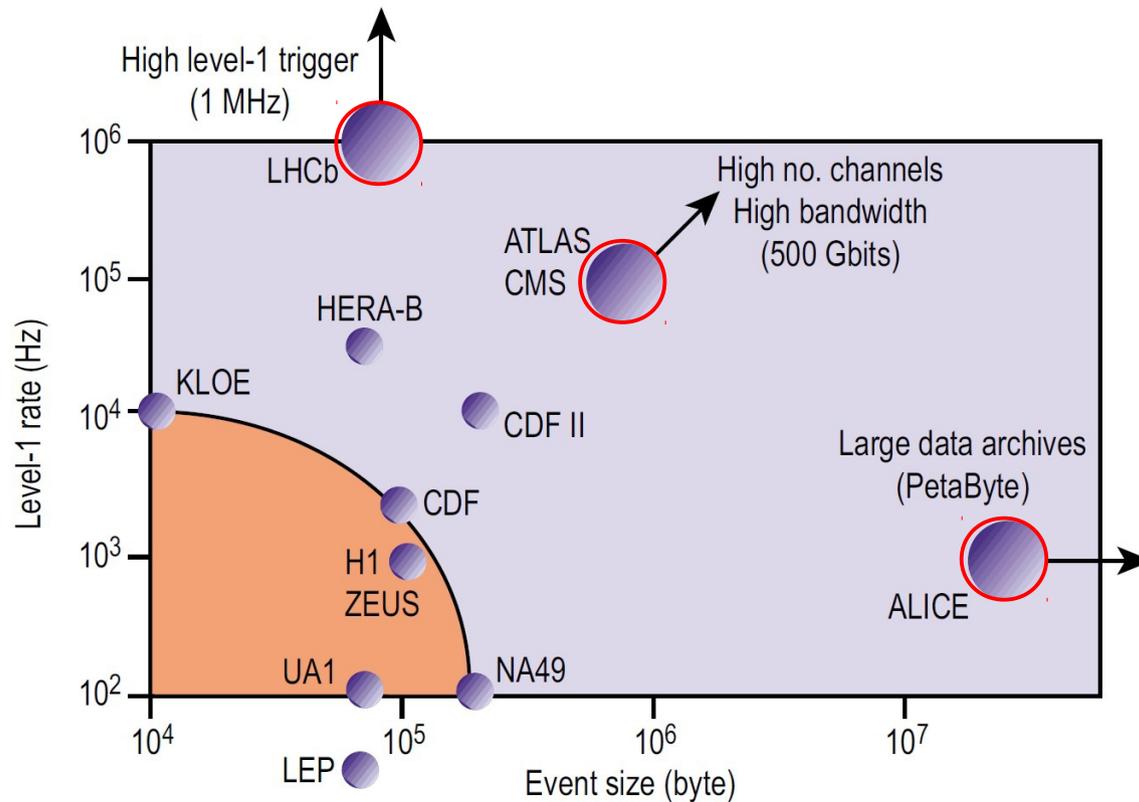
## Variabilité des systemes d'acquisition



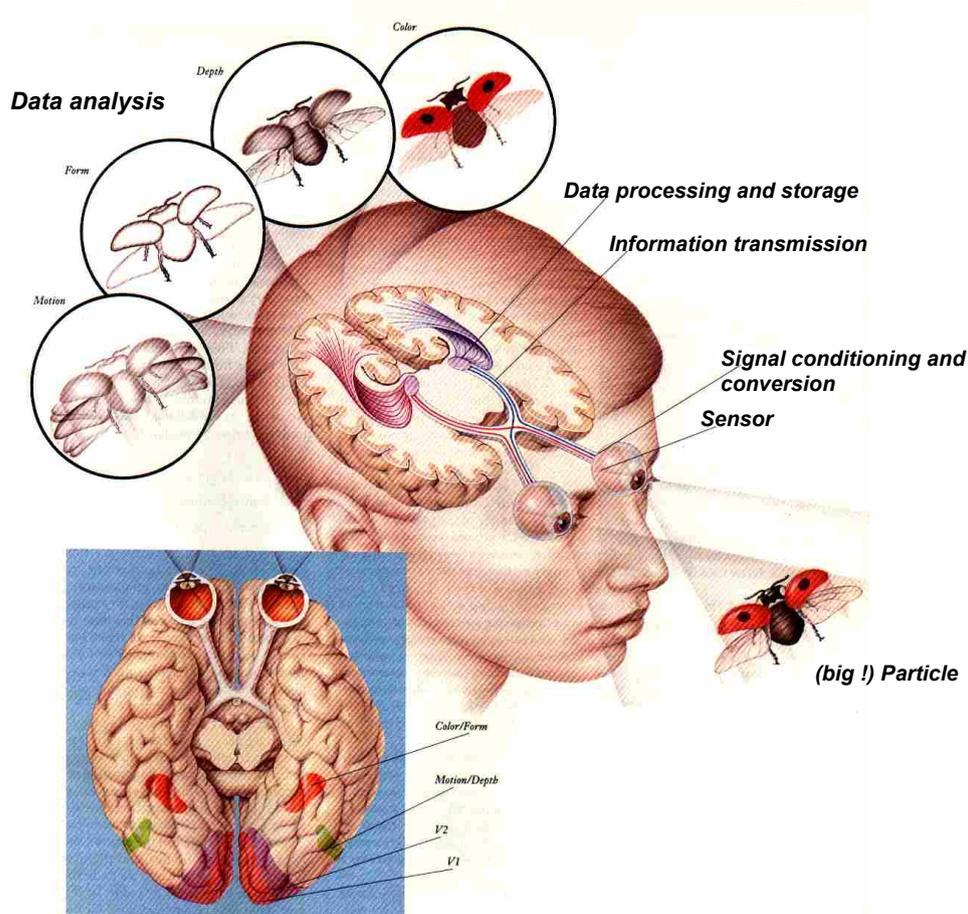
- ➔ Leur structure peut varier considérablement en fonction des performances recherchées, de l'ampleur de la mesure et des contraintes d'exploitation

# Systemes d'acquisition

Dans des domaines d'applications similaires, les contraintes peuvent être très différentes



# Systemes d'acquisition

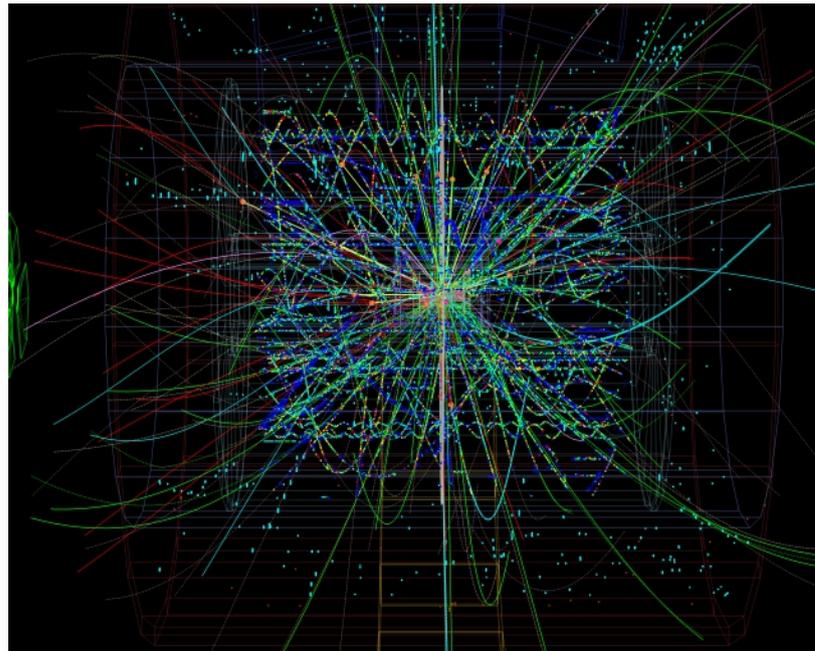


Quel que soit le système, les composantes d'un système d'acquisition incluent toujours :

- Des *capteurs* qui convertissent les paramètres physiques en signaux électriques
- Des étages de *conditionnement du signal*
- *Des liens de transmission*
- Une *unité centrale* qui collecte les résultats et supervise le processus
- *Des éléments de stockage*
- Une *analyse de données* à postériori ou en temps réel

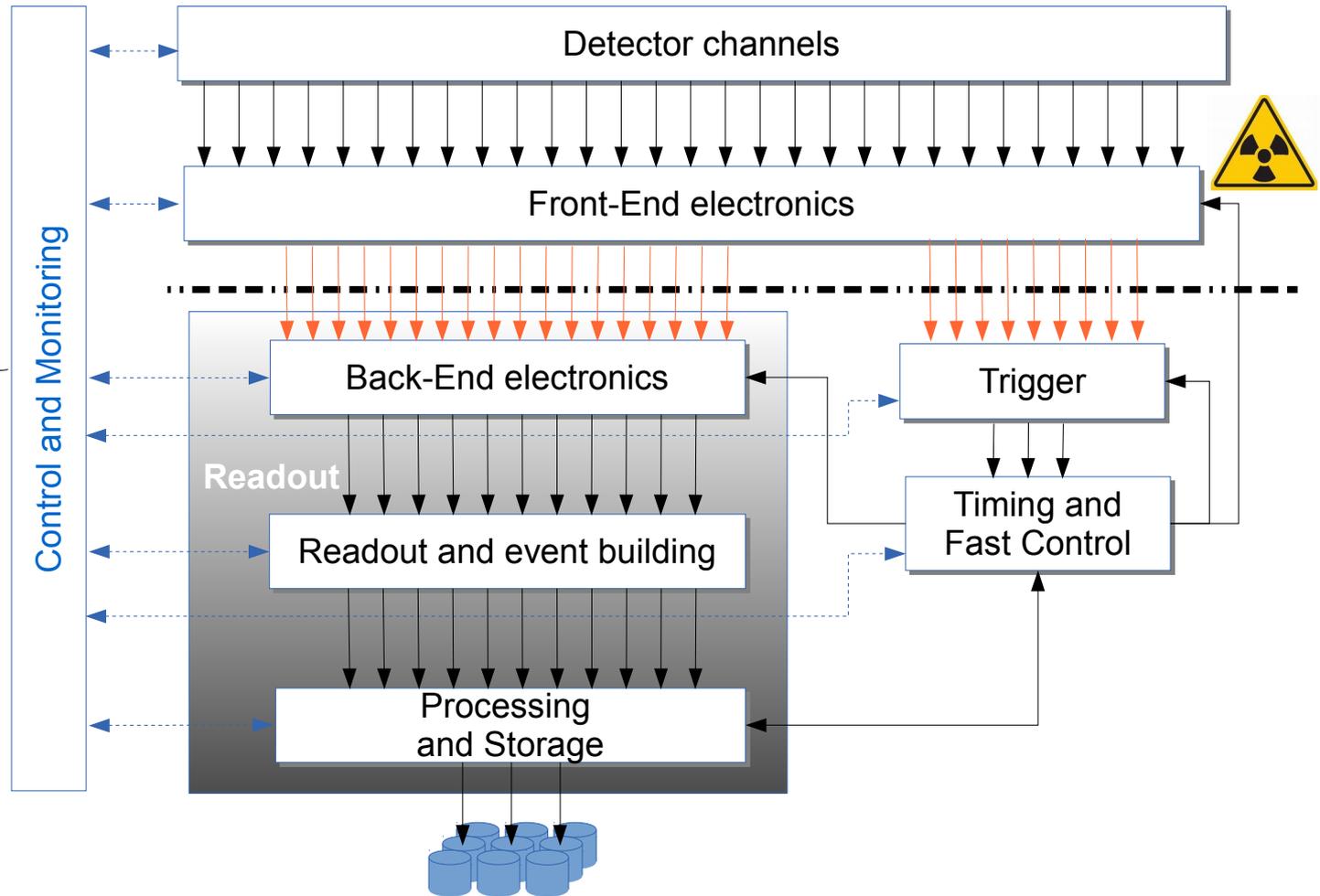
# Systemes d'acquisition

- On va expliquer les problematiques de quelques uns des plus puissants systemes d'acquisition actuels : les DAQ des experiences ATLAS, CMS, ALICE et LHCb du Large Hadron Collider au CERN ;
- Les architectures decrites sont donc specifiques des contraintes rencontrees dans ces systemes mais peuvent etre rencontrees sur tout type d'acquisition.

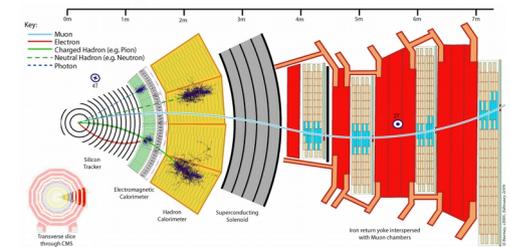
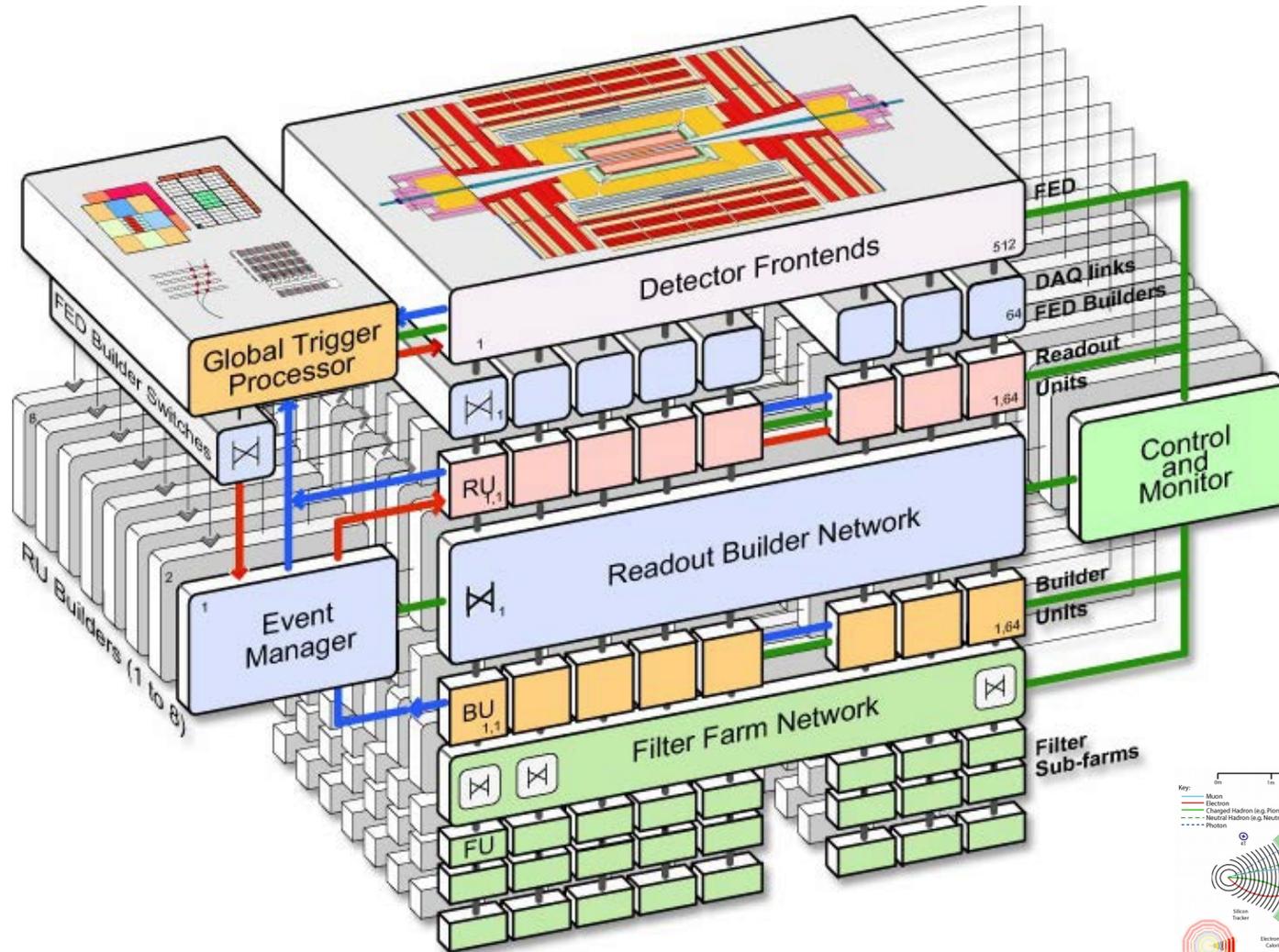


# Concepts de base

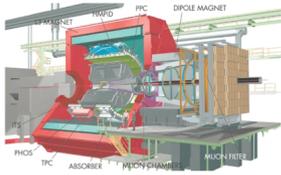
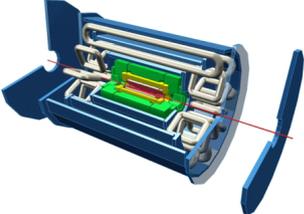
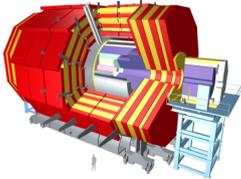
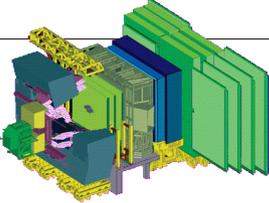
# Éléments d'un système d'acquisition



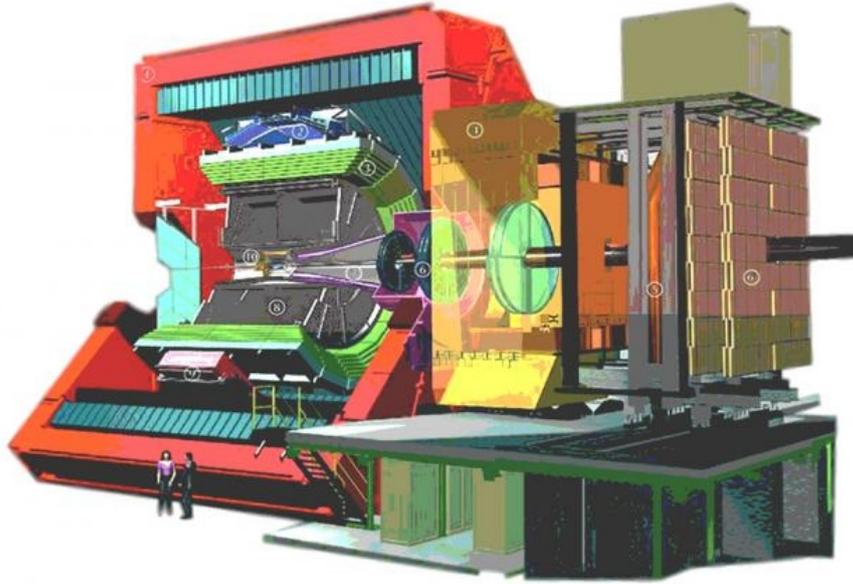
# Exemple : le système d'acquisition de CMS



# Caractéristiques des détecteurs LHC

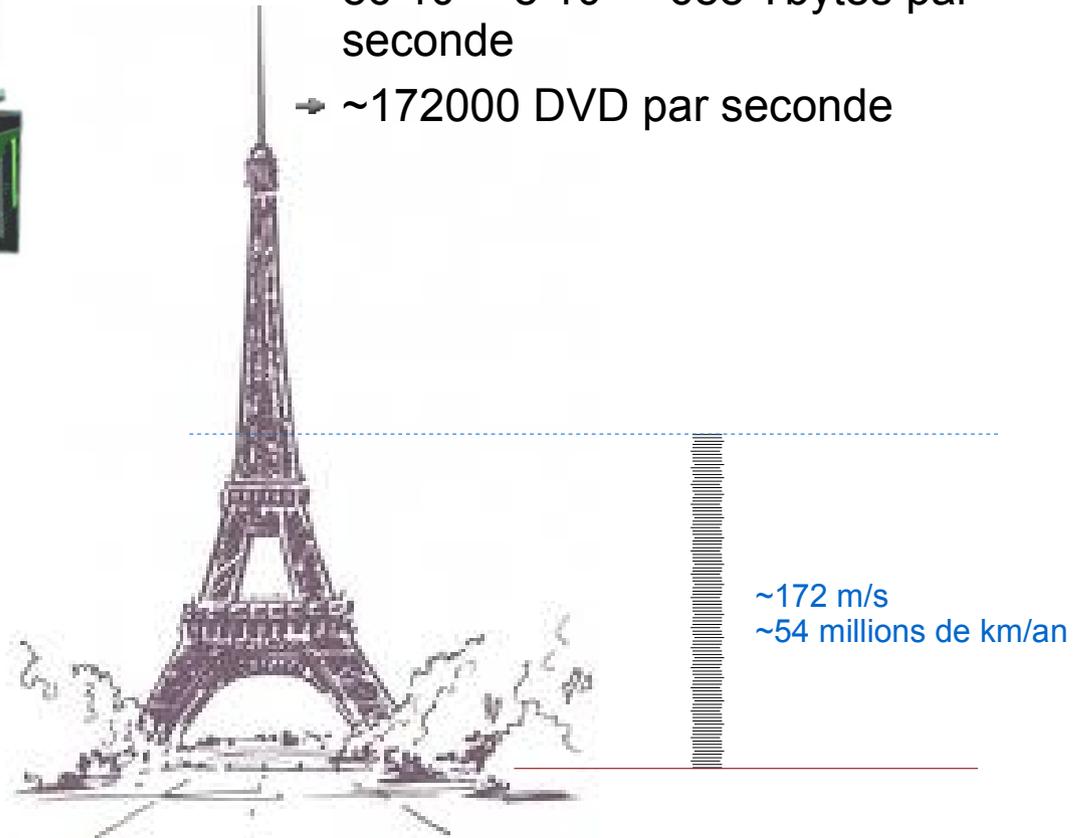
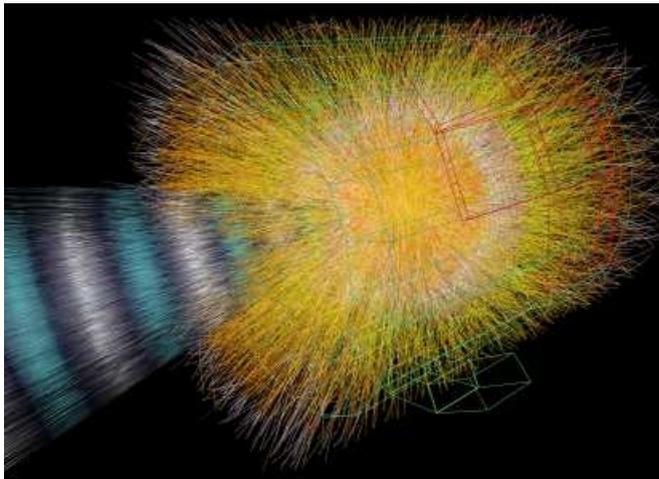
		Données générées par un Bunch Crossing	Taux de collisions	Nombre de canaux
ALICE		Pb-Pb : 86 Mb p-p : 2.5 Mb	PbPb : 125 ns p-p : 25 ns	~ 60 millions
ATLAS		p-p : 1.5 Mb	p-p : 25 ns	~100 millions
CMS		p-p : 1 Mb	p-p : 25 ns	~70 millions
LHCb		p-p : 75 kb	p-p : 25 ns	~1 million

# Le challenge

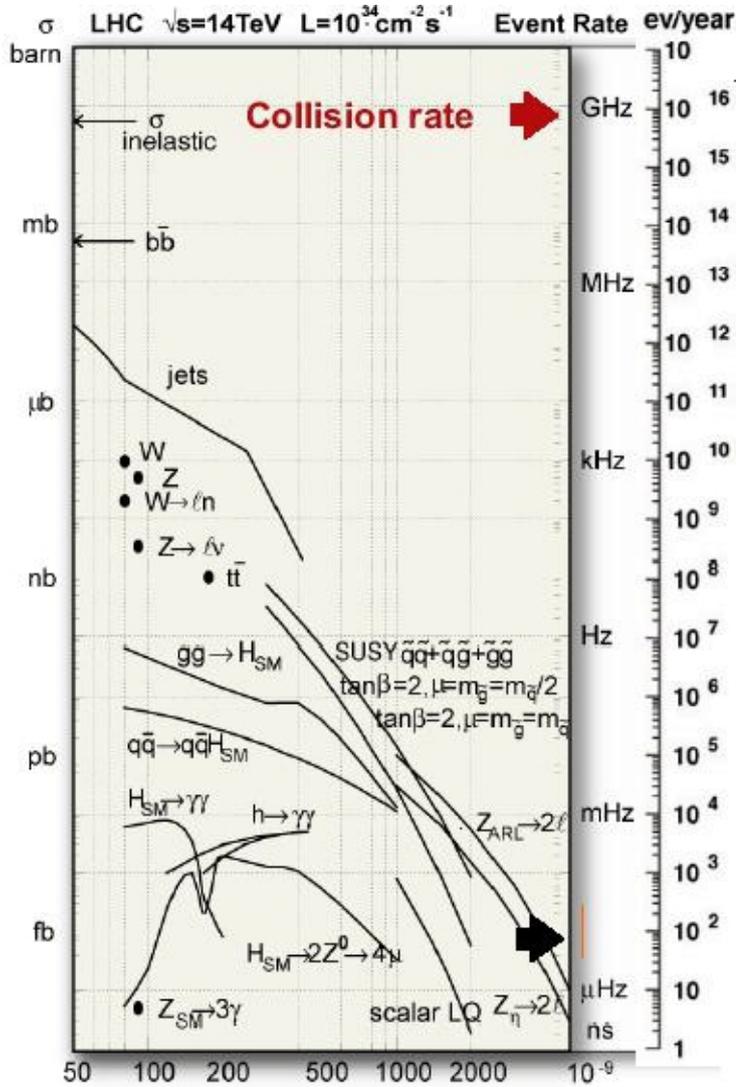


## Peut-on stocker tous les événements ?

- Exemple détecteur Alice
  - Collisions Pb-Pb :  
taille d'un événement = 86 Mbytes
    - $86 \cdot 10^6 \cdot 8 \cdot 10^6 = 688$  Tbytes par seconde
    - ~172000 DVD par seconde

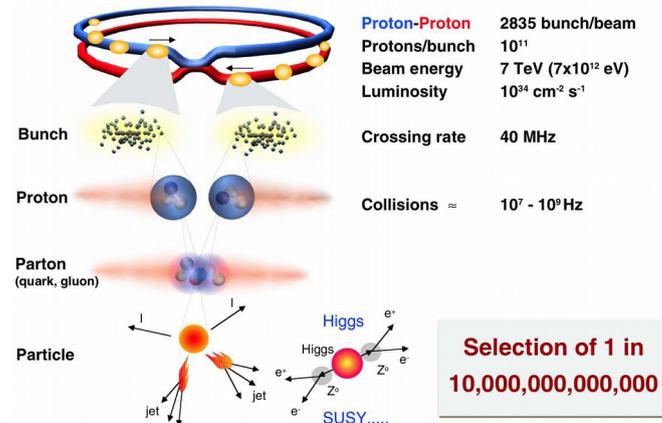


# Réduction du nombre d'événements



## La plupart des collisions sont sans intérêt !

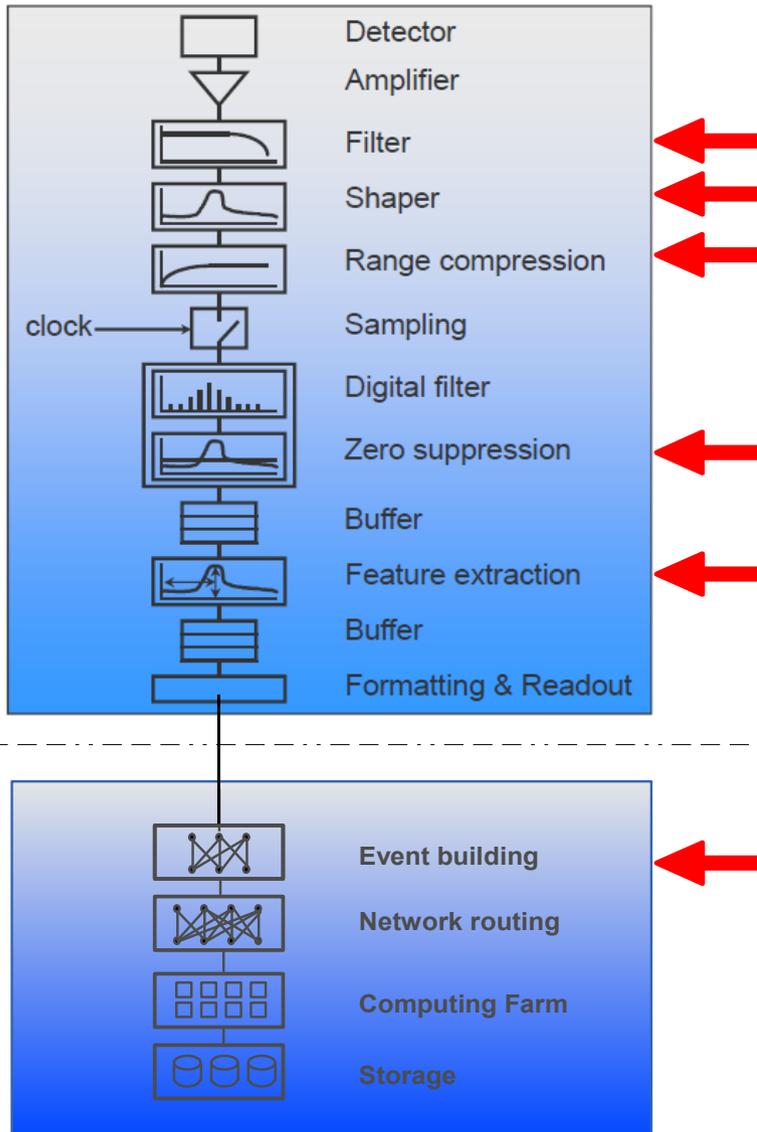
- Quelques chiffres pour le LHC
  - Bunch crossings :  $4 \cdot 10^7$  Hz
  - Collisions de protons :  $10^9$  Hz
  - Production de nouvelles particules :  $10^{-5}$  Hz (quelques milliers par an)
    - 1 événement intéressant sur  $10^{14}$  collisions !



## On filtre les événements inutiles

→ **Rôle du trigger**

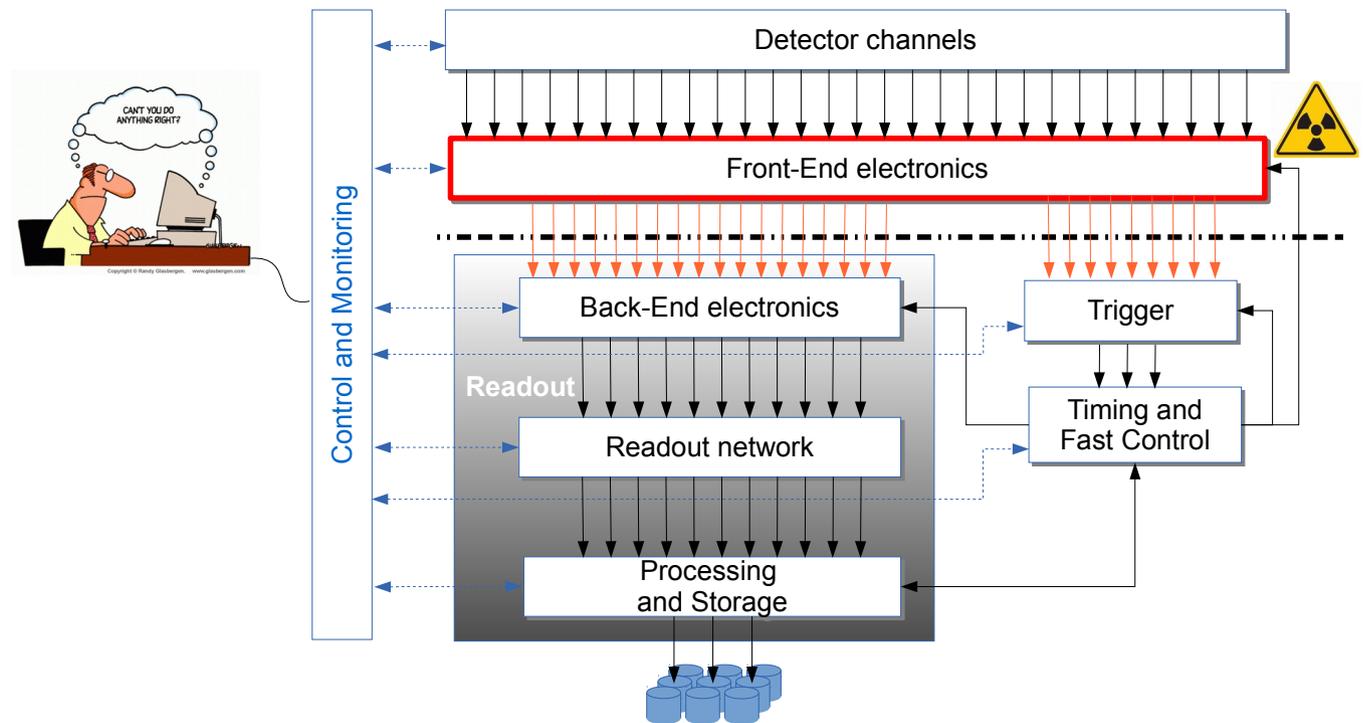
# Réduction du volume des événements



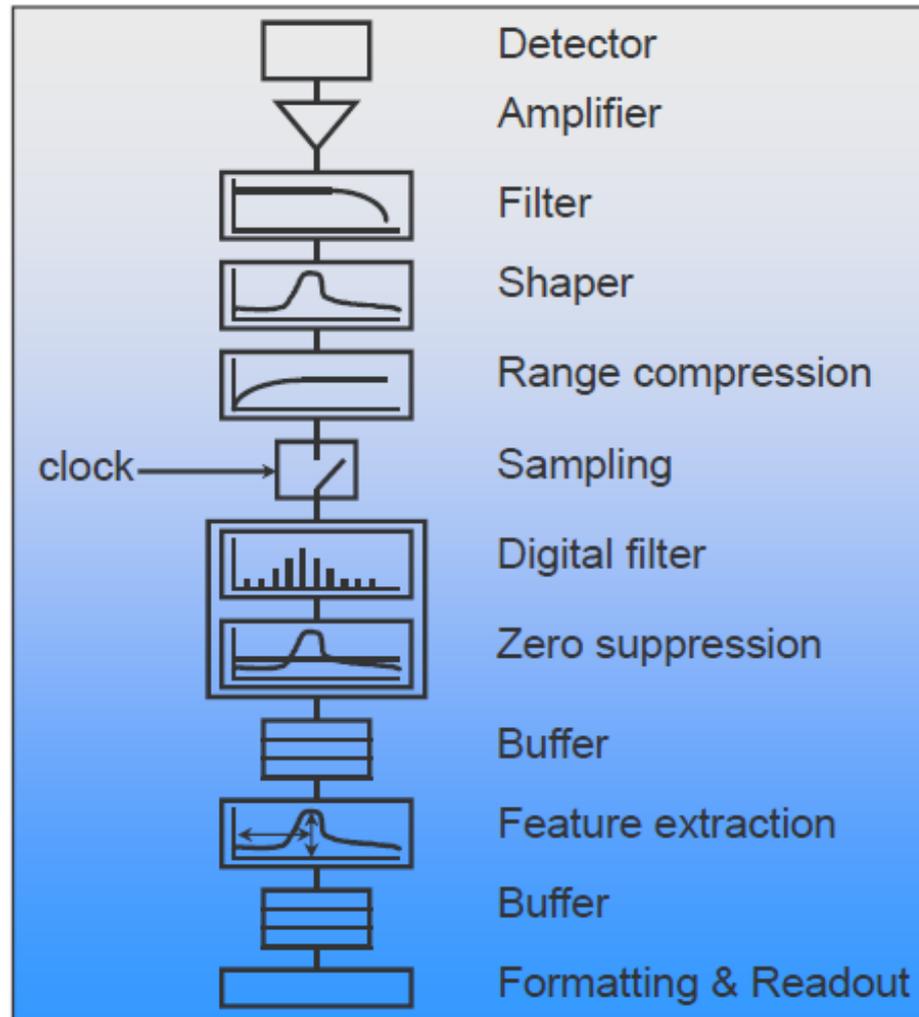
Les données sont compressées tout au long de la chaîne :

- Au niveau des Front-Ends
  - Compression analogique avec pertes
- Au niveau des Back-Ends
  - Compression numérique sans pertes selon algorithmes dépendant du type de données
  - **Rôle du Readout**

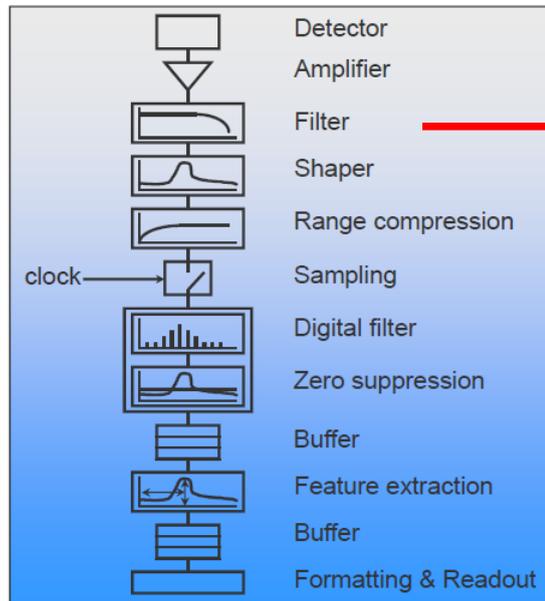
# Electronique Front-End



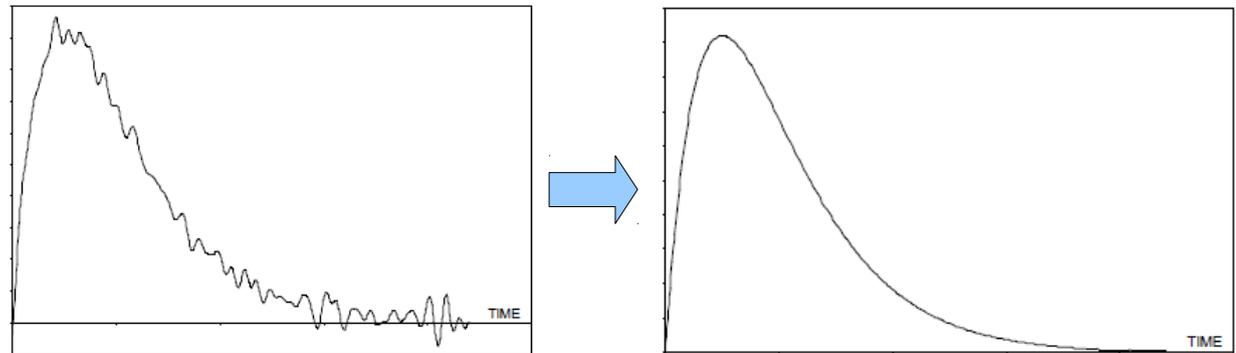
# Canal d'acquisition typique



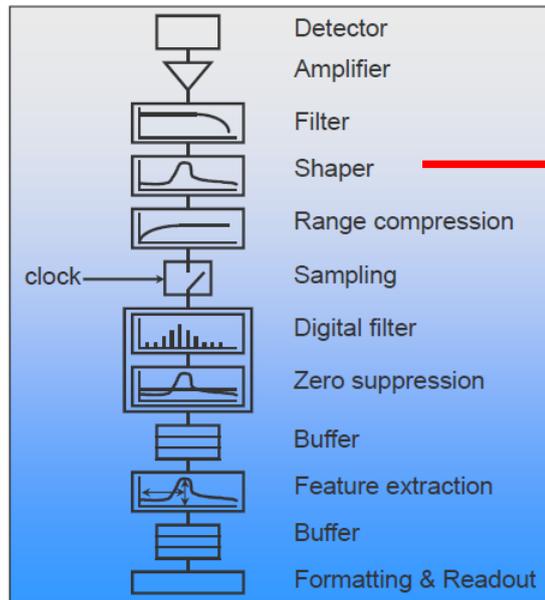
# Détails d'un canal d'acquisition



• Le « Filtre » élimine le bruit électronique

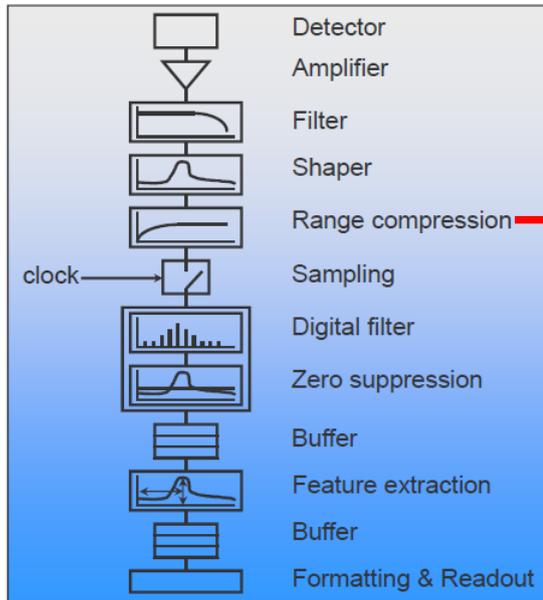


# Détails d'un canal d'acquisition

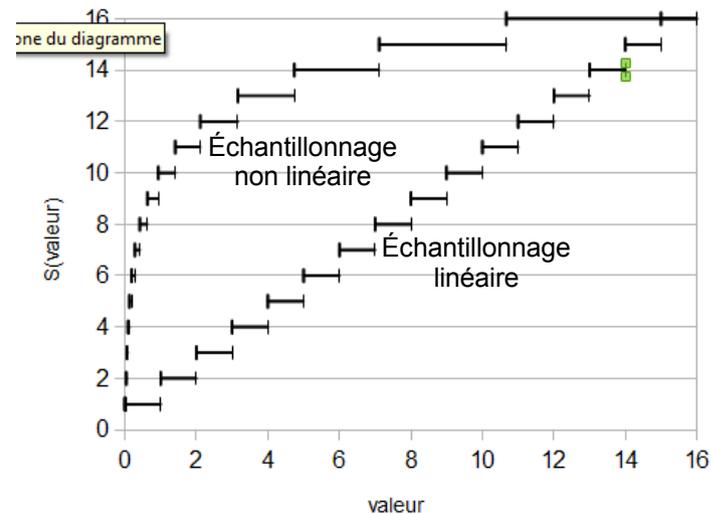


- Le « Shaper » optimise la forme du signal de façon à mieux observer :
  - le signal minimum qu'on souhaite détecter
  - l'amplitude du signal
  - l'instant d'arrivée
  - parfois une combinaison des précédents
- Peut varier suivant ce qu'on cherche à observer :
  - présence ou non (hit)
  - énergie
  - temps

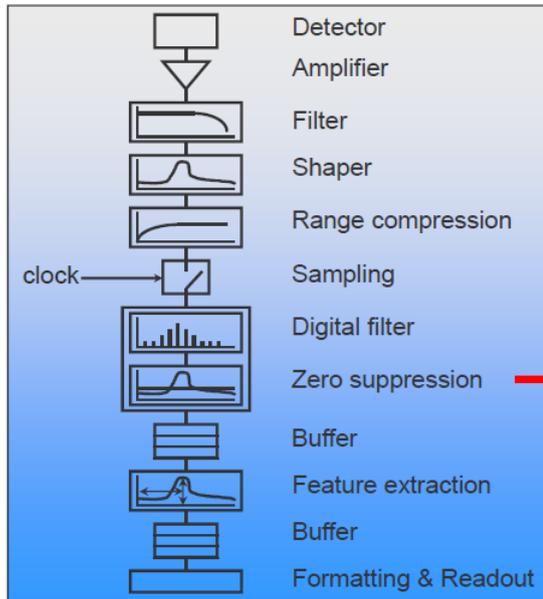
# Détails d'un canal d'acquisition



- L'échantillonnage avec « range compression » :
  - L'amplitude du pas de quantification n'est pas la même pour les grandes valeurs du signal que pour les faibles valeurs
    - Permet d'avoir une meilleure résolution sur les faibles amplitudes sans augmenter le nombre de bits du mot encodé

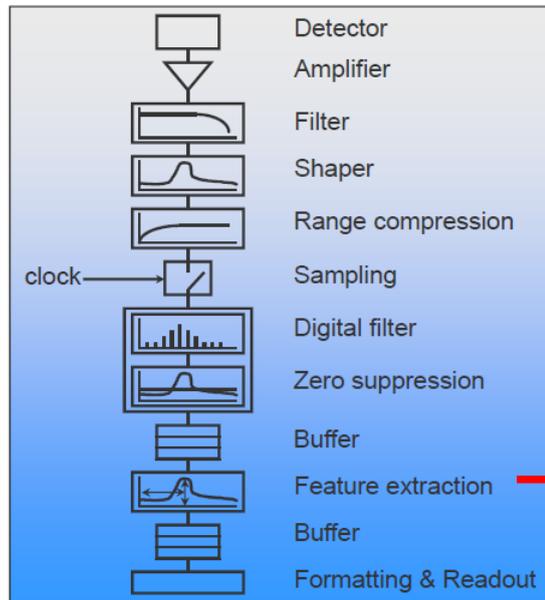


# Détails d'un canal d'acquisition

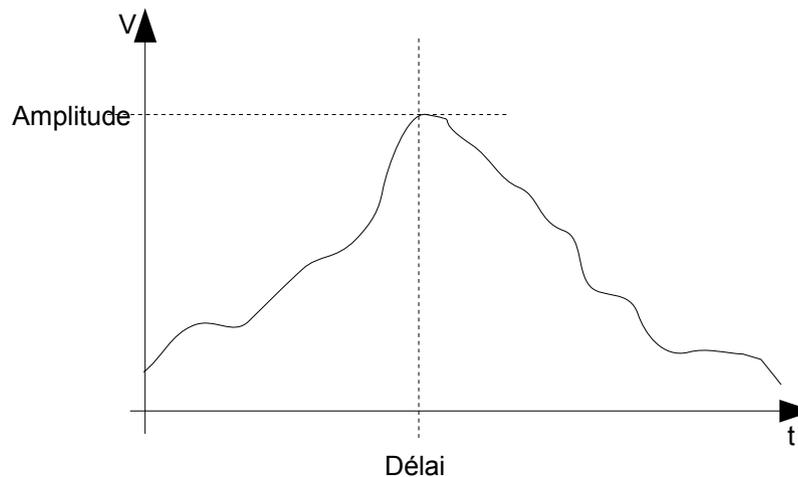


- La « suppression de zéro » consiste à maximiser le nombre de valeurs nulles du signal pour le compresser plus facilement.
- Au sens large toute opération de compression

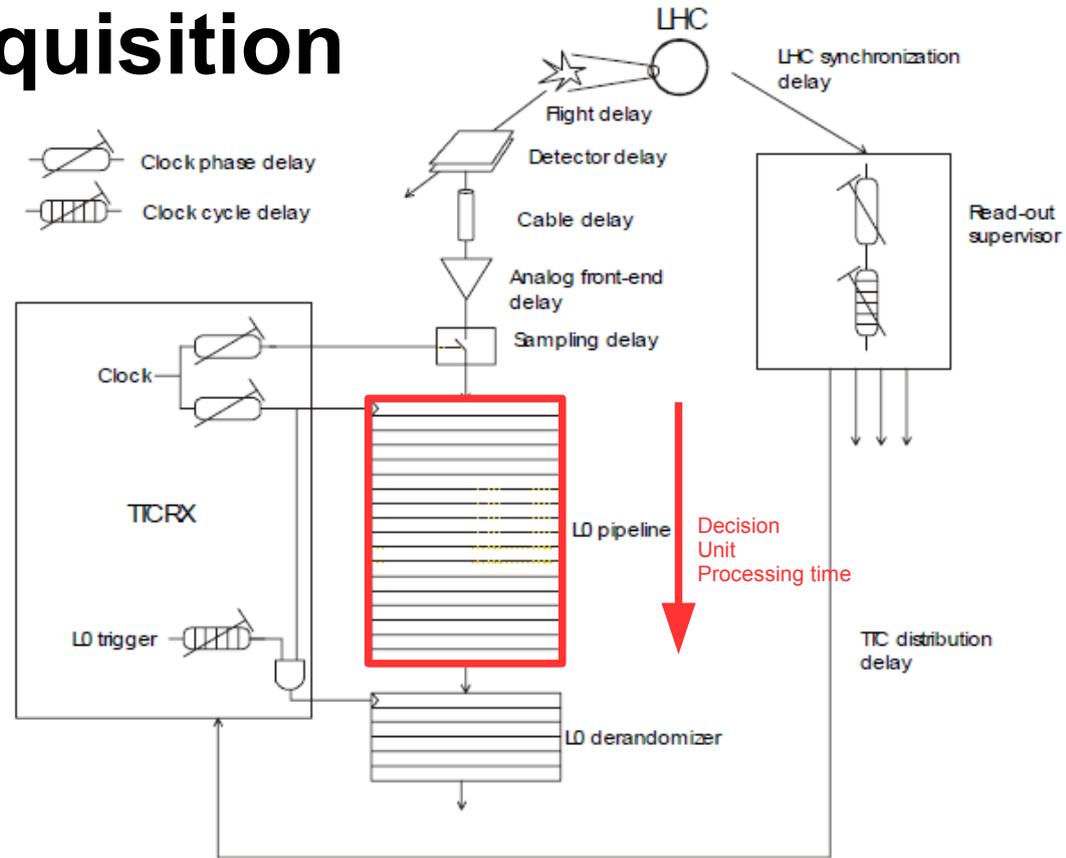
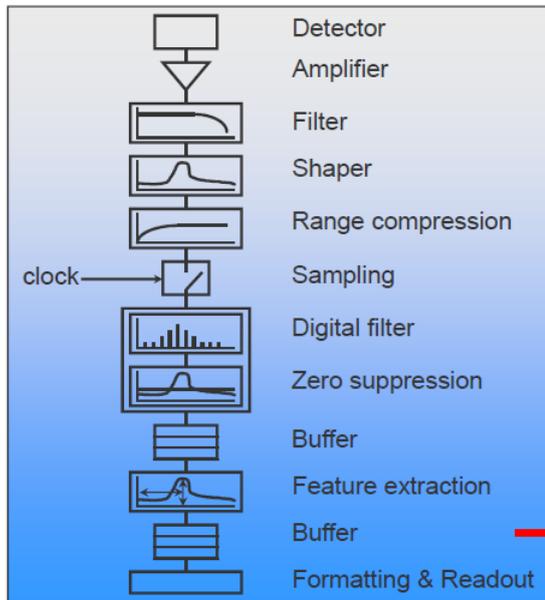
# Détails d'un canal d'acquisition



- Exemple de « Feature extraction »
  - Réponse transformée en 2 paramètres simples : délai et amplitude

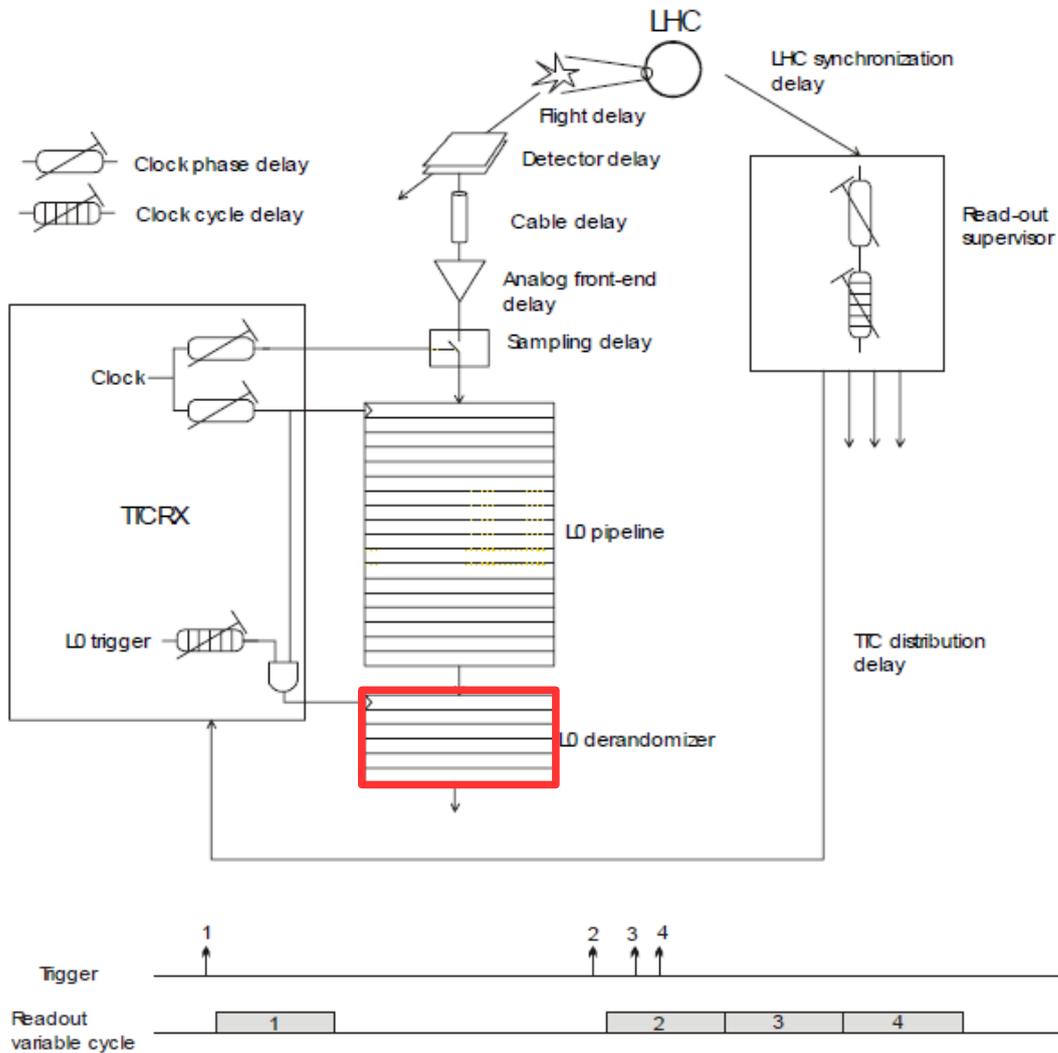


# Détails d'un canal d'acquisition



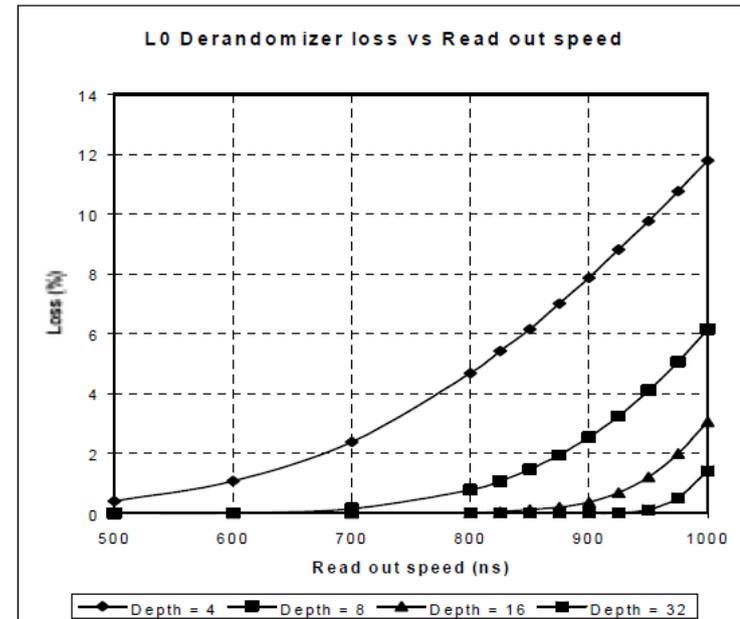
- Bufferisation nécessaire en attente de la décision du trigger
- A la fin du buffer les données sont soit gardées soit jetées en fonction du résultat de l'unité de décision

# Derandomizer



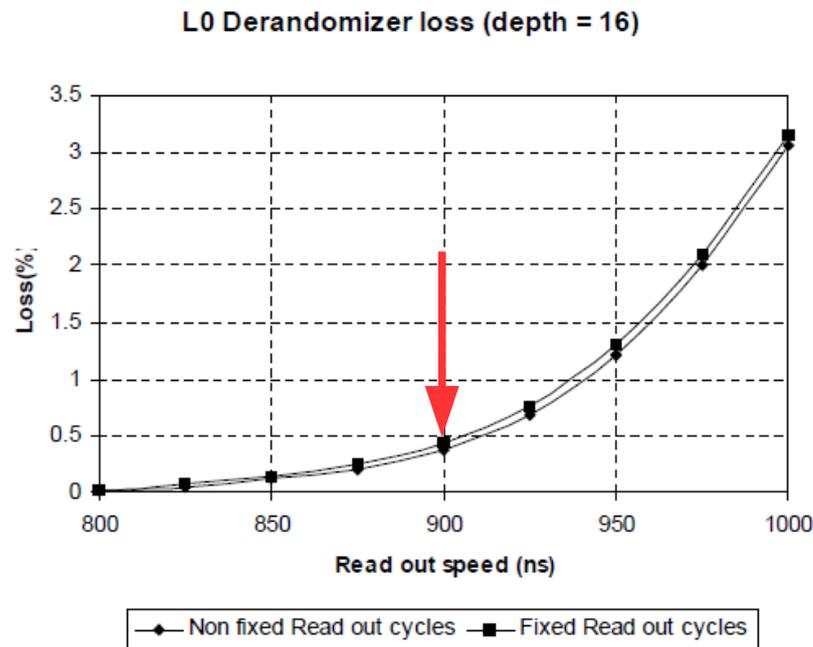
Permet de stocker les événements en attendant qu'ils soient transmis sur le canal de transmission

Doit être dimensionné de façon à ne pas perdre d'événements  
 → Optimisé par simulation



# Perte d'événements

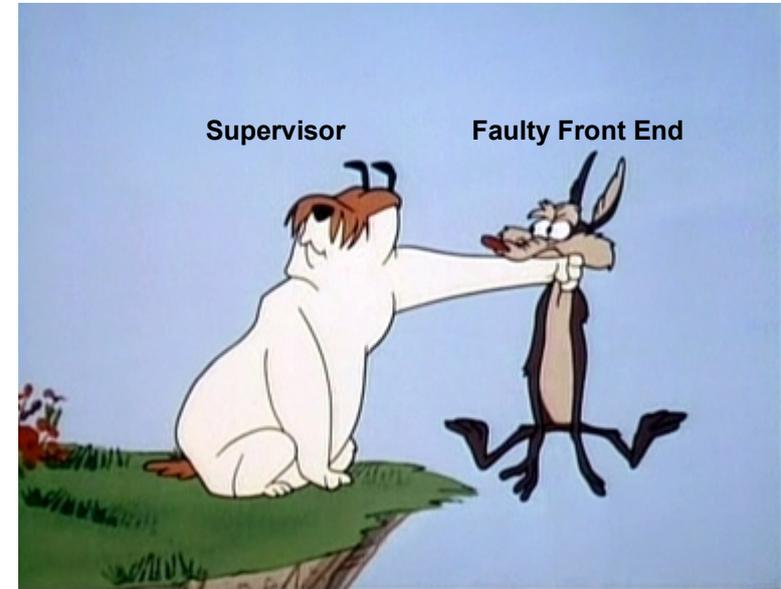
Il est acceptable (mais pas souhaitable) de perdre des événements !



Compromis au niveau de la profondeur du derandomizer car la taille des mémoires doit être faible dans les front-ends  
→ Problèmes de SEU

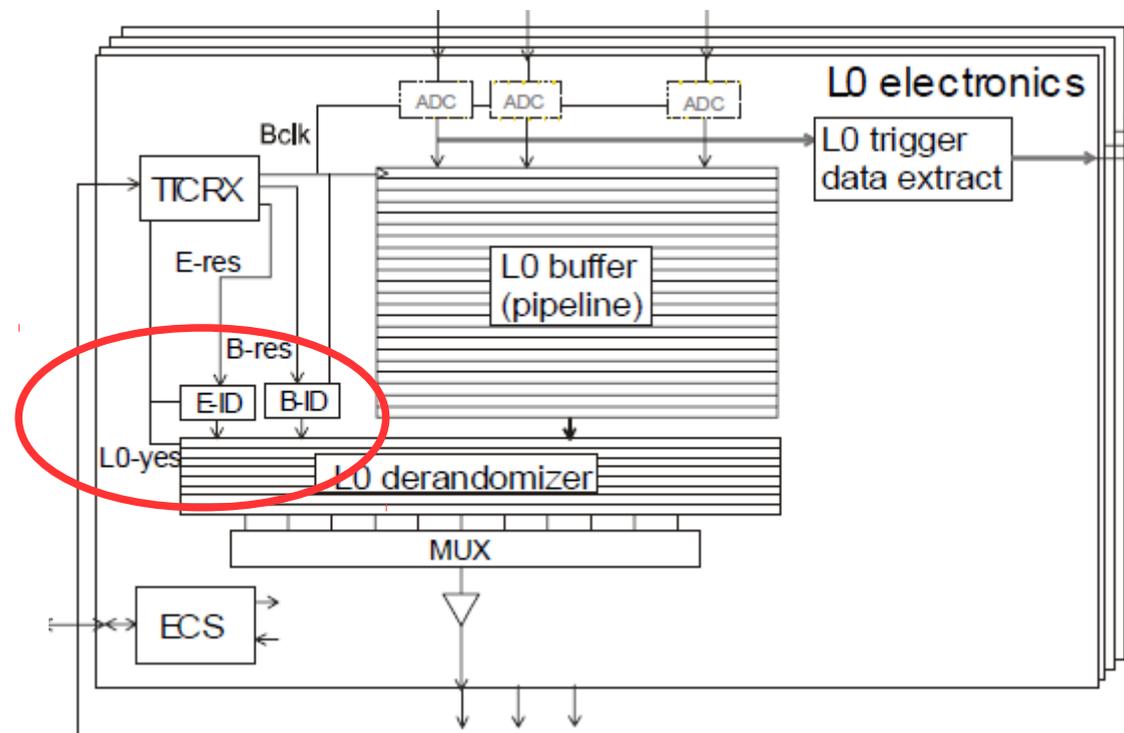
# Throttling

- Si les derandomizers d'un Front-End sont prêts de déborder, un signal de « throttle » est émis
- Pas d'action individuelle sur le Front-End
- Le superviseur diminue le nombre d'événements acceptés par l'ensemble des détecteurs jusqu'à obtention d'un niveau raisonnable sur le Front-End en cause
- Identique à une perte d'événements mais pas de désynchronisation du système



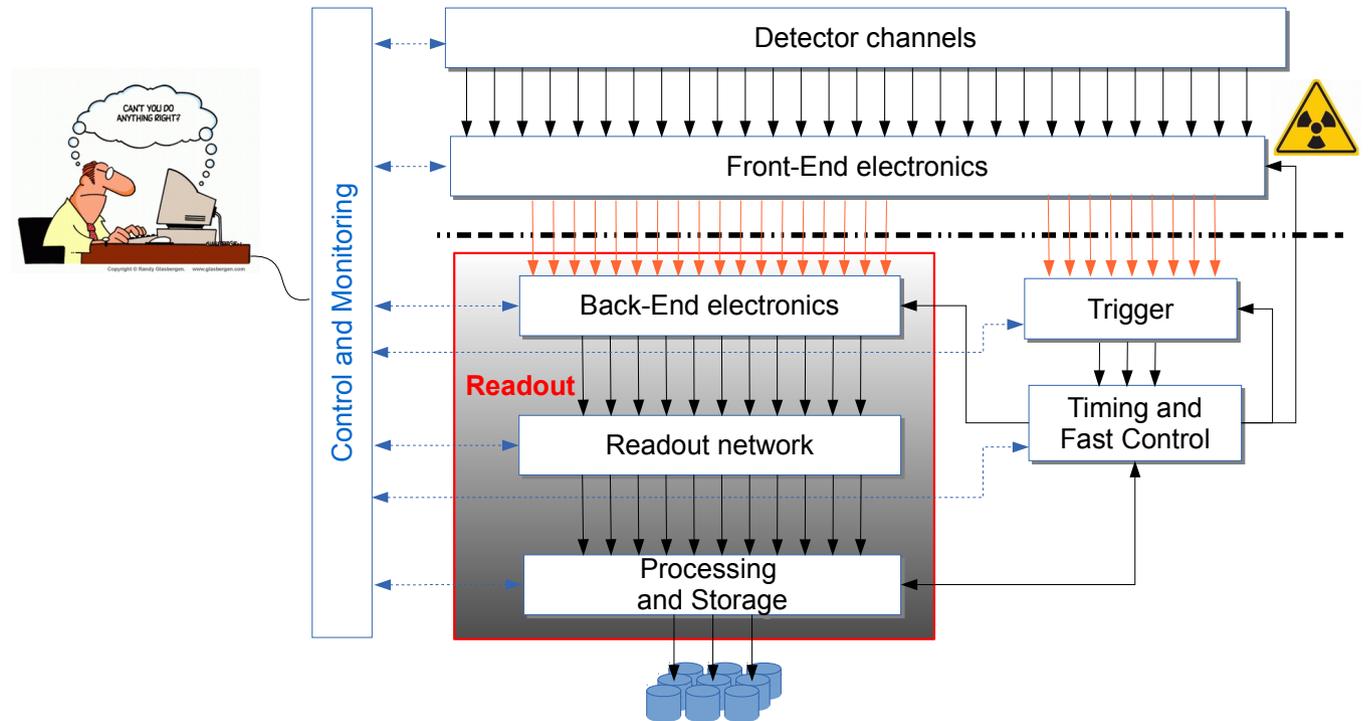
# Tagging

- Les événements sont étiquetés car ils ne sont plus consécutifs afin de les reconnaître dans la phase d'assemblage



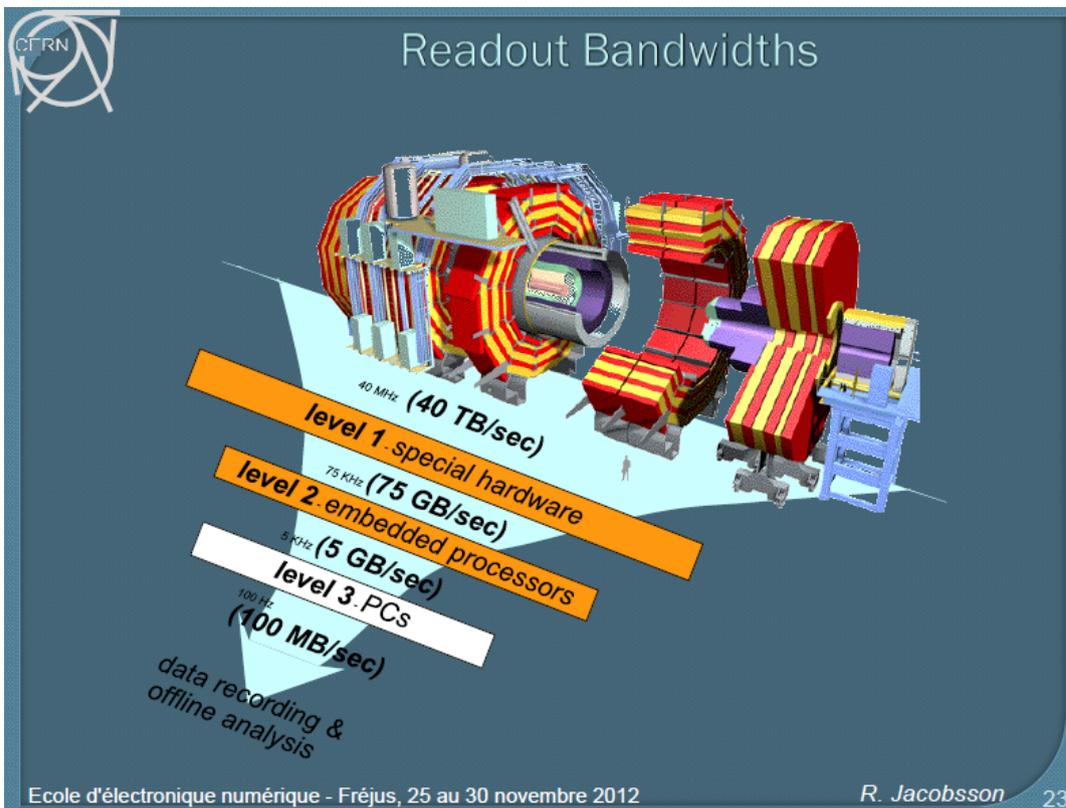
- Mode asynchrone

# Systeme de Readout



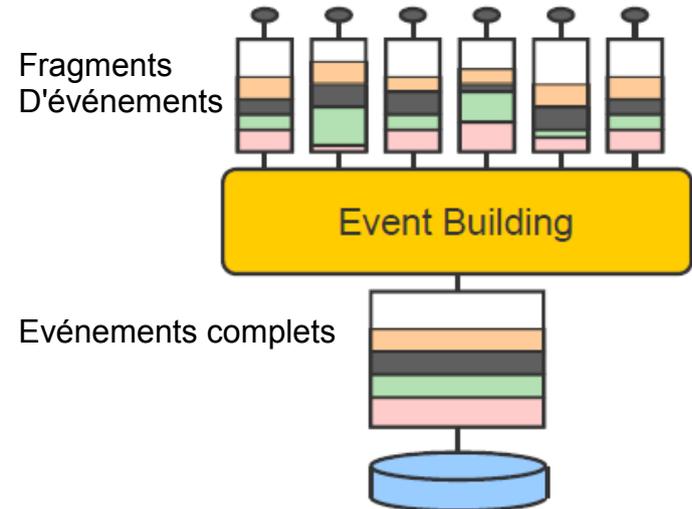
# Réduction du flux de données

- La réduction du nombre d'événements à conserver commence dans l'électronique Front-End
- Elle se poursuit du côté backend :
  - Les données restantes sont compressées
  - Plusieurs niveaux d'électronique peuvent être nécessaires
- La réduction se poursuit et se termine dans les fermes



# Notion d'event building

- Chaque sous-détecteur envoie au système back-end une fraction d'événement
- Tous les événements appartenant à une même collision doivent être rassemblés et agrégés par l'électronique back-end
- Tous les événements appartenant à une même collision doivent être routés à travers le réseau vers un ordinateur unique de la ferme
  - Cet ordinateur verra alors la totalité d'un même événement

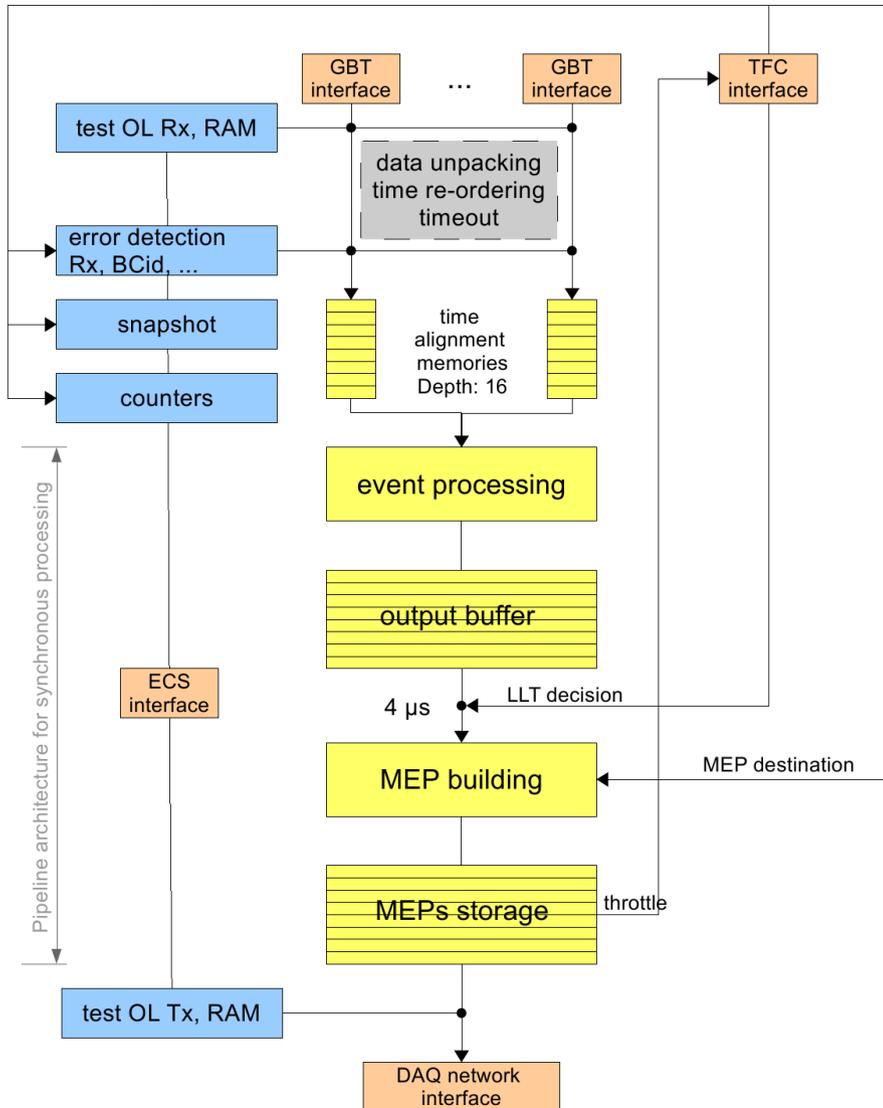


L'ensemble de ces opérations s'appelle **Event Building**.

Elles sont réparties sur l'électronique back-end et le réseau

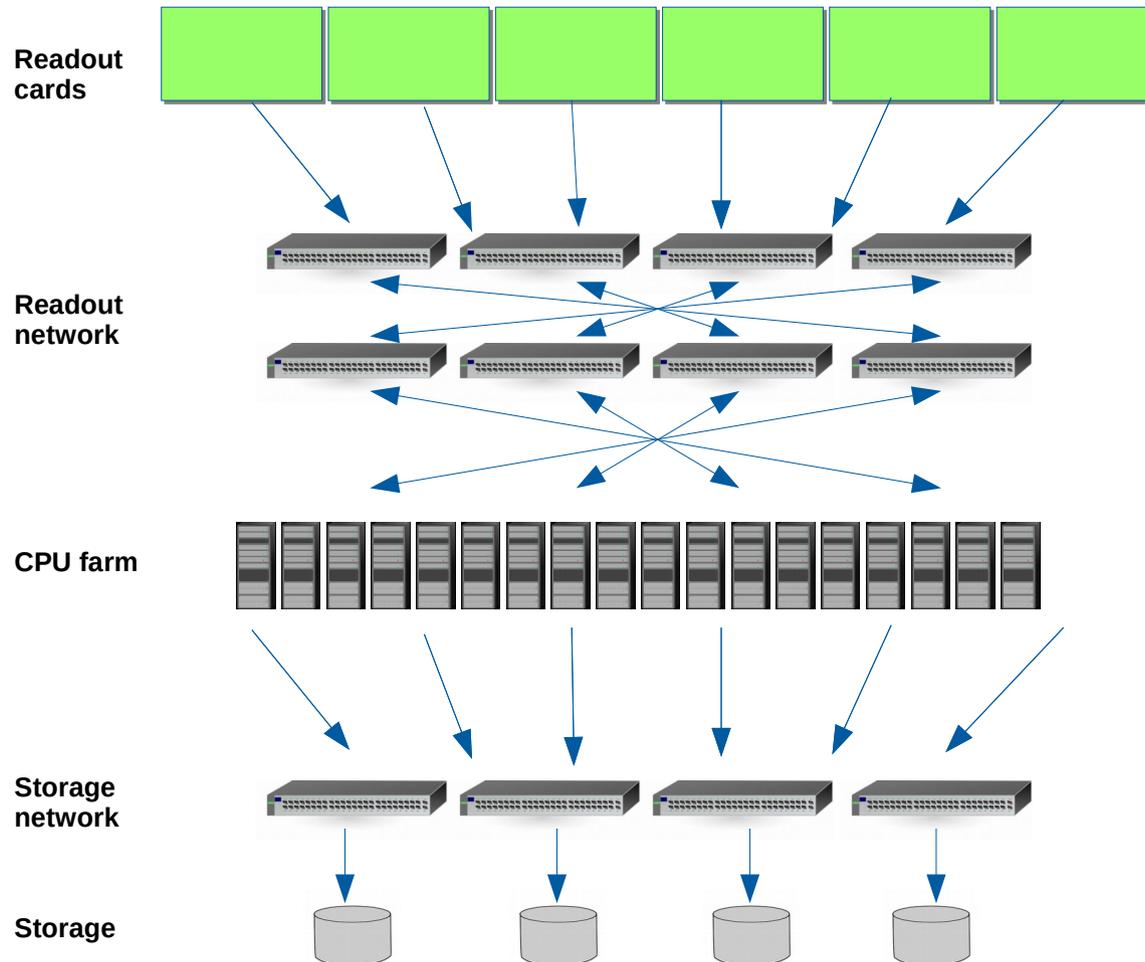
# Electronique back-end

bunch crossing identifier and fast commands



- Ces fragments événements arrivent de façon irrégulière :
  - Ils doivent être mis en temps à l'arrivée.
  - Fonctionnement asynchrone
- Des paquets sont formés avec les fragments d'évènement appartenant à une même collision.
- Transmission sur un standard de transmission commercial, par exemple Gigabit Ethernet
- MEP : Multi Event Packet. Optimisation des données par rapport à la taille des trames Ethernet
- Chaque MEP doit être envoyé vers un ordinateur disponible de la ferme.

# Réseau Event building



# Stratégies d'envoi des données dans le réseau

## Plusieurs stratégies de gestion du réseau :

Mode « **Push** » :

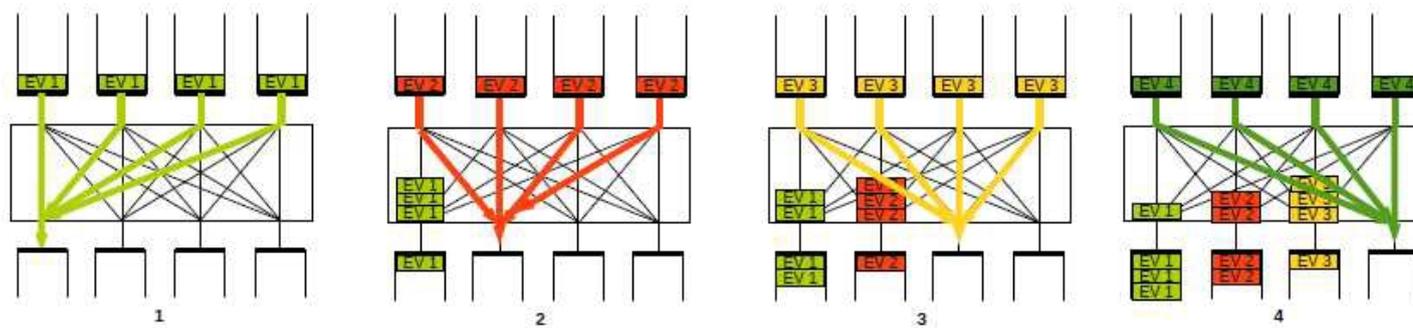
- Les données sont poussées dans les switches du réseau.
- La source doit connaître la destination d'un CPU disponible
  - Avantage : simple pour les cartes back-end
  - Inconvénients :
    - pas de relecture possible en cas d'erreur
    - risque de congestion du réseau
    - switches doivent contenir de la mémoire → chers

- Mode « **Pull** »

- Les données sont demandées par les destinations
  - Avantages :
    - relecture possible
    - switches bon marchés
  - Inconvénients :
    - l'électronique back-end doit contenir une grande quantité de mémoire
    - les sources doivent indiquer quand des données sont disponibles
    - séquençement optimum difficile

# Stratégies de readout

Mode Push

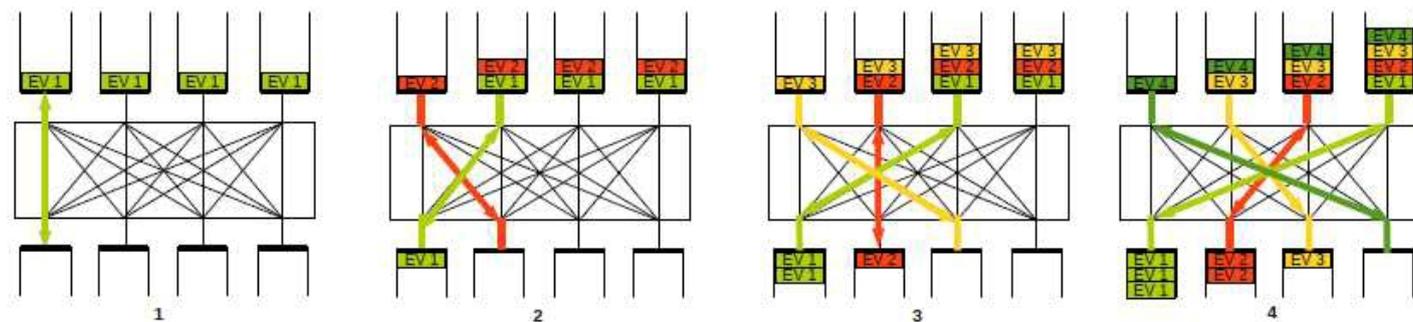


Electronique back-end

Switches

Ferme de calcul

Mode Pull



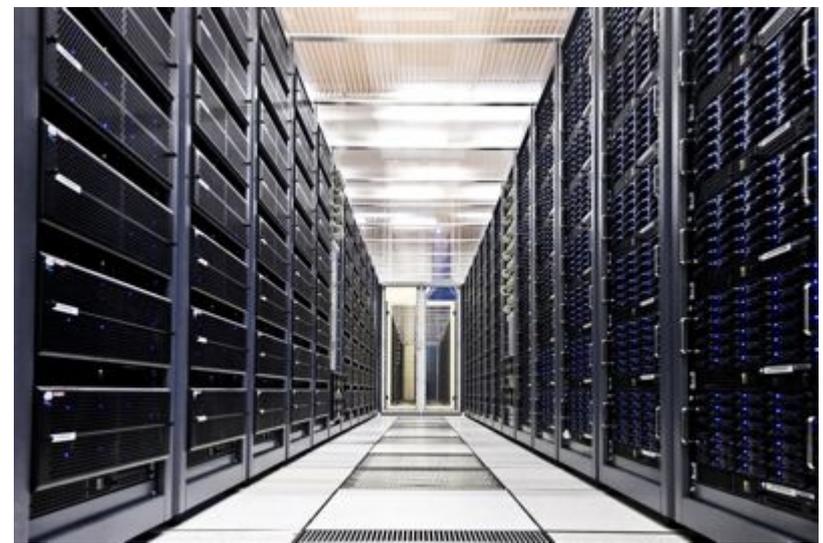
Electronique back-end

Switches

Ferme de calcul

# Fermes de calcul

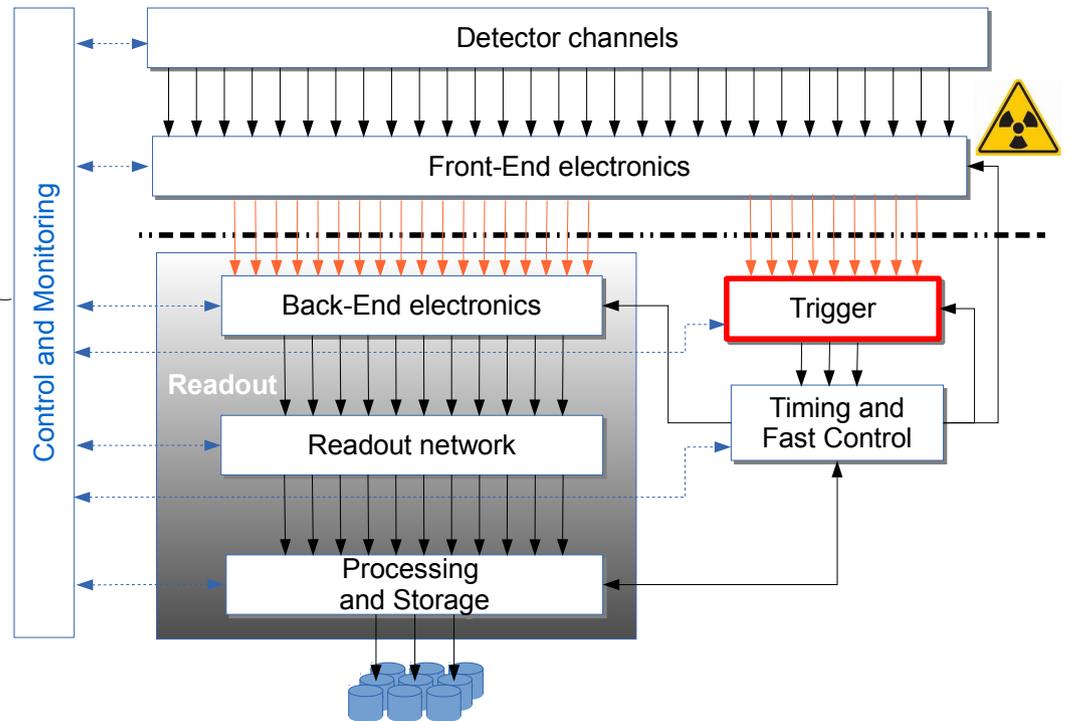
## Ordres de grandeur



	ALICE	ATLAS	CMS	LHCb
# cores (+ hyperthreading)	2700	17000	13200	15500
# servers (mainboards)		~ 2000	~ 1300	1574
total available cooling power	~ 500	~ 820	800	525
total available rack-space (Us)	~ 2000	2400	~ 3600	2200
CPU type(s)	AMD Opteron, Intel 54xx, Intel 56xx	Intel 54xx, Intel 56xx	Intel 54xx, Intel 56xx Intel E5-2670	Intel 5450, Intel 5650, AMD 6220

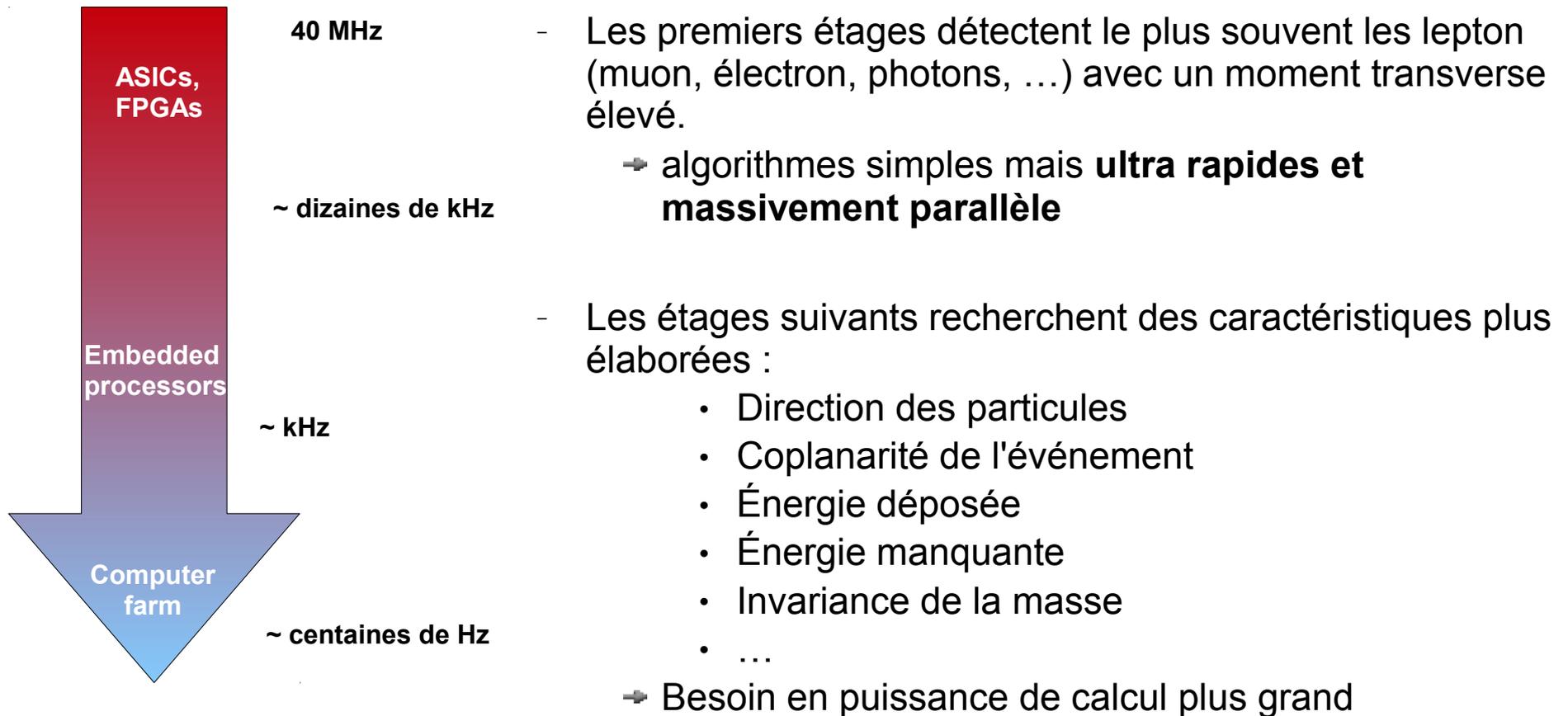
Source Niko Neufeld, CERN

# Trigger



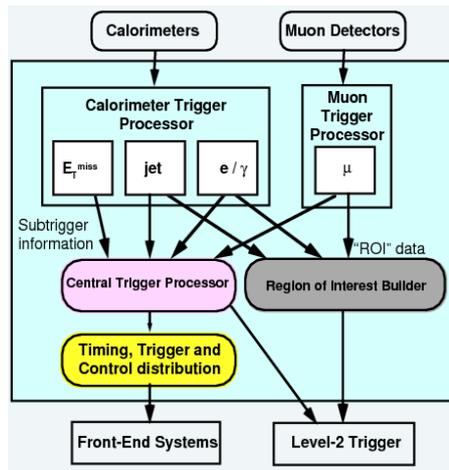
# Tri des événements

Plusieurs niveaux de trigger pour identifier l'événement.



# Niveaux de trigger

## Exemple d'ATLAS



- 3 niveaux de trigger

- **Niveau 1** : recherche de candidats avec un haut  $P_T$  : muons, electrons/photons, hadrons et jets, énergie manquante.

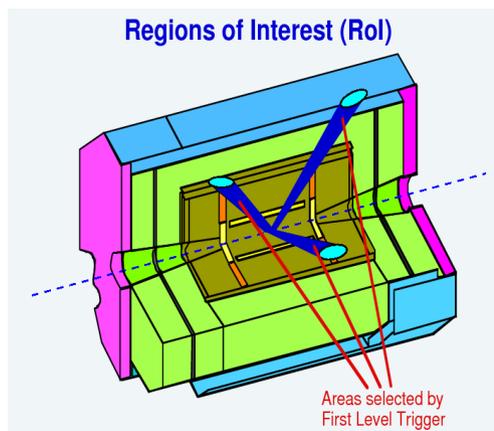
- 3000 Gbits de données d'entrées par seconde
- Taux d'événements réduit à  $\sim 75\text{-}100$  kHz

- **Niveau 2** : le niveau 1 sélectionne des régions d'intérêt. Seules les données de ces régions sont envoyées au Niveau 2

- Réduction du volume d'information à transmettre

Analyse plus fine en utilisant la granularité totale des détecteurs + informations du inner tracker

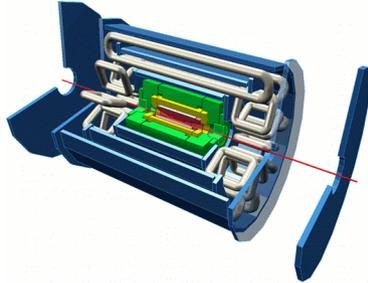
- Taux d'événements réduit à  $\sim 1$  kHz





# Niveaux de trigger

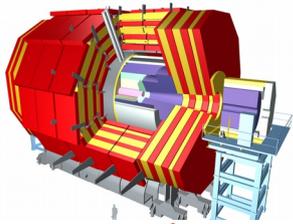
**ATLAS**



<b>3 niveaux de trigger</b>	<b>Niveau 1</b>	<b>Niveau 2</b>	<b>HLT</b>
Latence	2.5 $\mu$ s	~ms	~ s
Débit	100 Gbytes/s	10 Gbytes/s	1.6 Gbytes/s
Taux d'evts	70 kHz	~ kHz	100 Hz

Taille d'événement :  
1.5 Mbyte

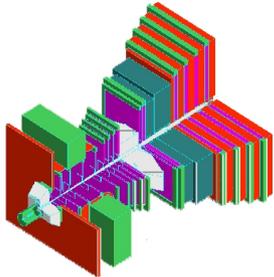
**CMS**



<b>2 niveaux de trigger</b>	<b>Niveau 1</b>	<b>HLT</b>
Latence	3 $\mu$ s	~ s
Débit	100 Gbytes/s	100 Mbytes/s
Taux d'evts	100 kHz	100 Hz

Taille d'événement :  
1 Mbyte

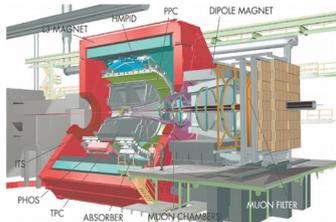
**LHCb**



<b>3 niveaux de trigger</b>	<b>Niveau 0</b>	<b>HLT1</b>	<b>HLT2</b>
Latence	4 $\mu$ s	58ms	~ s
Débit	10 Gbytes/s	3.5 Gbytes/s	350 Mbytes/s
Taux d'evts	1 MHz	50 kHz	5 kHz

Taille d'événement :  
75 kbytes

**ALICE**

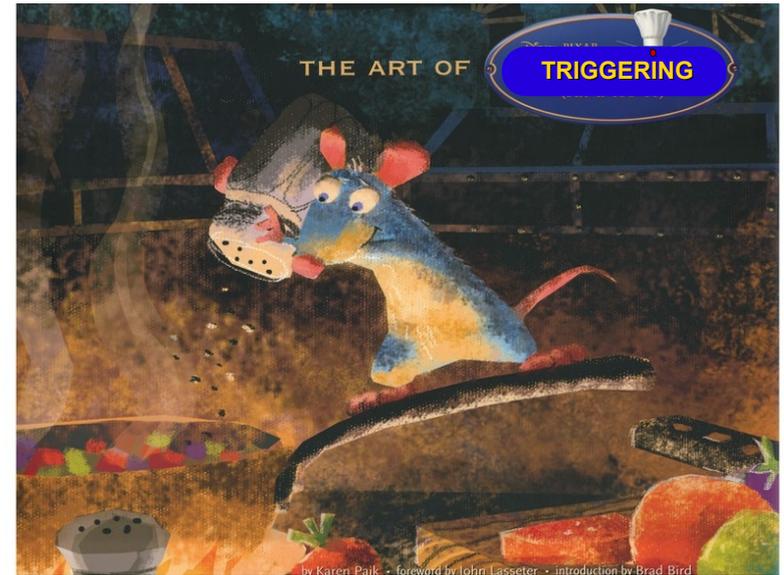


<b>4 niveaux de trigger</b>	<b>Niveau 0</b>	<b>Niveau 1</b>	<b>Niveau 2</b>	<b>HLT</b>
Latence	1.2 $\mu$ s	6.5 $\mu$ s	88 $\mu$ s	~ s
Débit			5 Gbytes/s	1.2 Gbytes/s
Taux d'evts	4 kHz		500 Hz	50 Hz

Taille d'événement :  
Pb-Pb 86 Mbytes  
p-p 2.5 Mbytes

# Exigences d'un bon trigger

- Efficacité la plus grande possible
  - Un événement rejeté est définitivement perdu
  - Peu sensible au bruit
  - Dépourvu de biais de mesure
- Taux de sélection le plus bas possible
- Très rapide
  - Pour diminuer la taille mémoire dans les Front-Ends
- Flexible
- Economique (!)
- Et surtout ...

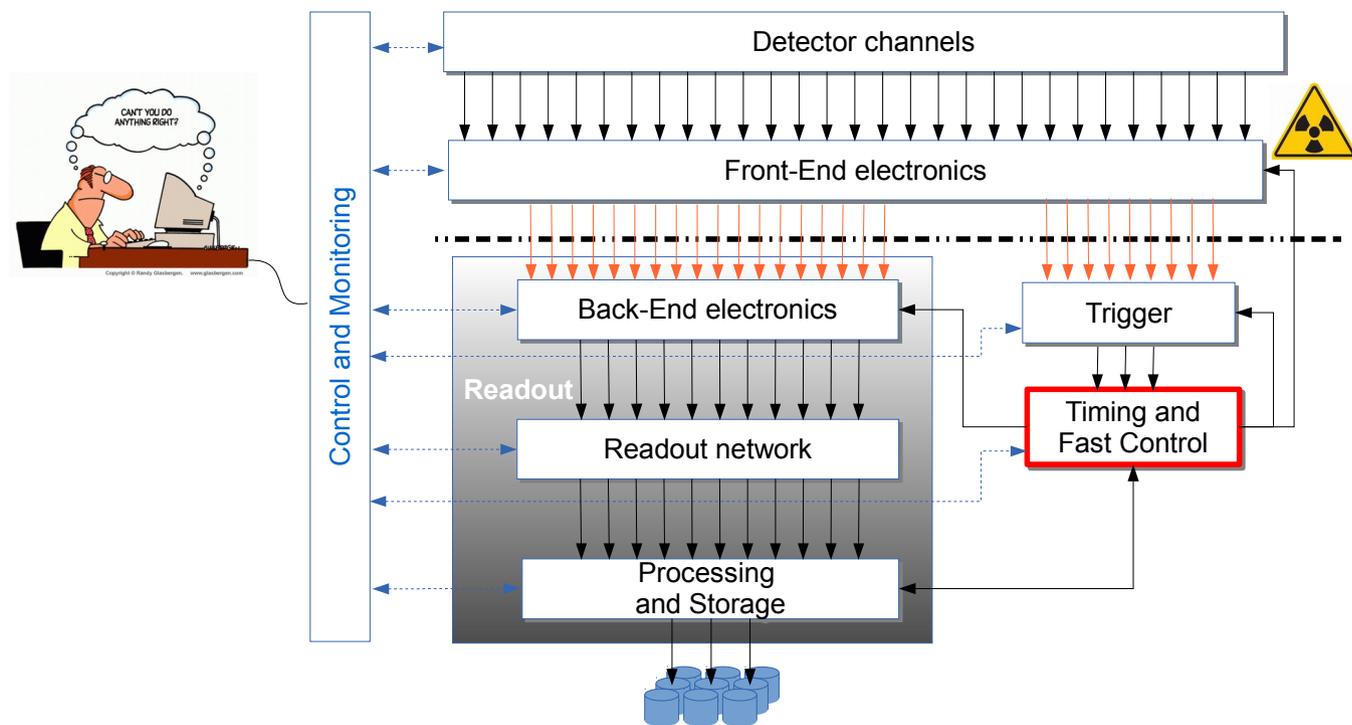


# Exigences d'un bon trigger

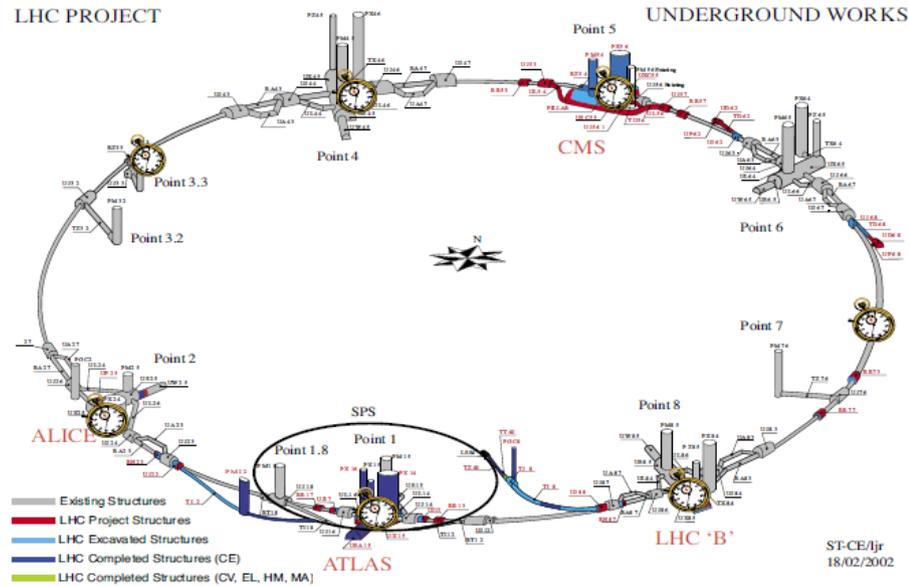
- Efficacité la plus grande possible
  - Un événement rejeté est définitivement perdu
  - Peu sensible au bruit
  - Dépourvu de biais de mesure
- Taux de sélection le plus bas possible
- Très rapide
  - Pour diminuer la taille mémoire dans les Front-Ends
- Flexible
- Economique (!)
- Et surtout ... **fiable**



# Supervision temporelle

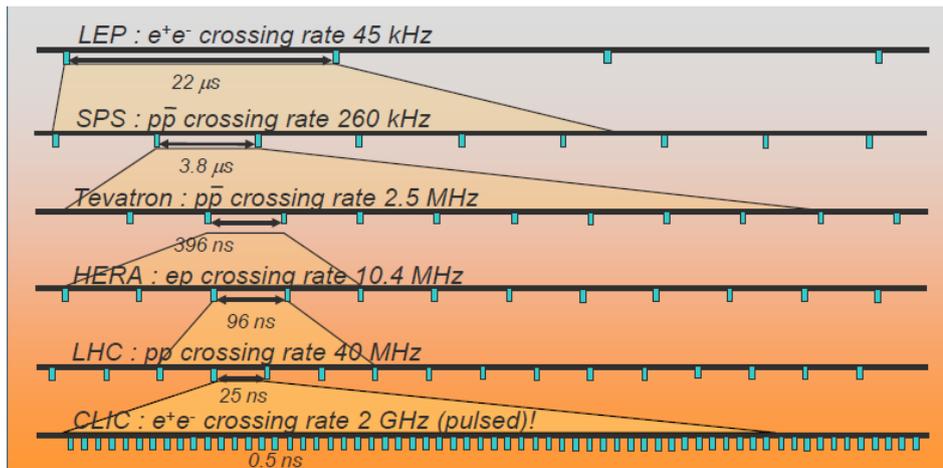


# Synchronization



## Globale

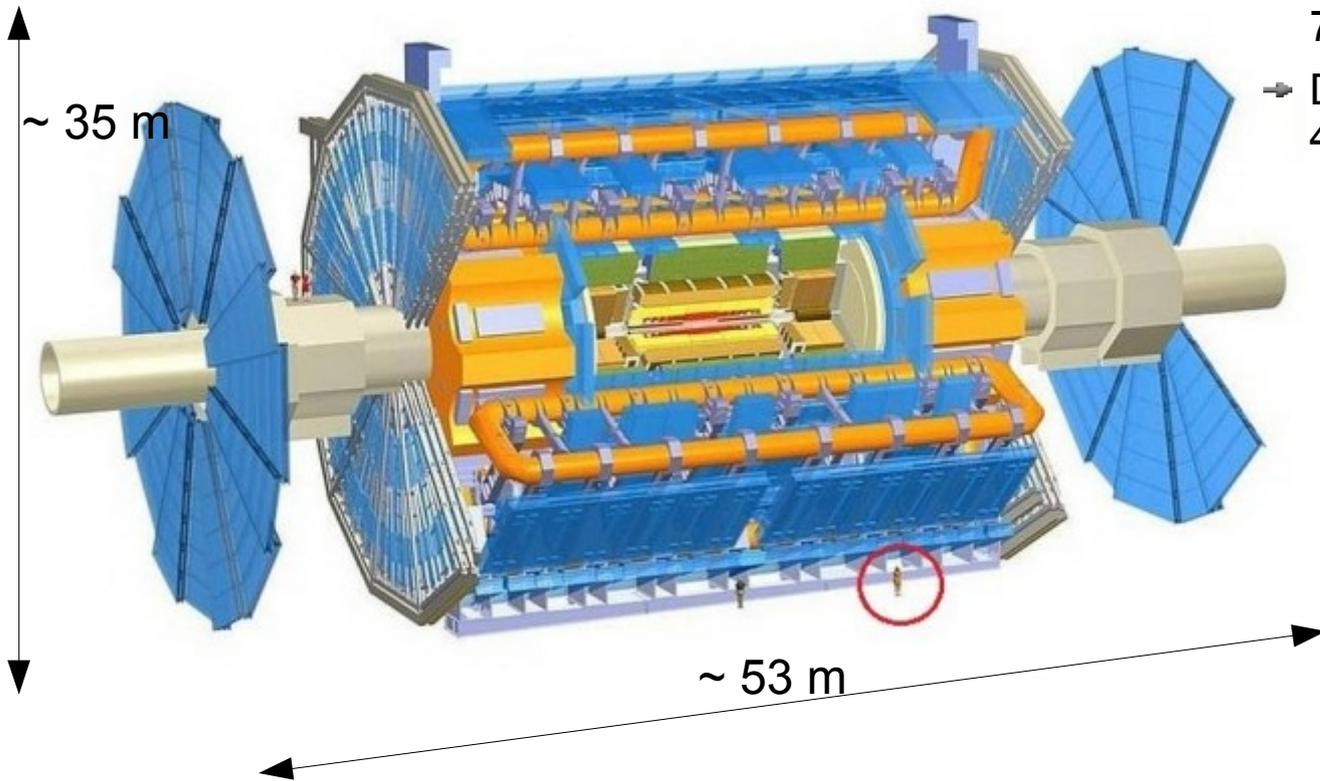
- Au niveau de l'accélérateur tous les éléments doivent être synchronisés sur une grande distance
  - Distribution sur plusieurs km de fibre
- Et avec une grande précision
  - Sur le LHC jitter maximal :  $\sim 8$  ps RMS



# Synchronization

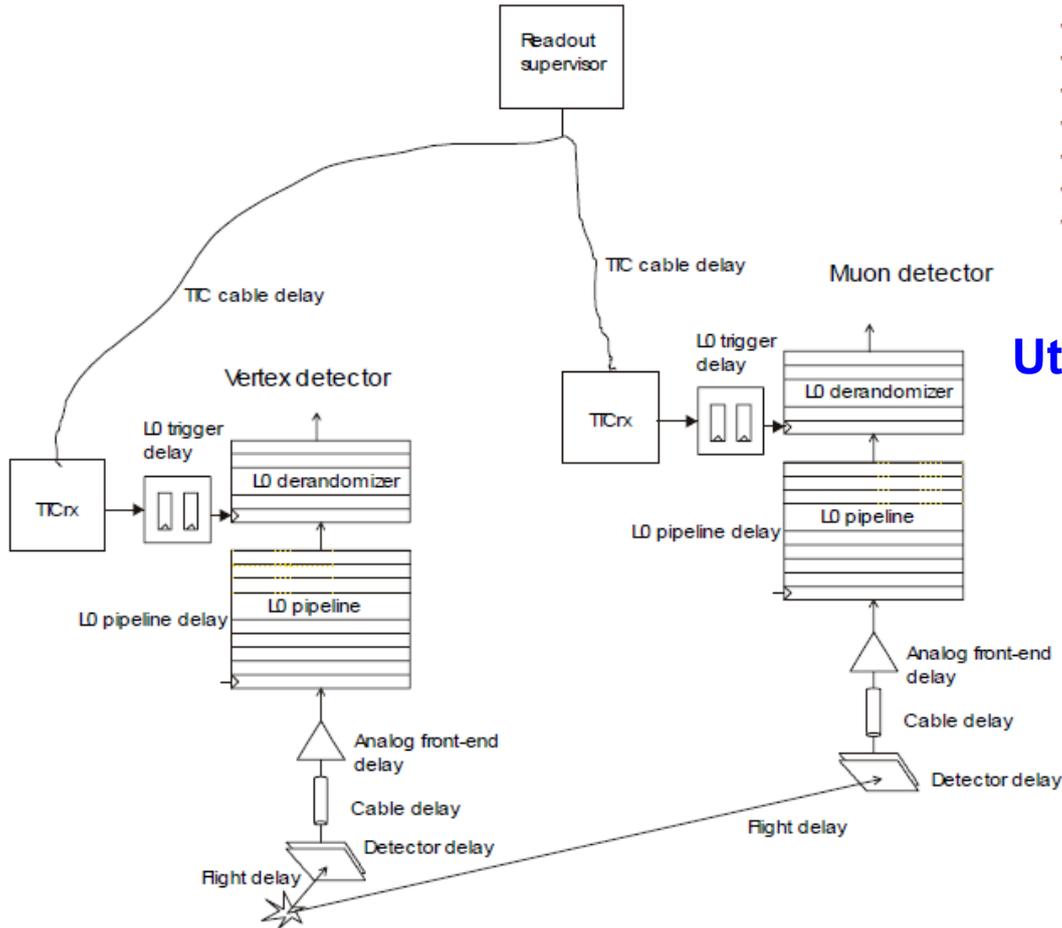
## Locale

### ATLAS



- Au niveau de l'expérience également
  - Temps de vol d'une particule 7.5 m / cycle d'horloge
  - Délais dans les câbles 4 m / cycle d'horloge

# Principe d'alignement

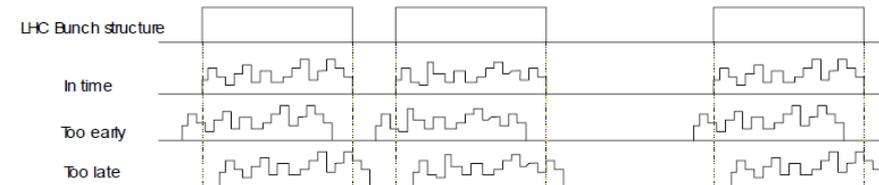


## Éléments à prendre en compte

$T_{flight}$ :	Flight time from interaction point
$T_{detector}$ :	Detector delay
$T_{detector\_cable}$ :	Cable delay from detector
$T_{analog}$ :	Delay in analog front-end
$T_{l0\_pipeline}$ :	L0 pipeline latency
$T_{l0\_pipe\_delay}$ :	Delay from L0 trigger from TTCrx to data latched in L0 derandomizer
$T_{ttcrx}$ :	Delay in TTCrx (programmable)
$T_{ttc\_cable}$ :	Delay in optical TTC distribution

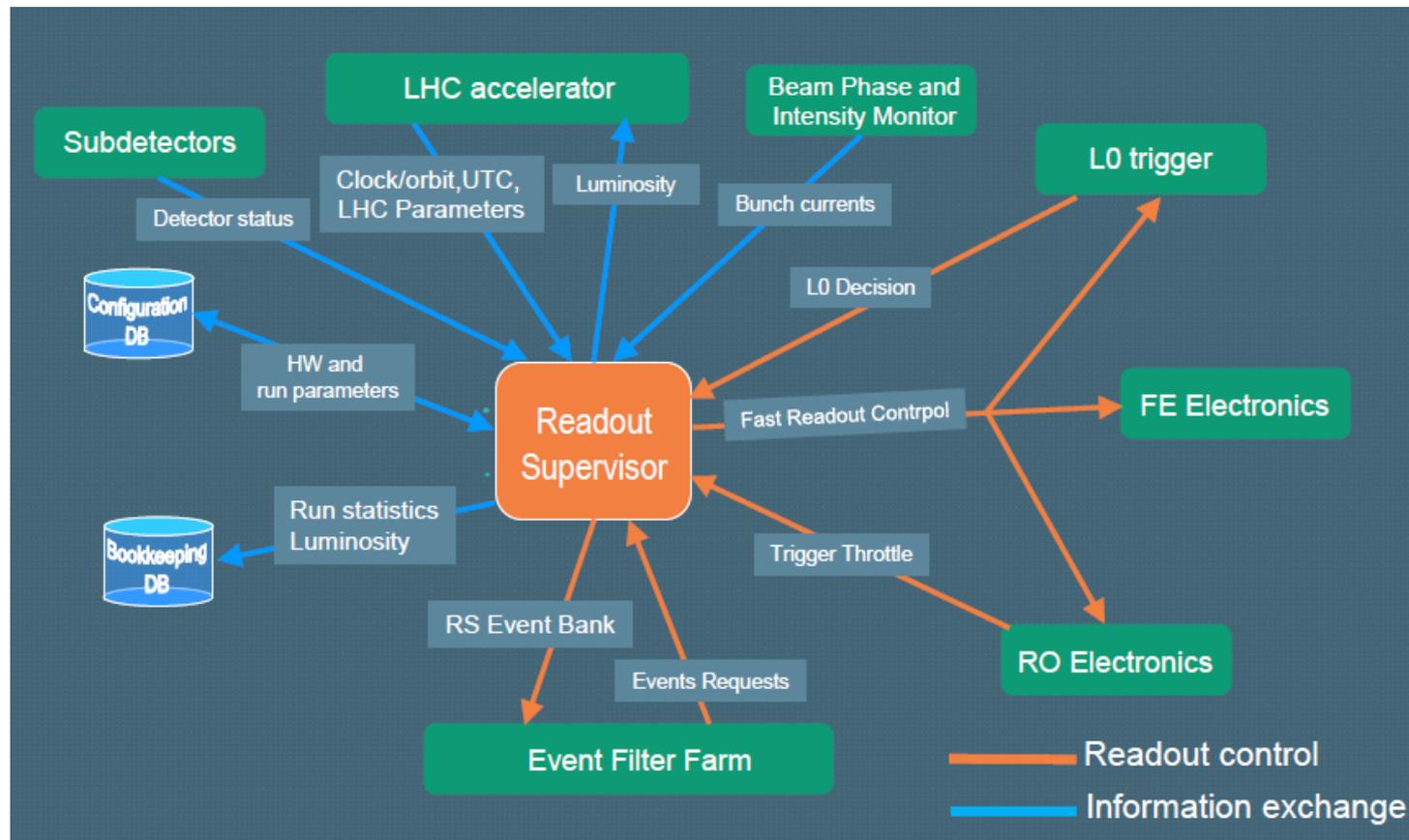
## Utilisation de lignes à retard locales

- Alignement par rapport à une particule facilement identifiable  
ex : cosmique
- Ou bien par rapport au faisceau



# Timing and Fast Control supervisor

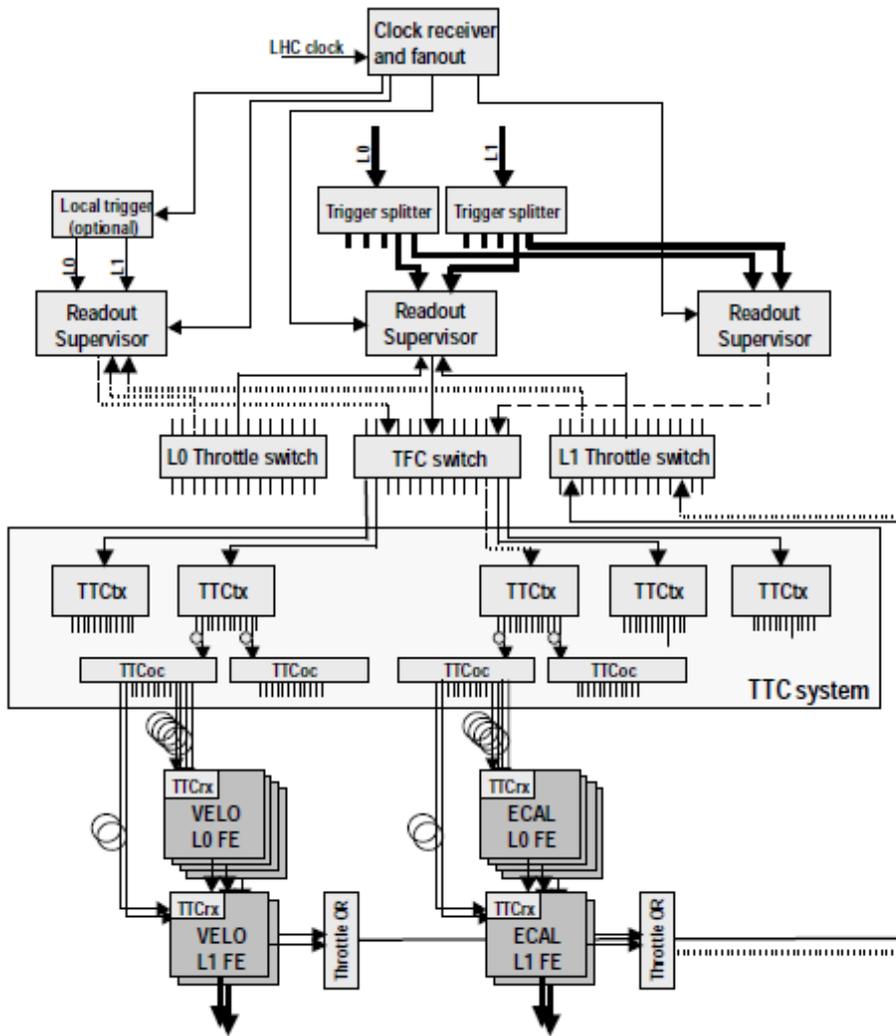
- Assure la distribution temporelle précise
- Assure la distribution des triggers aux Front-Ends et systèmes de Readouts
  - Véritable chef d'orchestre du système



Source R. Jacobsson - CERN

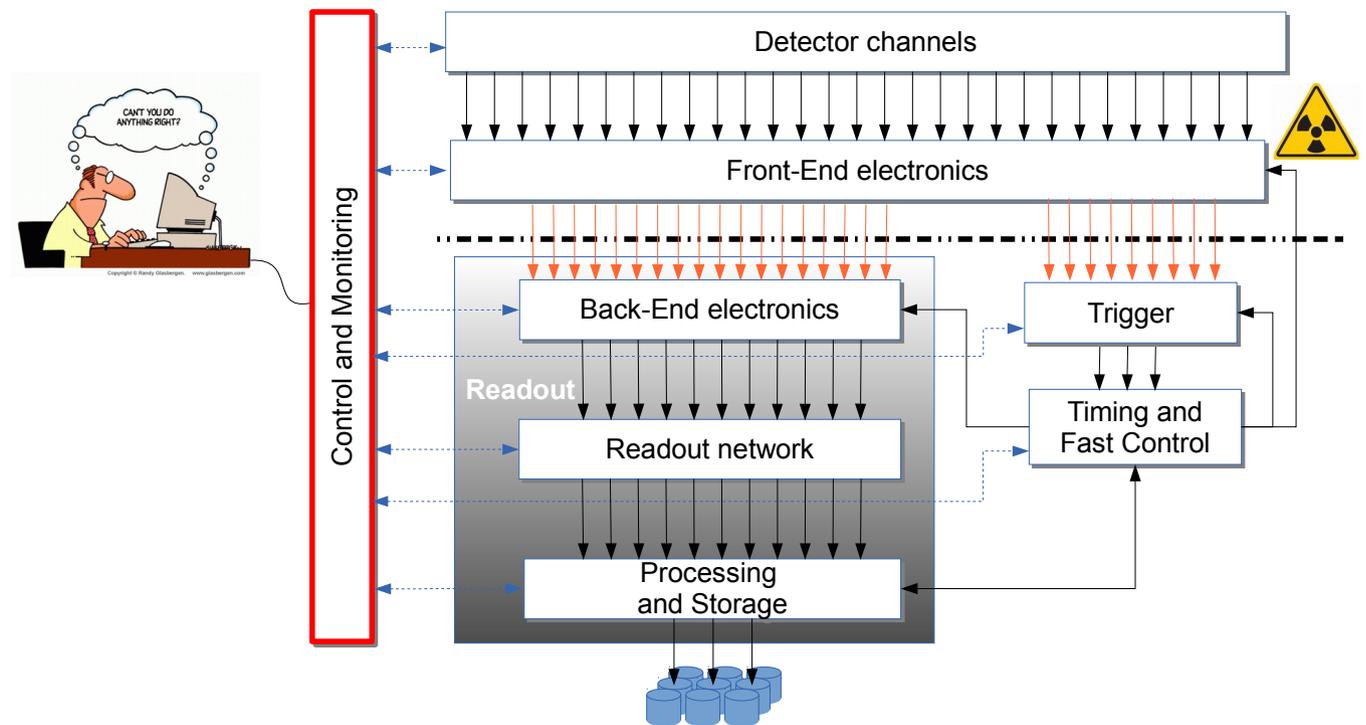
# Timing and Fast Control supervisor

- Distribution des horloges et triggers sur une arborescence optique
- Possibilité de partitionnement
  - Permet des fonctionnements indépendants des sous-systèmes
  - Très utile durant les phases de commissioning



Source R. Jacobsson - CERN

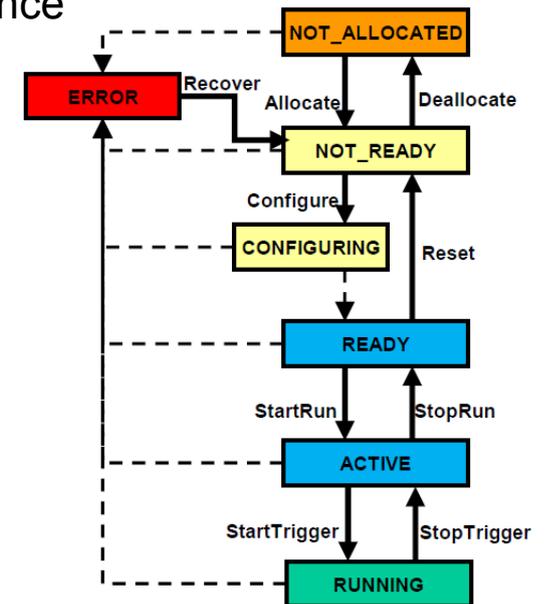
# Contrôle et monitoring



# Experiment Control System

## Assure la supervision globale de l'expérience :

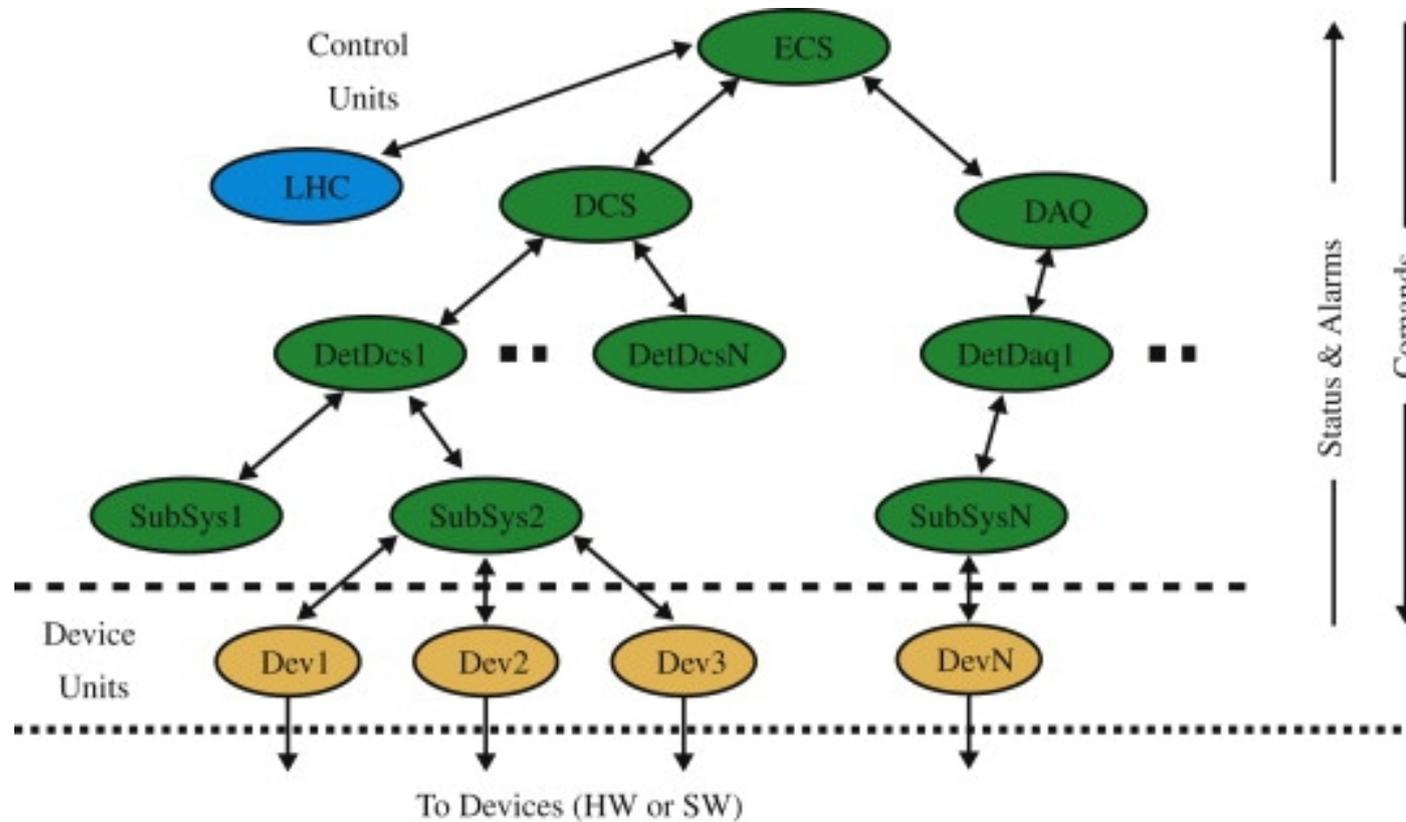
- Pilotage de l'acquisition de données et du trigger :
  - Chargement des paramètres, type de RUN, activation (START) ou désactivation (STOP) de l'expérience, ...
  - Partitionnement
    - Permet de faire tourner certaines parties de l'expérience indépendamment
  - Détection et récupération d'erreurs
  - Surveillance du système et des flux de données
- Pilotage des **sous-détecteurs**
  - Gaz, HV, LV, températures, ...
- Pilotage des **infrastructures de l'expérience**
  - Refroidissement, ventilation, distribution électrique, ...
- Interaction avec les **éléments externes à l'expérience**
  - Aimant, accélérateur, systèmes de sécurité, etc.



# Experiment Control System

## Système hiérarchique :

- Plusieurs milliers d'information à surveiller



# Panneaux de supervision

- Contrôle
  - Synthétisation des résultats à haut niveau
  - Détails sur demande

**LHCb: TOP**

System: LHCb | State: **READY** | Auto Pilot: OFF | Fri 08-Jul-2011 12:54:29

Sub-System	State
DCS	READY
DAI	READY
DAQ	READY
RunInfo	READY
TPC	NOT_READY
HLT	ERROR
Storage	NOT_READY
Monitoring	READY
Reconstruction	NOT_ALLOCATED
Calibration	NOT_READY
<b>LHCb_HV_TOP</b>	<b>READY</b>

Run Number: 95443 | Activity: CCESCAN

Run Start Time: 08-Jul-2011 12:41:13 | Trigger Configuration: Calibration\_Scan\_Prescale10

Run Duration: 000:05:58 | Time Alignment: TAE half window 0, L0 Gap

Nr. Events: 0 | Max Nr. Events: 1000 | Run limited to 1000 Events

Step Nr: 0 | To Go: 60 | Automated Run with Steps: 66 | Step Run with 66 Steps | Start at: 6

L0 Rate: 0.00 Hz | HLT Rate: 0.00 Hz | Dead Time: 0.00 %

Data Destination: Castor | Data Type: CALIBRATION11 | File: aqarea/lhcb/data/2011/RAW/FULL/LHCb/CALIBRATION11/95443

Sub-Detectors: TDET, VELOA, VELOC, TT, IT, OTA, OTC, RICH1, RICH2, PRS, DT\_ALLOCATE, ECAL, HCAL, MUONA, MUONC, LODU, TCALO, TMUA, TMUC, TPU

Trigger Components: LODU, TCALO, TMUA, TMUC, TPU

Messages: 08-Jul-2011 12:54:25 - LHCb executing action END\_ALLOCATE

**HC22CROC TOP**

Device: HC22CROC | State: **READY** | Wed 07/11/2007 15:18:01

CROC: FIEDMGT/HC22CROC

Control: Skip Power, State, Control, All OFF, All ON, Clear, Warnings, Power, Temp, Htg

Crate ID: 22 | Crate Configuration: Mated, Enabled, Power State: No Board, ON, OFF, Power Control: OFF, ON, DAQ Left, DAQ Right

General Control: Mode Clock, Mode L0/Ch B, Clock Settings: Fine, Coarse, FE Synchronisation: FE B, CROC, Sync

Optical Mezzanine Mode: State, Physics, Test, Left, Right

Messages

**Subfarm1: System1-Manager3**

System: Subfarm1 | State: **NOT\_READY** | 25/02/2003 18:23:37

Sub-System	State
Node001	RUNNING
Node002	RUNNING
Node003	RUNNING
Node004	RUNNING
Node005	NOT_READY
Subfarm1Coordinate	READY

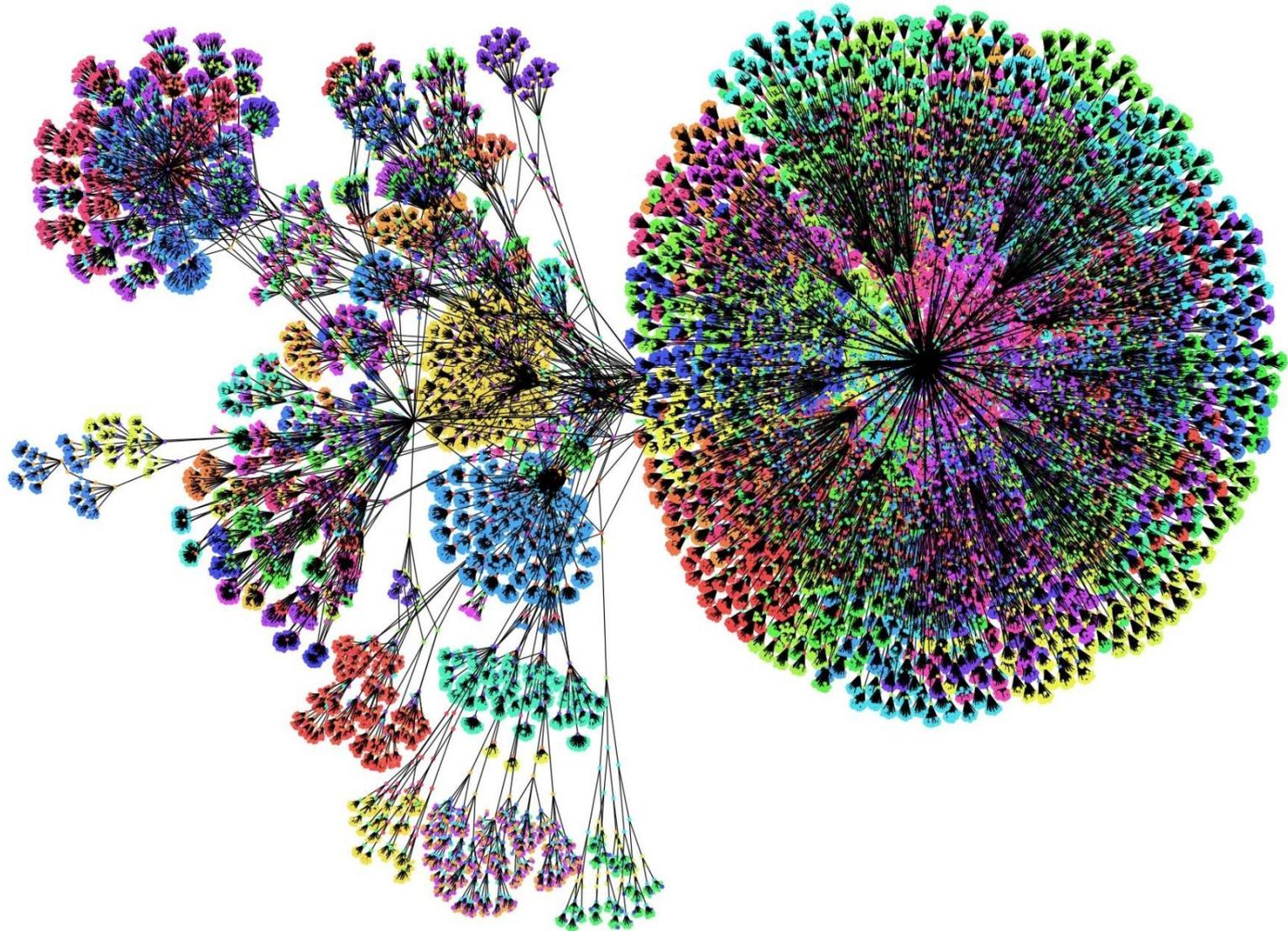
Monitoring: trigger rate: 2.000000, # processed events: 1229, # B -> u+ u- X: 527, # B -> e+ e- X: 59, # rejected events: 643, status: processing

available histograms: ECALhitmap, HCALhitmap, eventtype, gEfficiency, VELOefficiency

ROOT viewer: 183, 157, 131, 105, 79, 52, 26

Messages

# Contrôle et monitoring



**CMS Control and monitoring**

# Conclusion

## Complexité considérable

- Essentiel d'avoir un système de monitoring très performant

## Besoin de flexibilité

- Durée de vie d'une expérience = ~ 10 à 15 ans
- Tendances à rendre le maximum de fonctions programmables
  - Utilisation de FPGAs, même dans les Front-Ends
  - Migration de certaines fonctions dans les fermes de calcul

## Besoin de robustesse

- Opération 24h/24 durant des périodes très longues

## Compromis performance/coûts toujours un challenge

- Trouver le meilleur équilibre entre développement spécifiques et usage des composants du commerce, tout en limitant les risques
- Requiert des études prospectives permanentes