



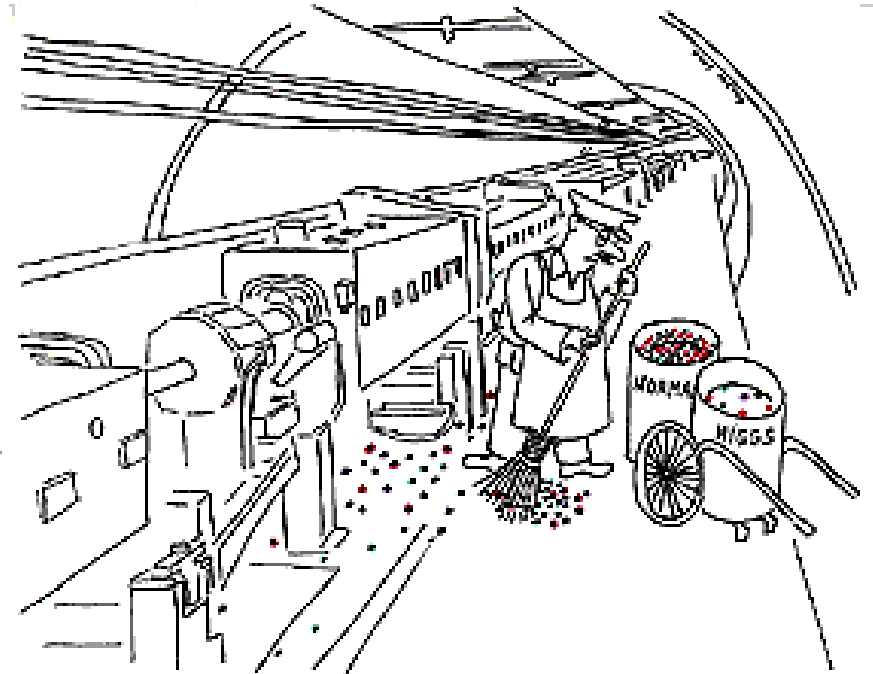
Acquisition de données



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

Plan

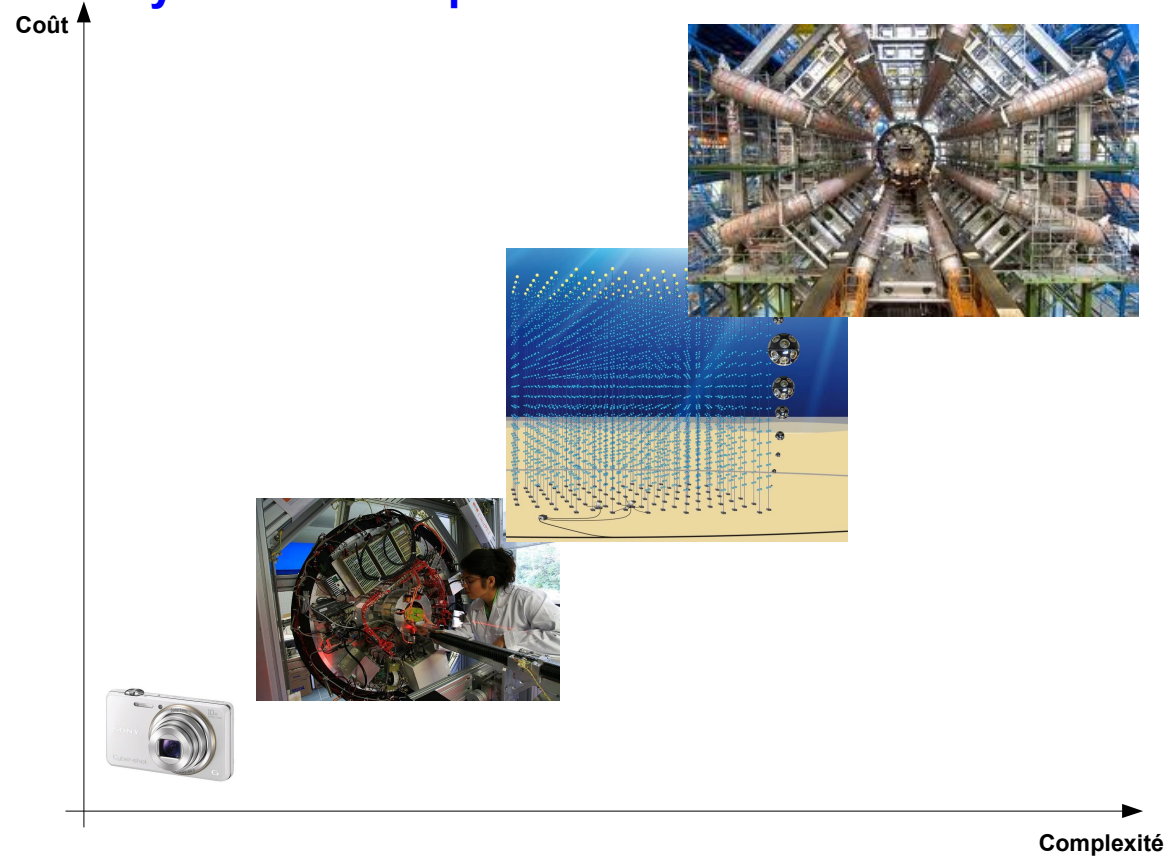
- Introduction
- Concepts de base
- Front-end
- Readout
- Trigger
- Distribution temporelle
- Contrôle et monitoring



Introduction

Systemes d'acquisition

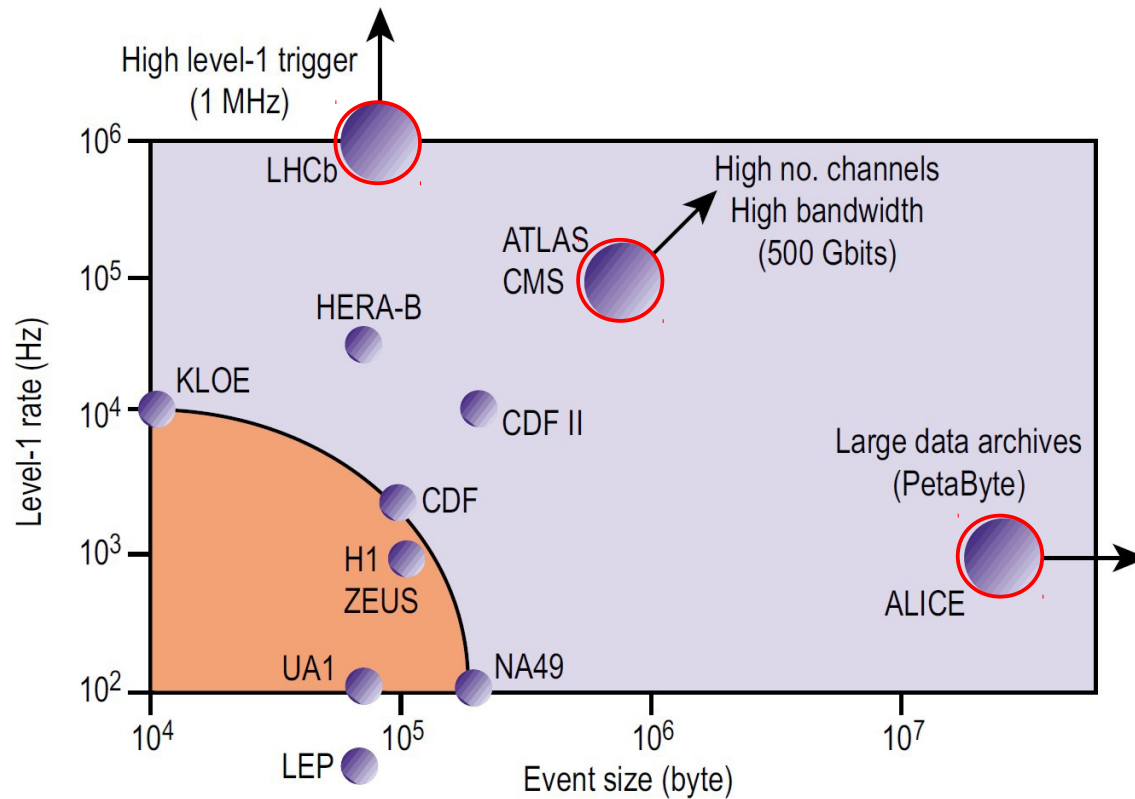
Variabilité des systemes d'acquisition



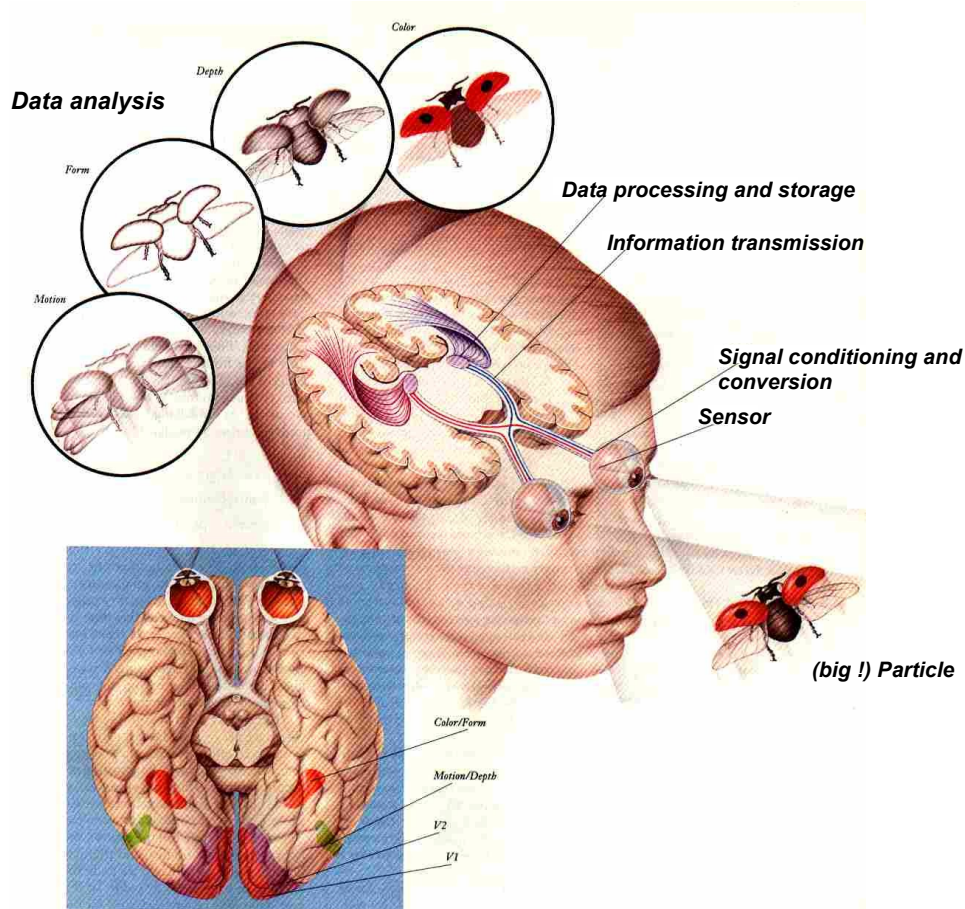
- ➔ Leur structure peut varier considérablement en fonction des performances recherchées, de l'ampleur de la mesure et des contraintes d'exploitation

Systemes d'acquisition

A complexite similaire, les contraintes peuvent être très différentes



Systemes d'acquisition



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

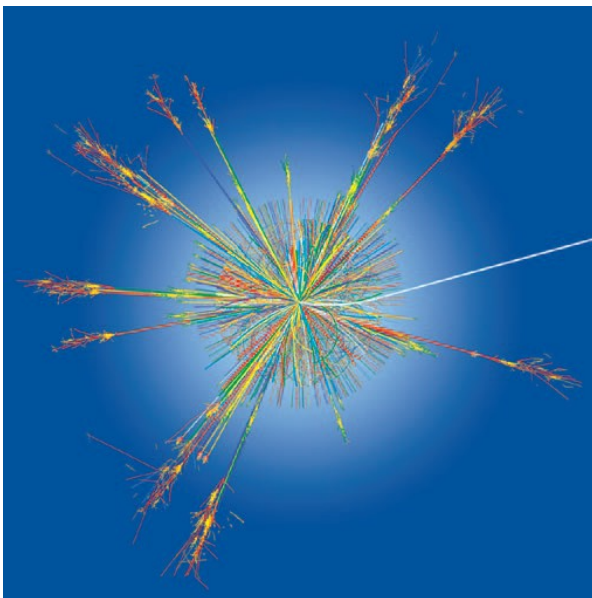
- Des *capteurs* qui convertissent les paramètres physiques en signaux électriques
- Des étages de *conditionnement du signal*
- Des *convertisseurs analogique-numériques* qui convertissent le signal en valeurs numériques
- Une *unité centrale* qui traite les résultats produits
- Des *éléments de stockage*

Systemes d'acquisition

- Ce cours ne décrit pas de façon exhaustive tous les types d'architectures possibles ;
- Il s'appuie sur l'architecture de quelques uns des plus puissants systèmes d'acquisition actuels : les DAQ des expériences ATLAS, CMS, ALICE et LHCb du Large Hadron Collider au CERN ;
- Les architectures décrites sont donc spécifiques des contraintes rencontrées dans ces systèmes.

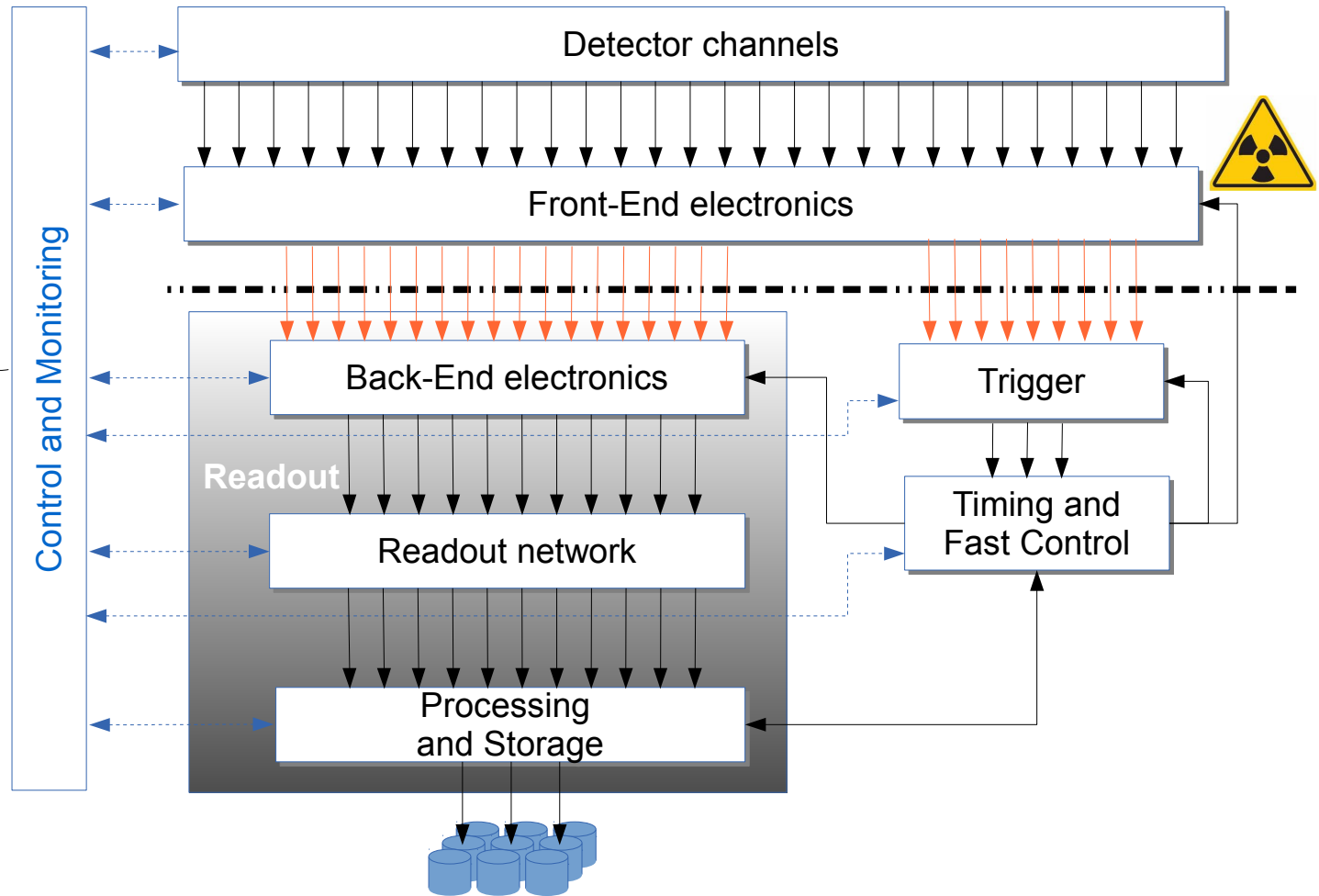
« Qui peut le plus peut aussi le moins »

Aristote, Traité du ciel, I, XI, 7

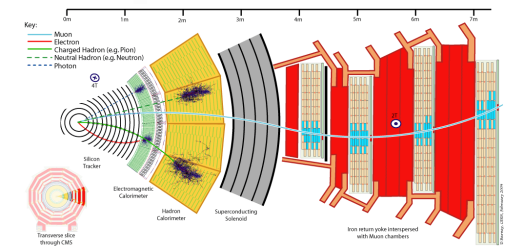
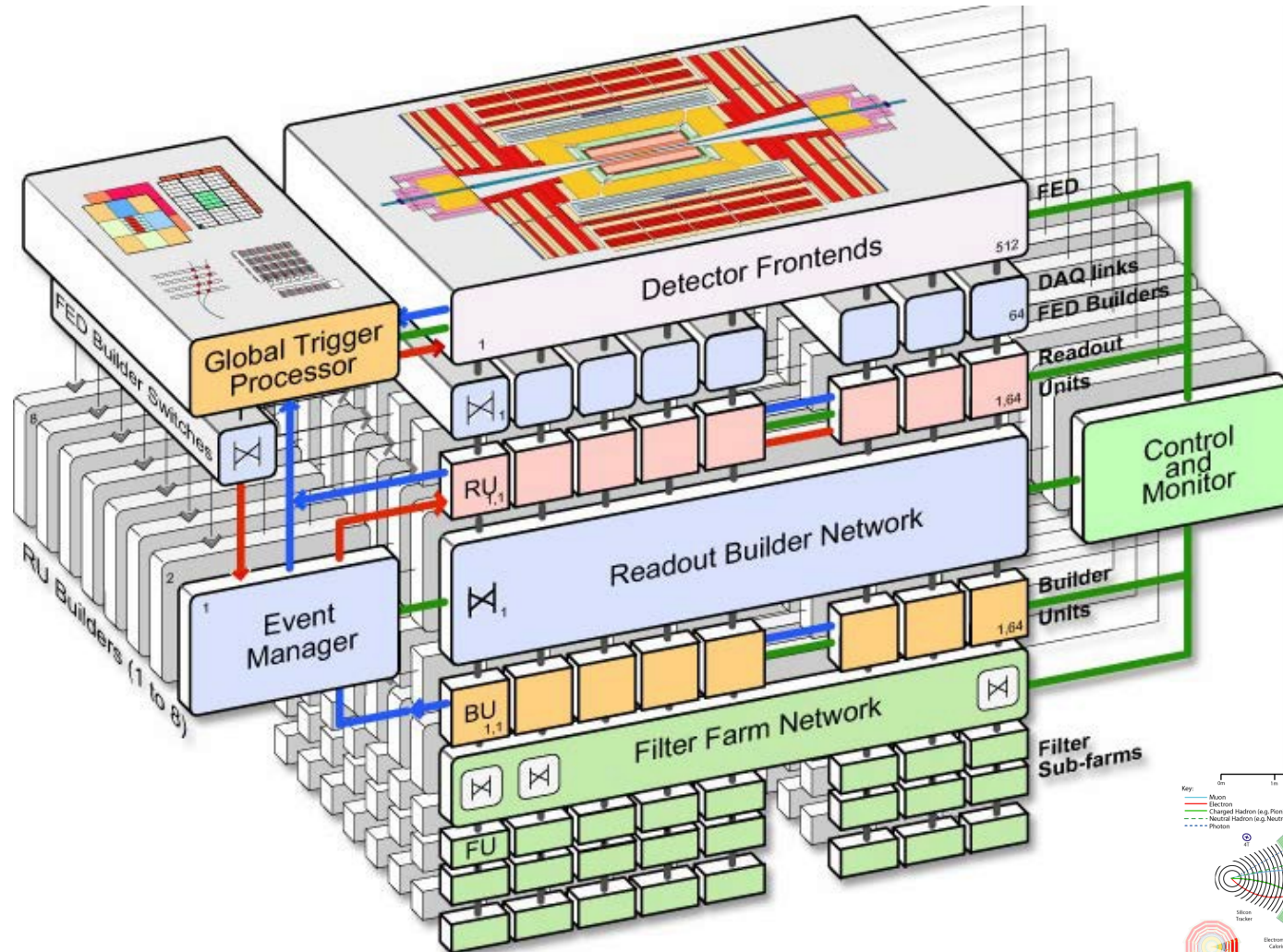


Concepts de base

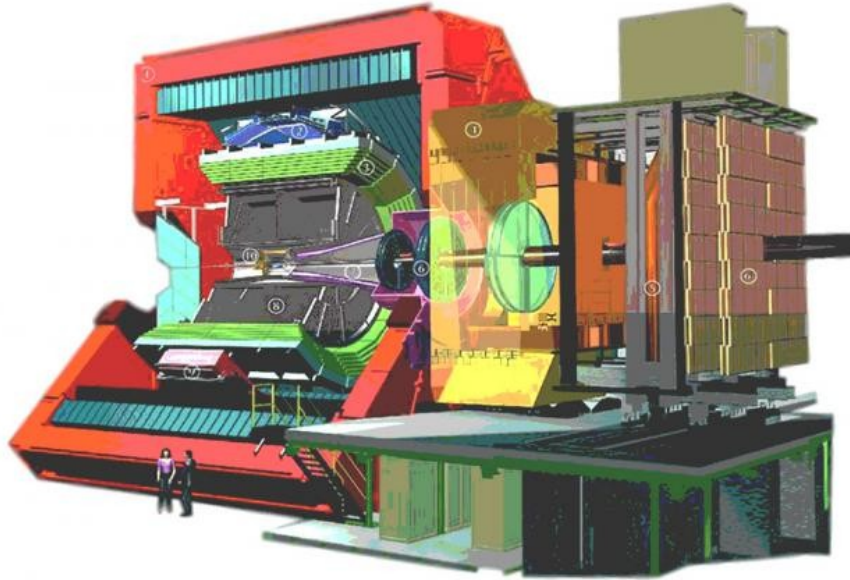
Éléments d'un système d'acquisition



Exemple : le système d'acquisition de CMS

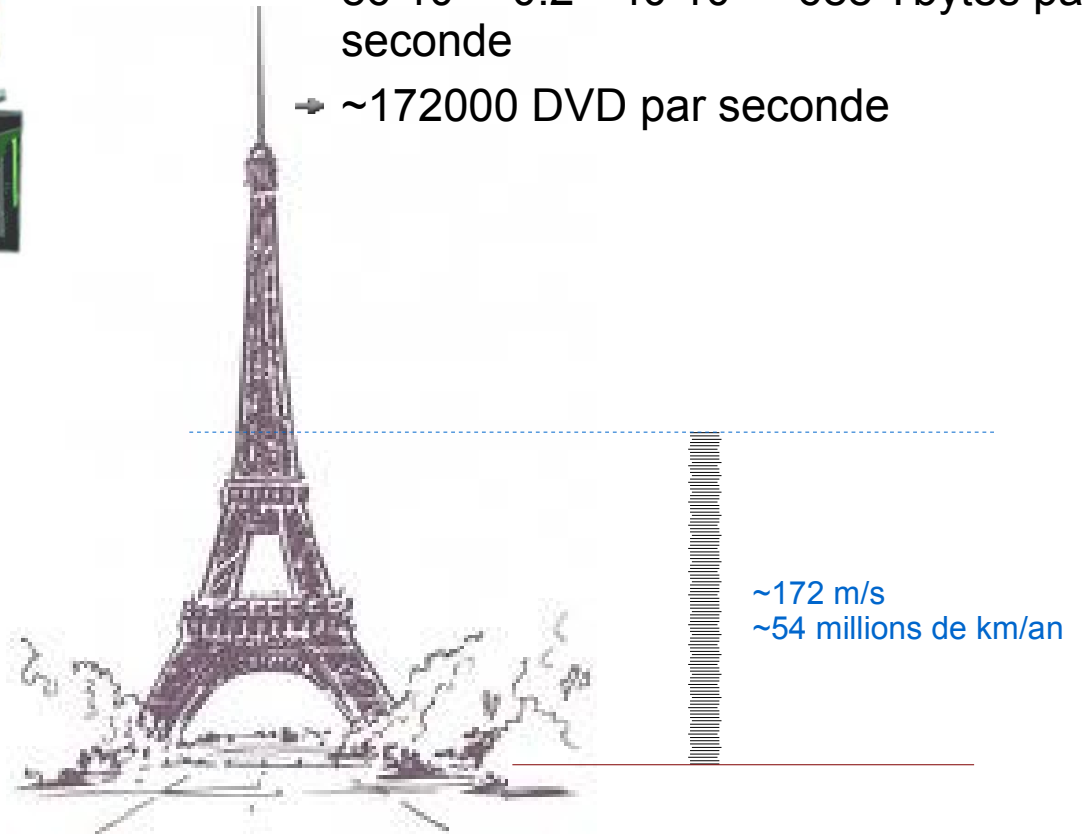
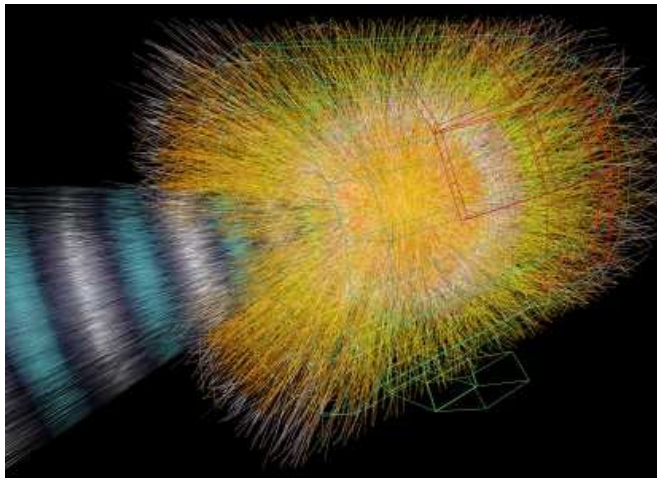


Le challenge

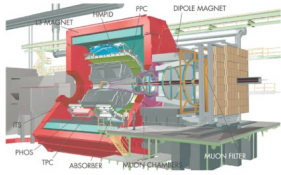
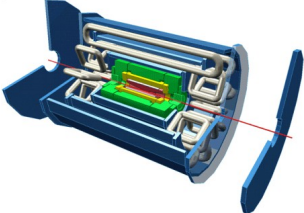
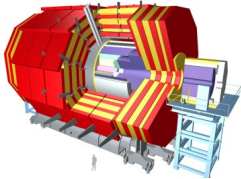
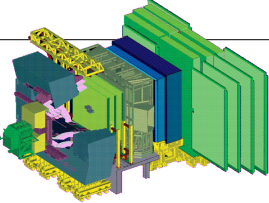


Peut-on stocker tous les événements ?

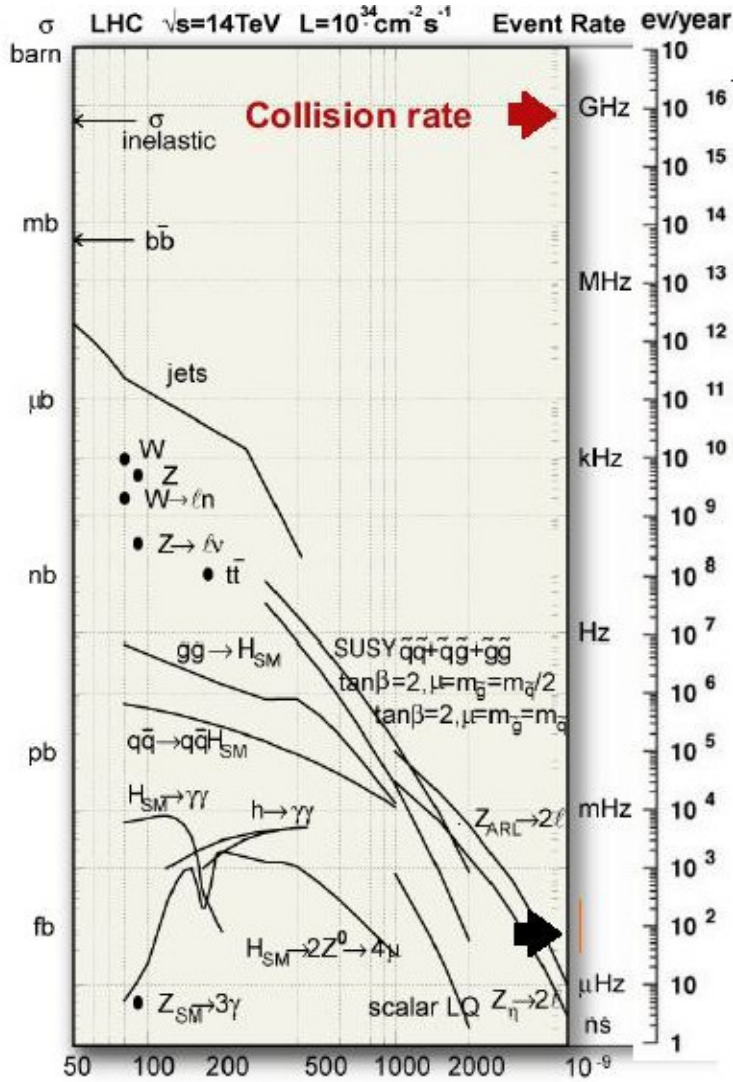
- Exemple détecteur Alice
 - Collisions Pb-Pb :
taille d'un événement = 86 Mbytes
 - $86 \cdot 10^6 \cdot 0.2 \cdot 40 \cdot 10^6 = 688$ Tbytes par seconde
 - ~172000 DVD par seconde



Cractéristiques des détecteurs LHC

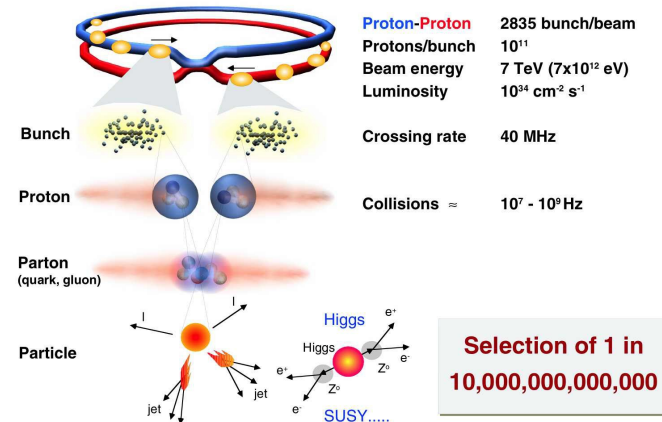
		Données générées par un Bunch Crossing	Taux de collision	Nombre de canaux
ALICE		Pb-Pb : 86 Mb p-p : 2.5 Mb	PbPb : 125 ns p-p : 25 ns	~ 60 millions
ATLAS		p-p : 1.5 Mb	p-p : 25 ns	~100 millions
CMS		p-p : 1 Mb	p-p : 25 ns	~70 millions
LHCb		p-p : 75 kb	p-p : 25 ns	~1 million

Réduction du nombre d'événements



La plupart des collisions sont sans intérêt !

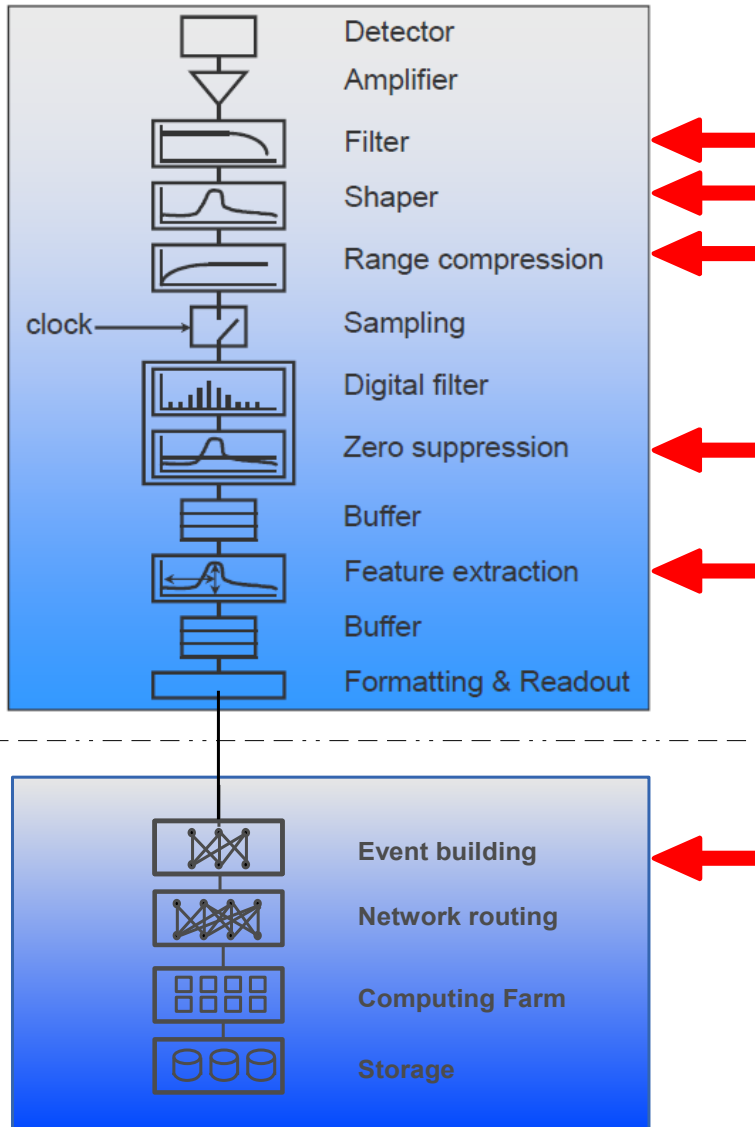
- Quelques chiffres pour le LHC
 - Bunch crossings : $4 \cdot 10^7$ Hz
 - Collisions de protons : 10^9 Hz
 - Production de nouvelles particules : 10^{-5} Hz (quelques milliers par an)
 - 1 événement intéressant sur 10^{13} collisions !



On filtre les événements inutiles

→ Rôle du trigger

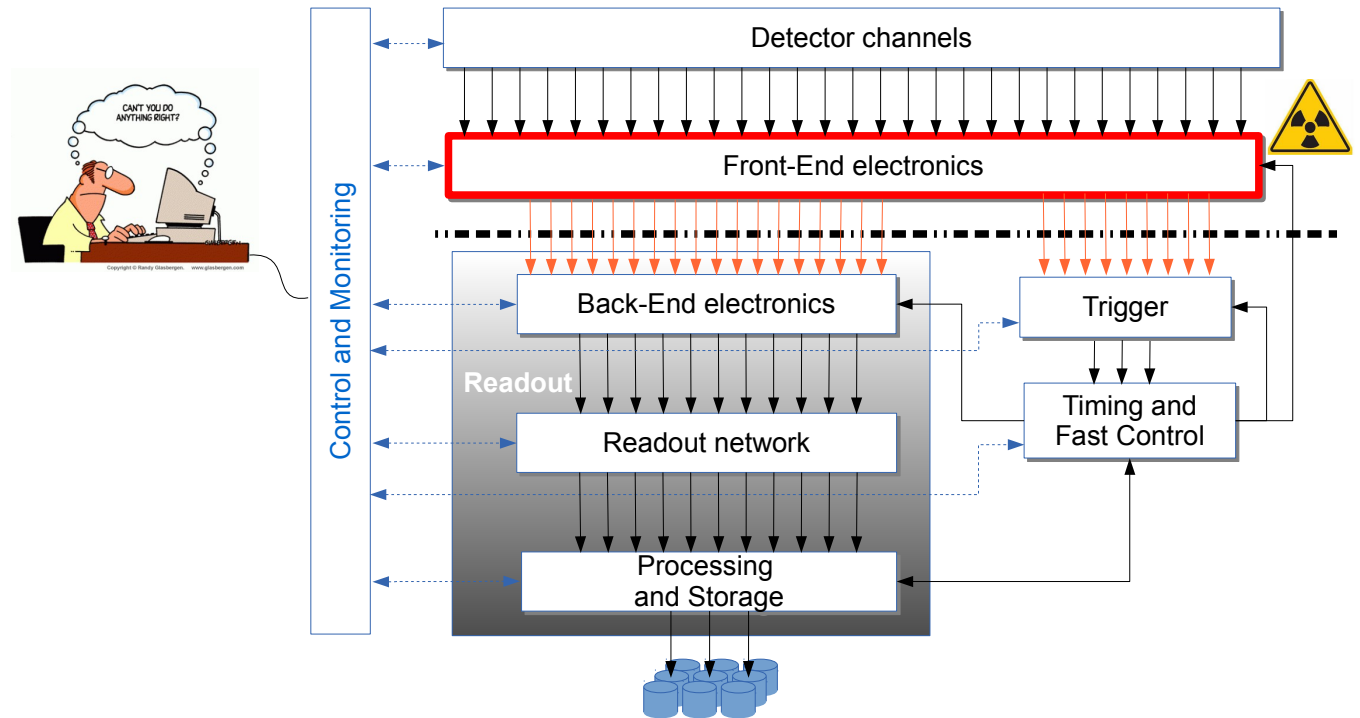
Réduction du volume des événements



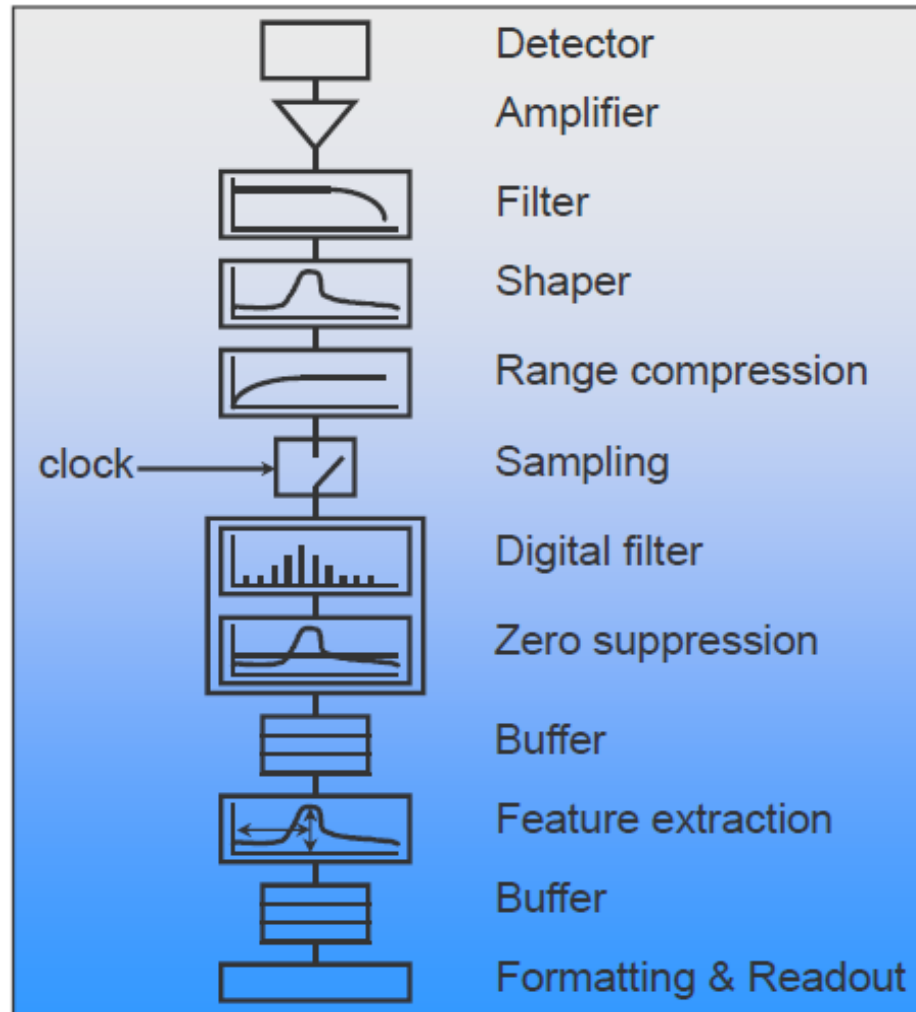
Les données sont compressées tout au long de la chaîne :

- 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**

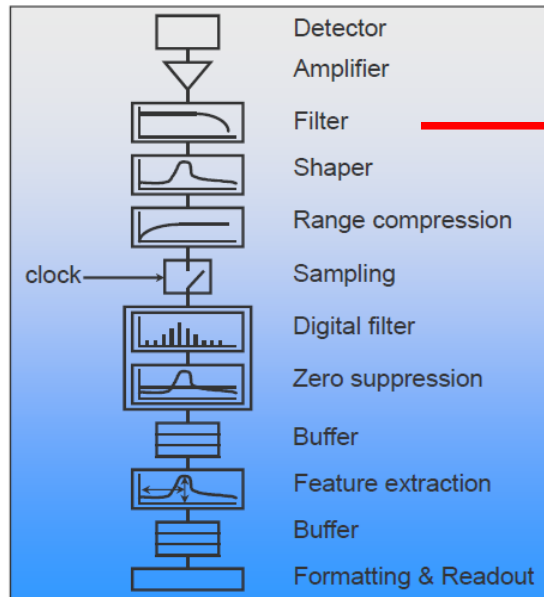
Electronique Front-End



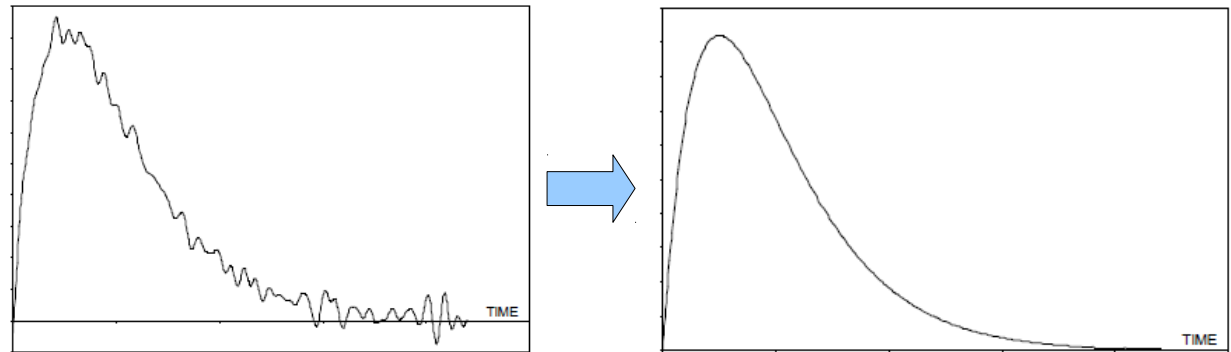
Canal d'acquisition typique



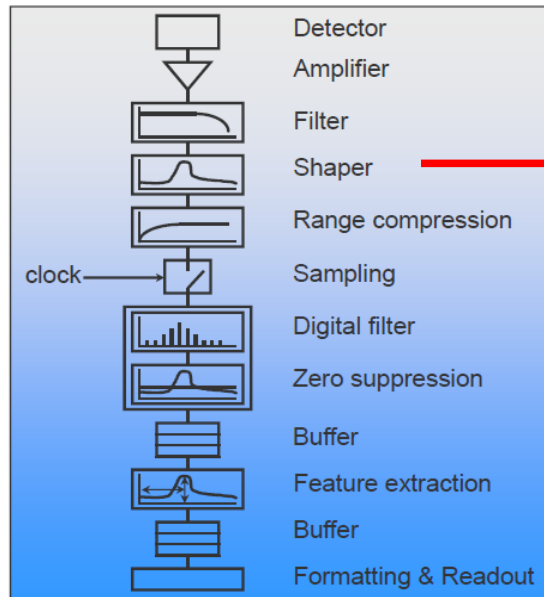
Détails d'un canal d'acquisition



• Le « Filtre » élimine le bruit électronique

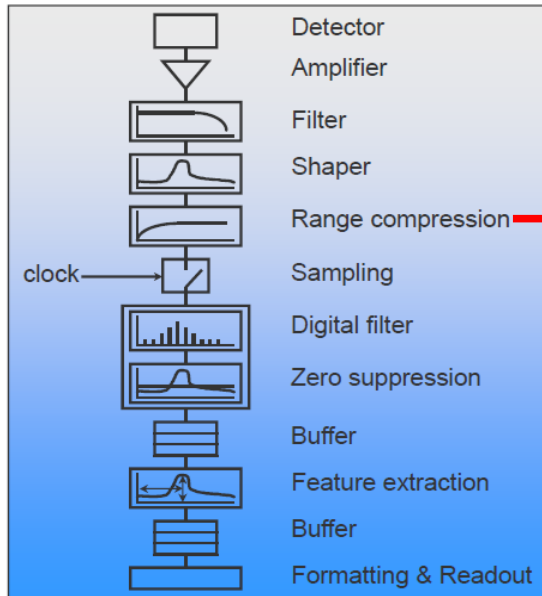


Détails d'un canal d'acquisition

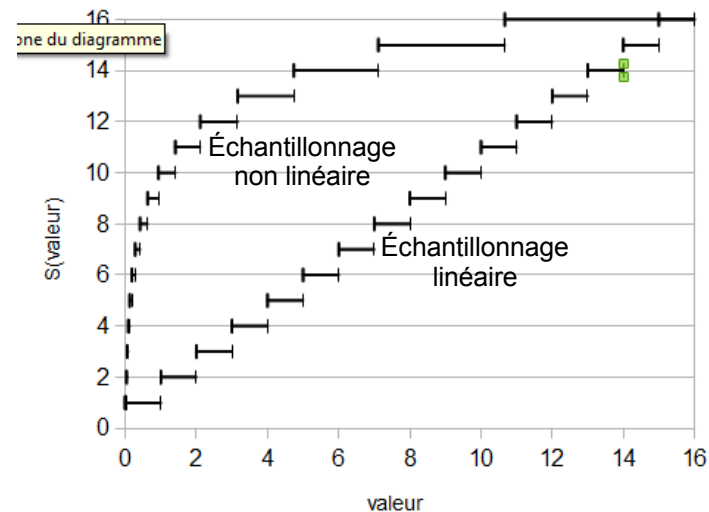


- Le « Shaper » optimise la forme du signal de façon à mieux observer :
 - le signal minimum qu'on souhaite détecter
 - l'amplitude du signal
 - l'instant d'arrivée
 - parfois une combinaison des précédents
- Peut varier suivant ce qu'on cherche à observer :
 - présence ou non (hit)
 - énergie
 - temps

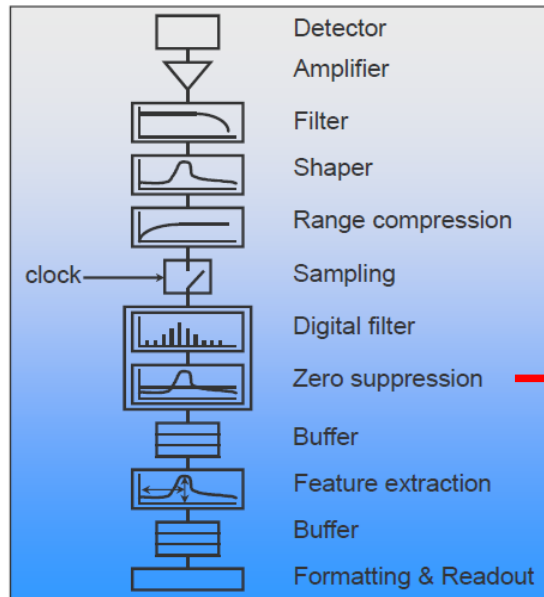
Détails d'un canal d'acquisition



- 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

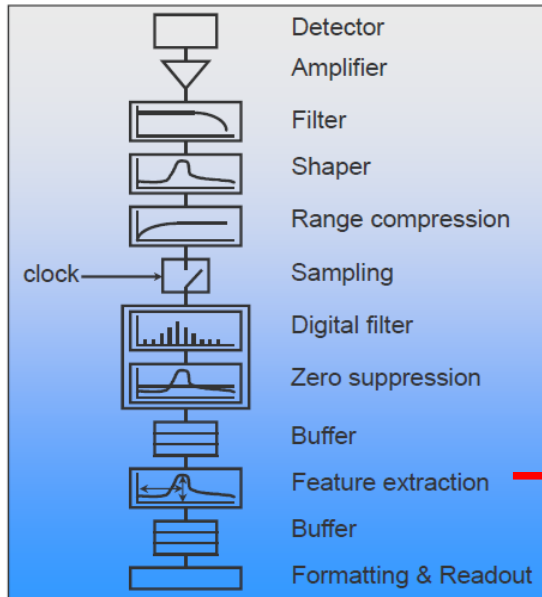


Détails d'un canal d'acquisition

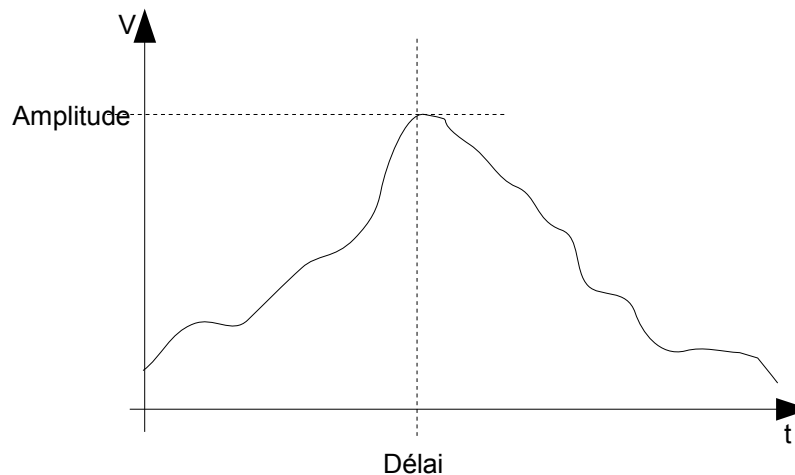


- La « suppression de zéro » consiste à maximiser le nombre de valeurs nulles du signal pour le compresser plus facilement.
- Au sens large toute opération de compression

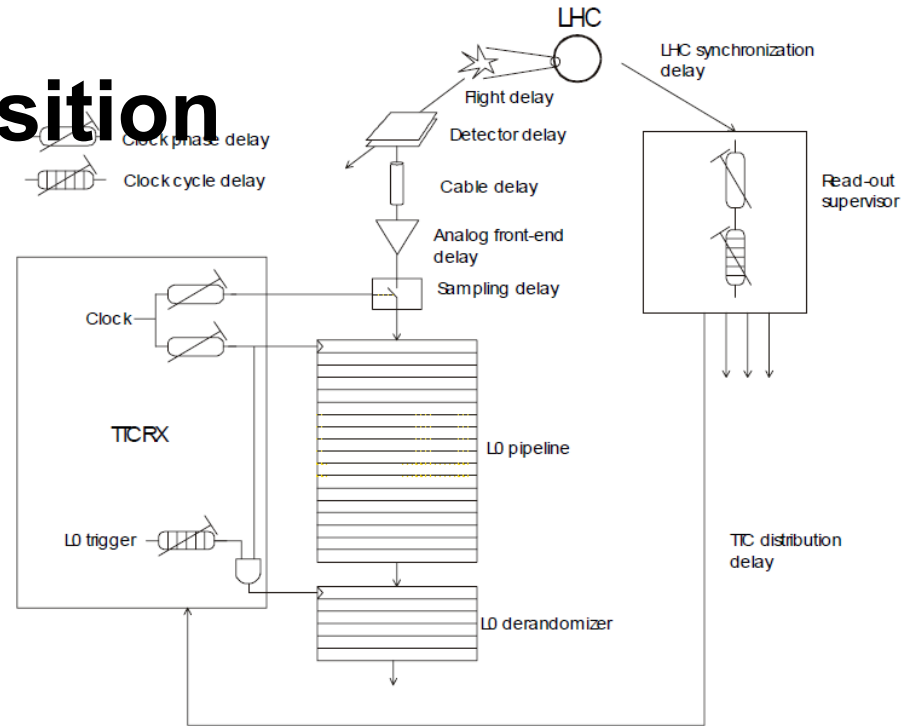
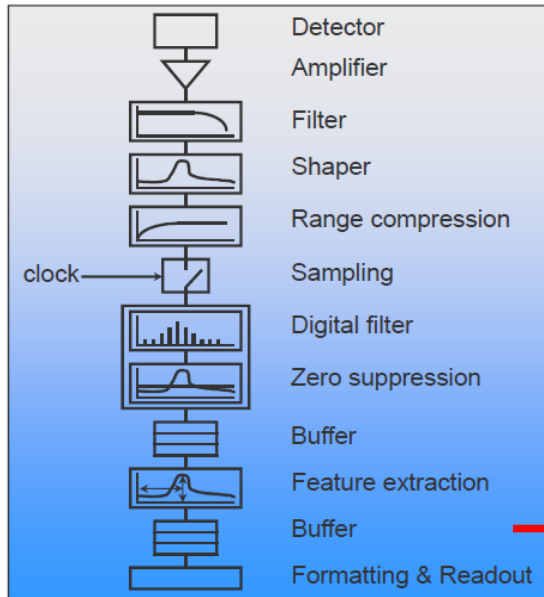
Détails d'un canal d'acquisition



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

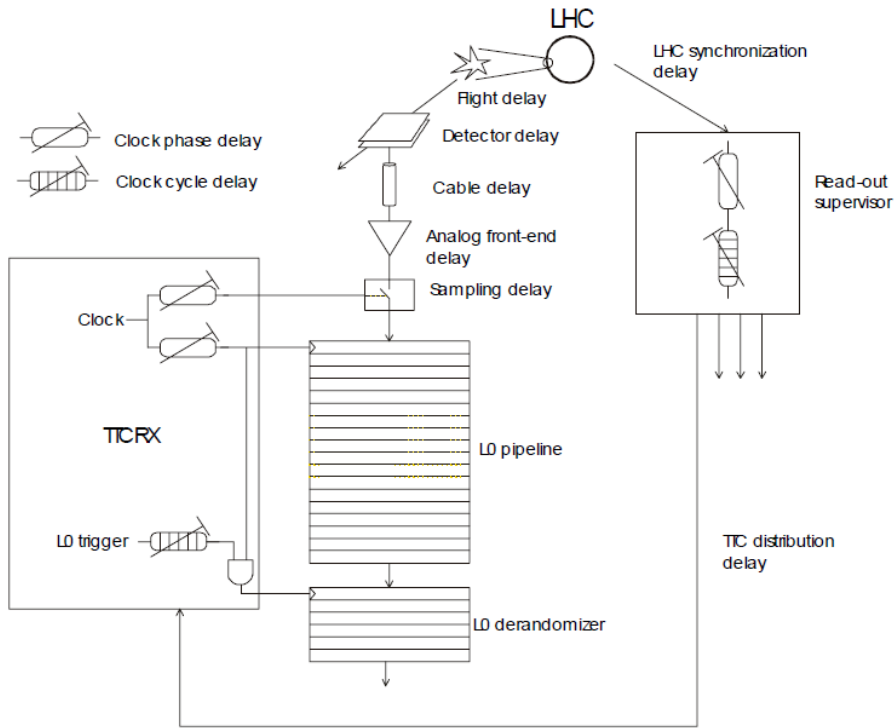


Détails d'un canal d'acquisition

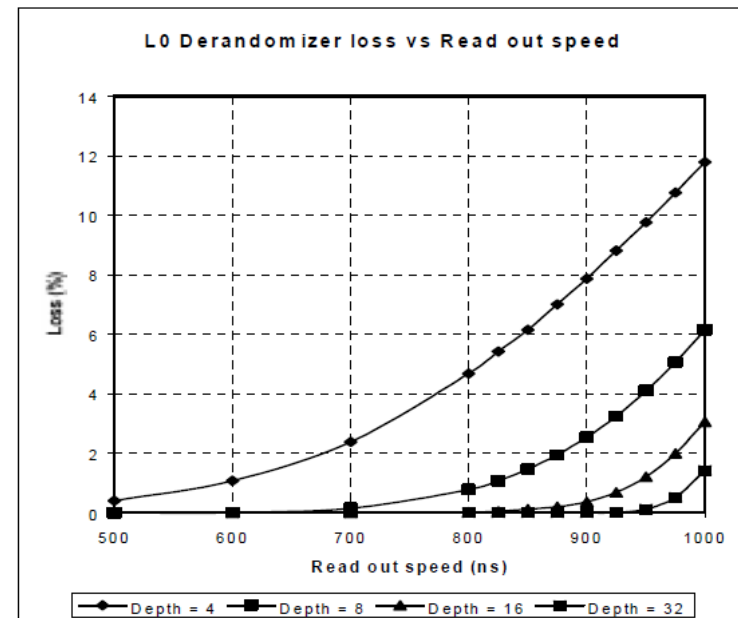


- Bufferisation nécessaire en attente de la décision du trigger
 - Notion de derandomizer

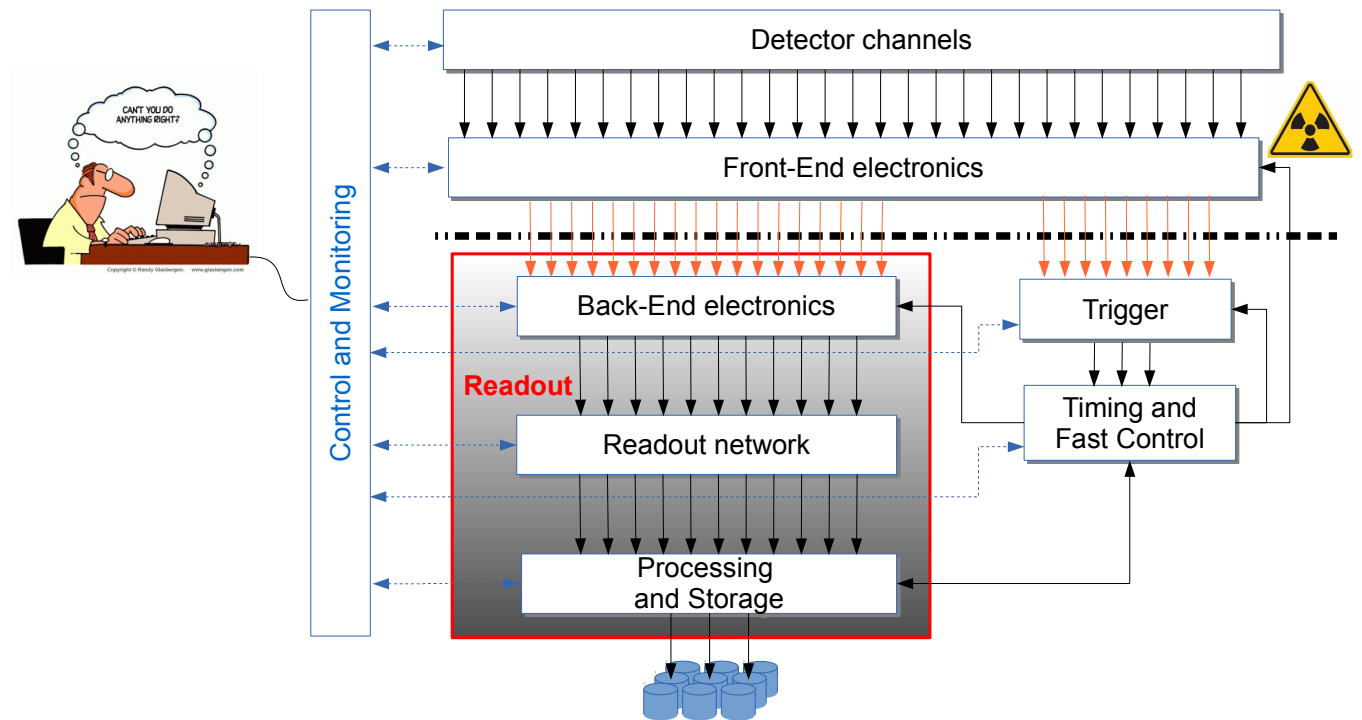
Derandomizer



- Permet de relire à une cadence fixe des événements arrivant irrégulièrement
 - ➔ Traitement synchrone du reste de la chaîne
- Doit être dimensionné de façon à ne pas perdre d'événements
 - ➔ Optimisé par simulation

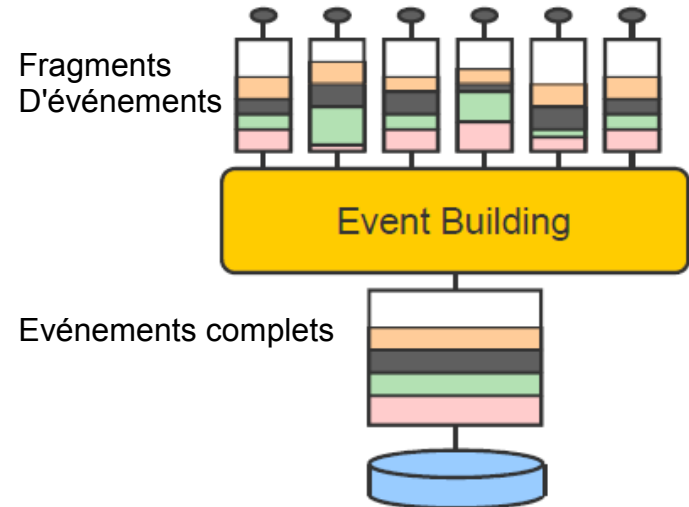


Systeme de Readout



Notion d'event building

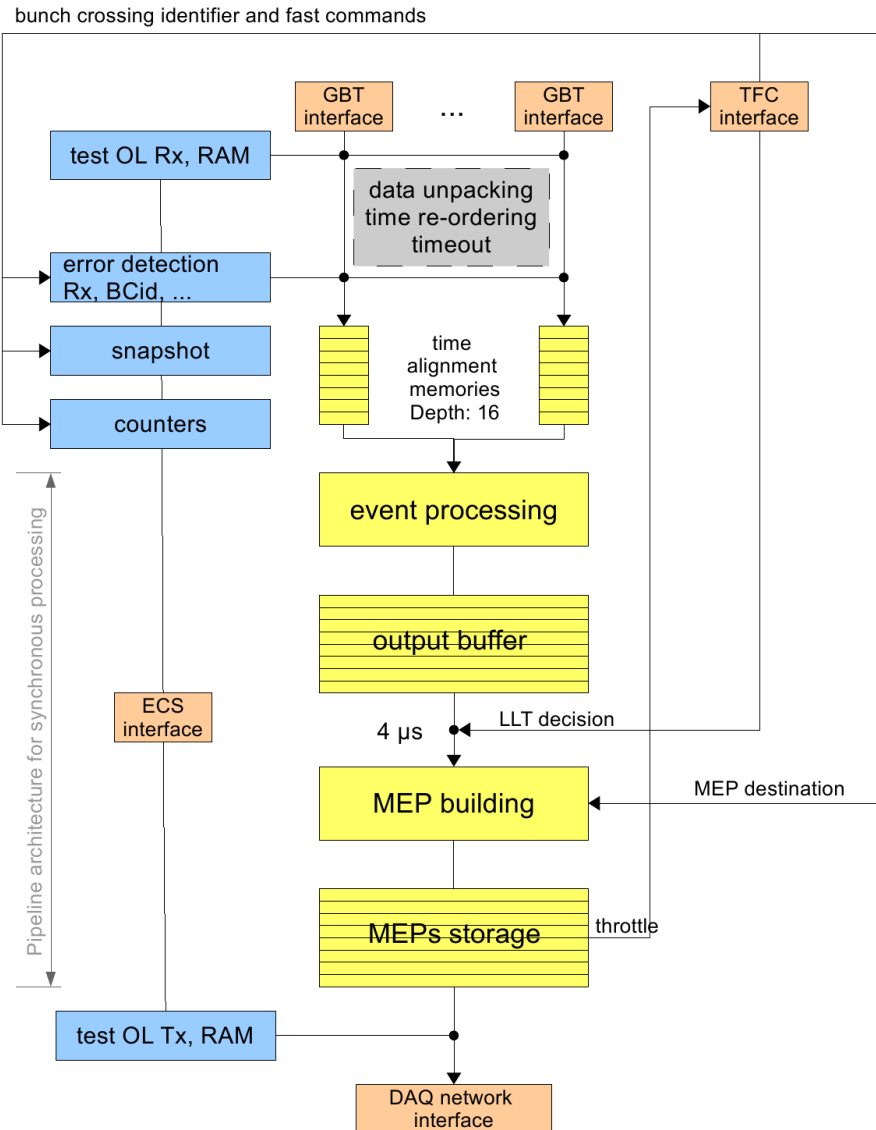
- Chaque sous-détecteur envoie au système back-end une fraction d'événement
- Tous les événements appartenant à une même collision doivent être rassemblés et agrégés par l'électronique back-end
- Tous les événements appartenant à une même collision doivent être routés à travers le réseau vers un ordinateur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



- Ces fragments événements arrivent avec des retards différents sur l'électronique back-end :
 - Temps de vol de la particule entre chaque sous détecteur
 - Longueurs de cables ou fibres optiques différentes
 - Dérives en température
 - Ils doivent être re-synchronisés à l'arrivée
- Dans l'attente d'une décision du trigger, ils doivent être mémorisés
- Seul un événement retenu est éjecté.
- Le paquet correspondant à l'événement doit être envoyé vers un ordinateur disponible de la ferme.

Réseau de readout

Plusieurs stratégies de gestion du réseau :

Mode « **Push** » :

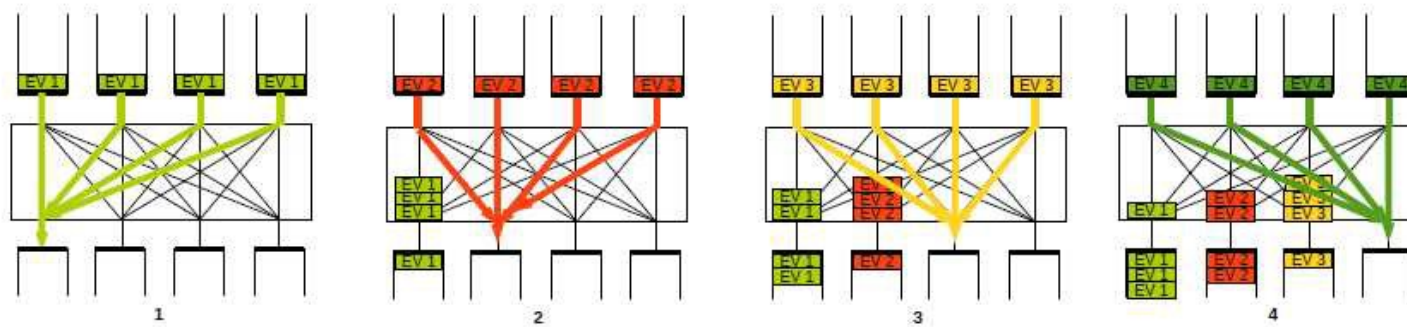
- Les données sont poussées dans les switches du réseau.
- La source doit connaître la destination d'un CPU disponible
 - Avantage : simple pour les cartes back-end
 - Inconvénients :
 - pas de relecture possible
 - risque de congestion du réseau
 - switches doivent contenir de la mémoire → chers

- 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

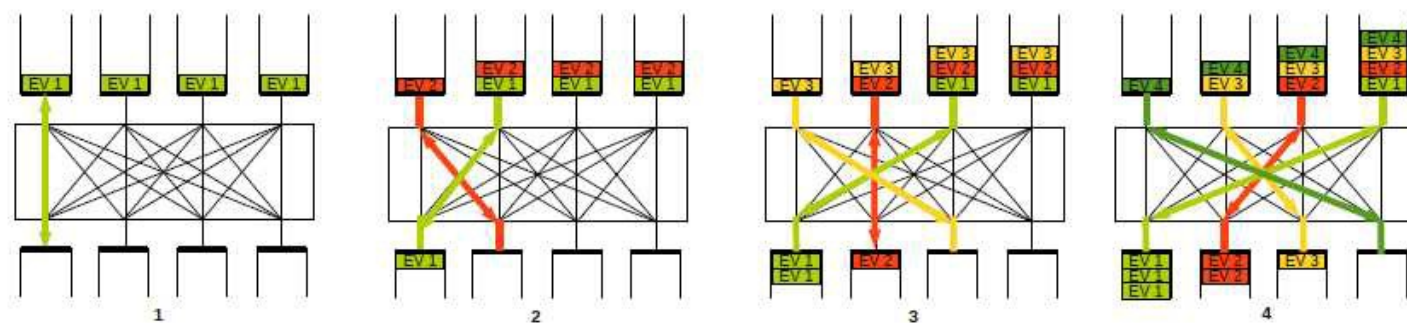


Electronique back-end

Switches

Ferme de calcul

Mode Pull



Electronique back-end

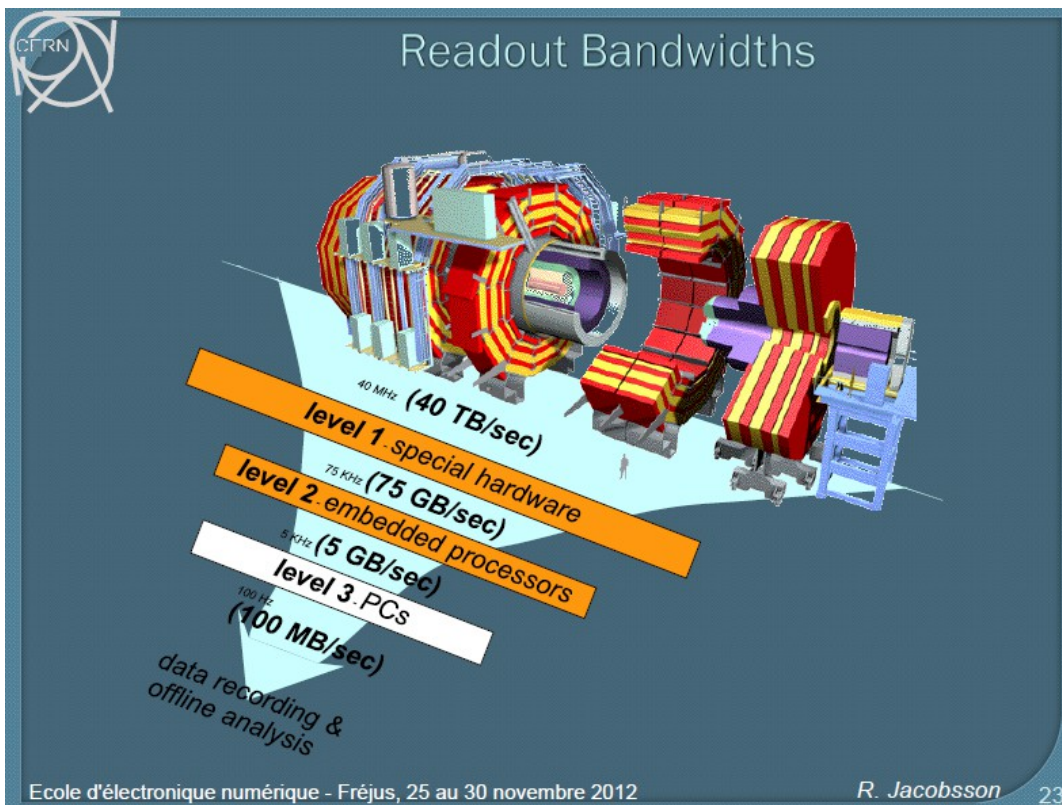
Switches

Ferme de calcul

Réduction du flux de données

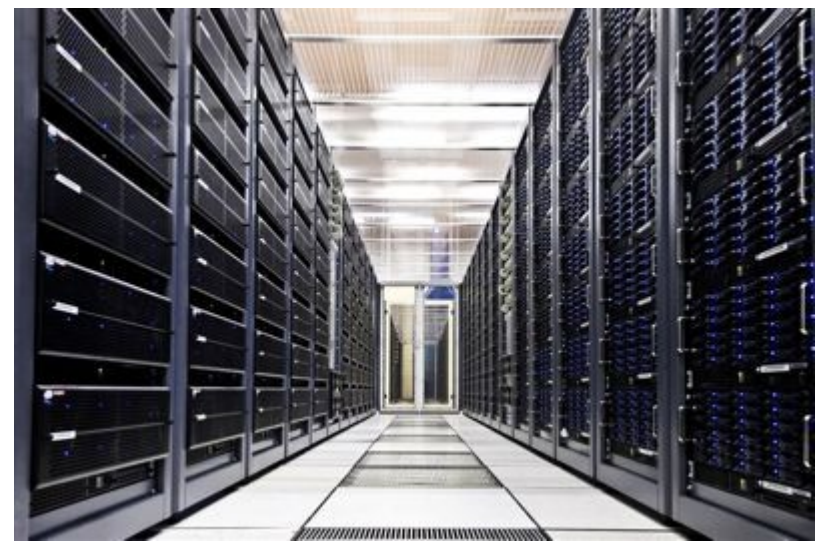
En conjonction avec le (ou les) trigger(s),
élimination des données inintéressantes

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



Fermes de calcul

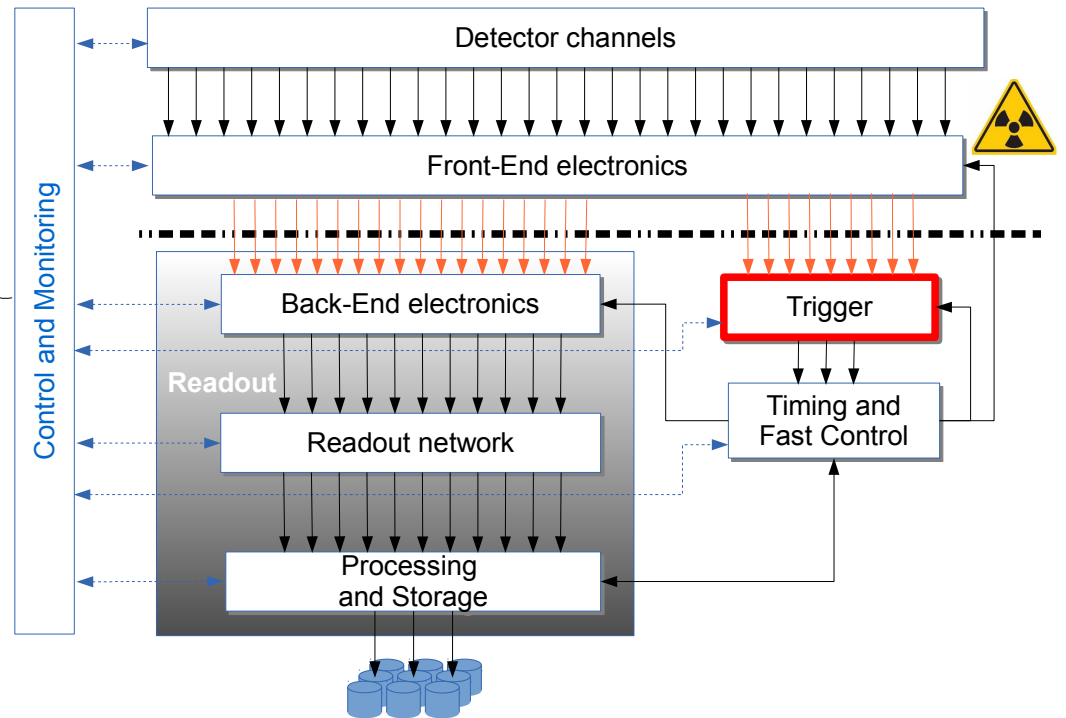
Ordres de grandeur



	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

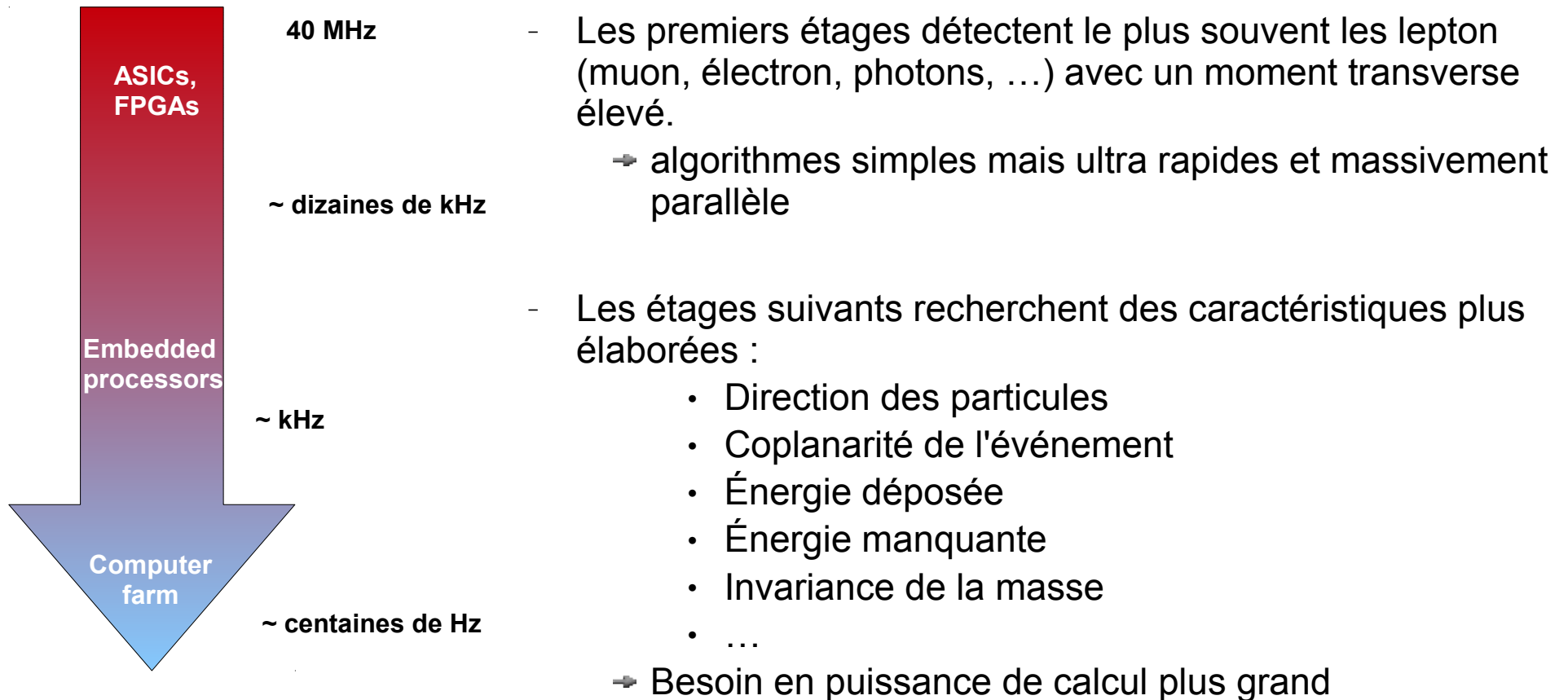
Source Niko Neufeld, CERN

Trigger



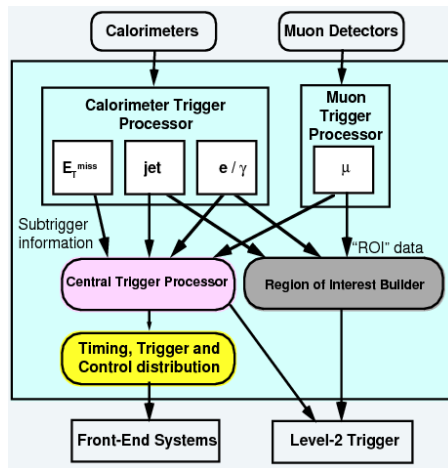
Tri des événements

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

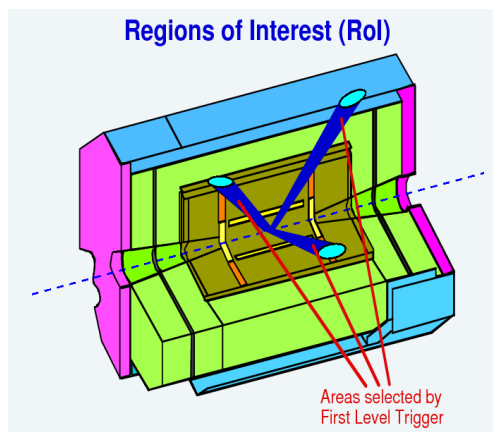
 - Taux d'événements réduit à ~75-100 kHz

- **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

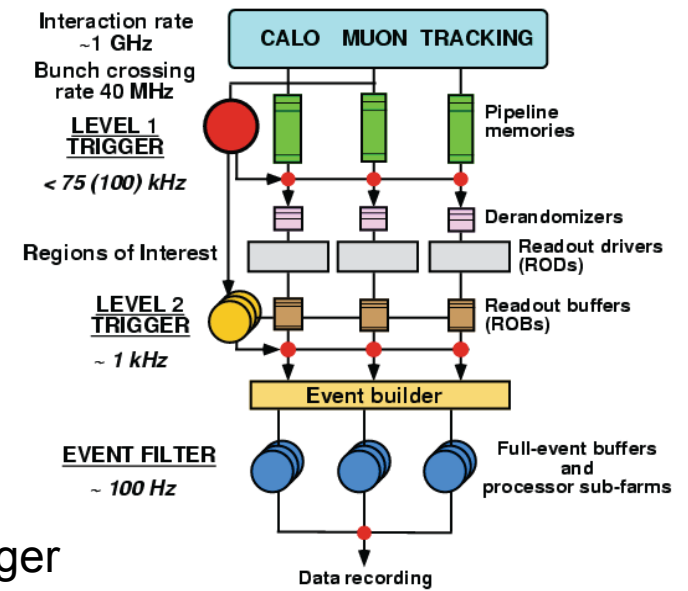
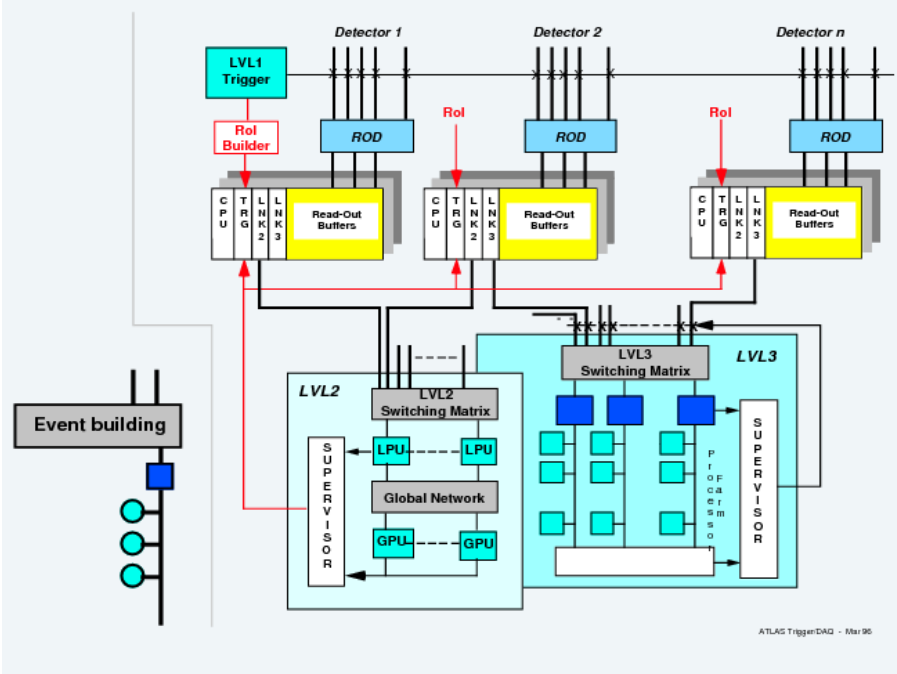
 - Taux d'événements réduit à ~1 kHz



Niveaux de trigger

Exemple d'ATLAS

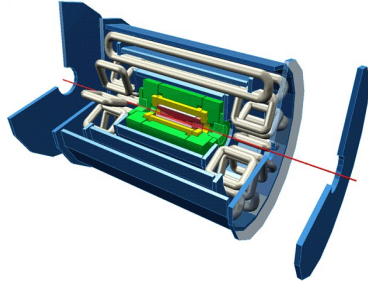
ATLAS T/DAQ Global Architecture



- 3 niveaux de trigger
 - **Niveau 3** : event building puis recherche par les fermes de calcul sur la totalité de l'événement
 - algorithmes similaires à l'analyse de donnée, mais en temps réel
 - temps de calcul ~ 1 seconde par événement
- Taux d'événements conservés : ~ 100 Hz

Niveaux de trigger

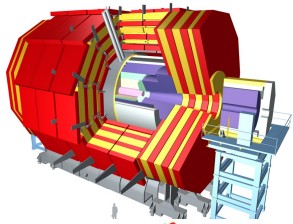
ATLAS



3 niveaux de trigger	Niveau 1	Niveau 2	HLT
Latence	2.5 μ s	~ms	~ s
Débit	100 Gbytes/s	10 Gbytes/s	1.6 Gbytes/s
Taux d'evts	70 kHz	6.5 kHz	1 kHz

Taille d'événement :
1.5 Mbyte

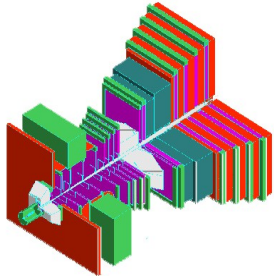
CMS



2 niveaux de trigger	Niveau 1	HLT
Latence	3 μ s	~ s
Débit	100 Gbytes/s	100 Mbytes/s
Taux d'evts	100 kHz	100 Hz

Taille d'événement :
1 Mbyte

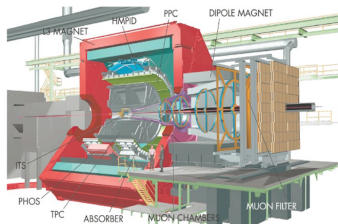
LHCb



3 niveaux de trigger	Niveau 0	HLT1	HLT2
Latence	4 μ 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

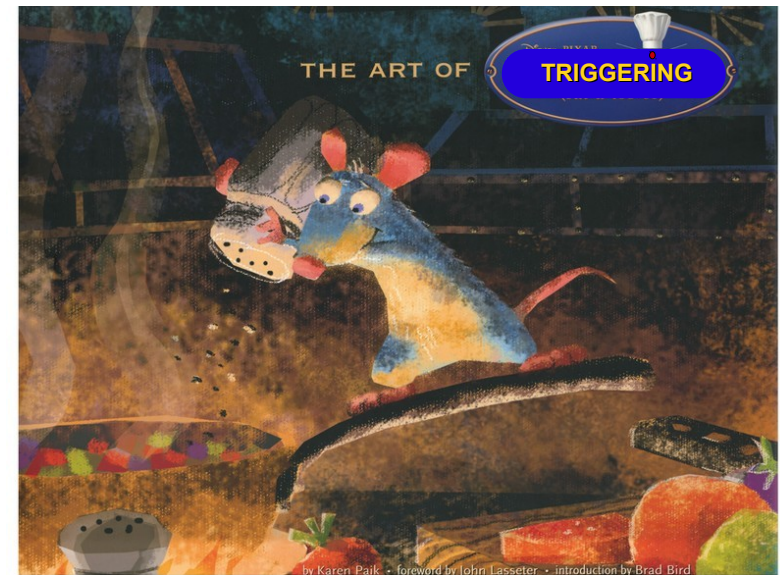


4 niveaux de trigger	Niveau 0	Niveau 1	Niveau 2	HLT
Latence	1.2 μ s	6.5 μ s	88 μ s	~ s
Débit			5 Gbytes/s	1.2 Gbytes/s
Taux d'evts	4 kHz		500 Hz	50 Hz

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 ...

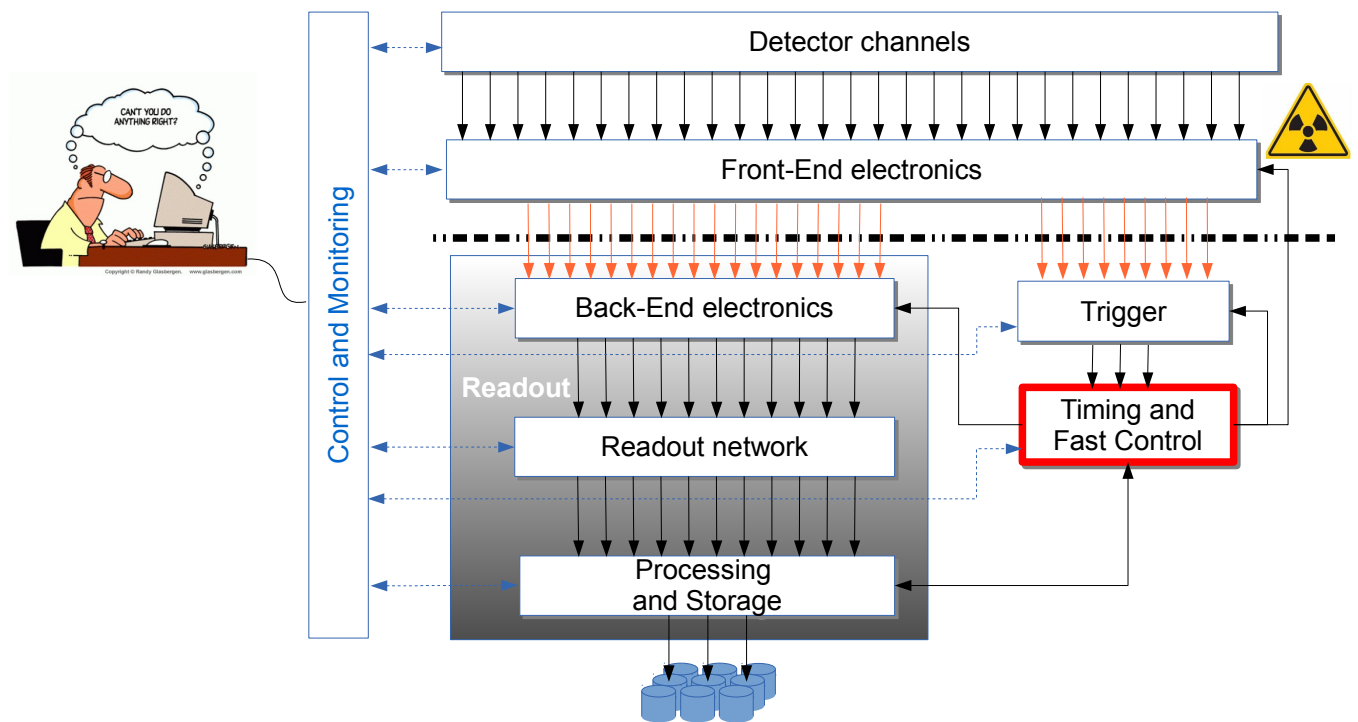


Exigences d'un bon trigger

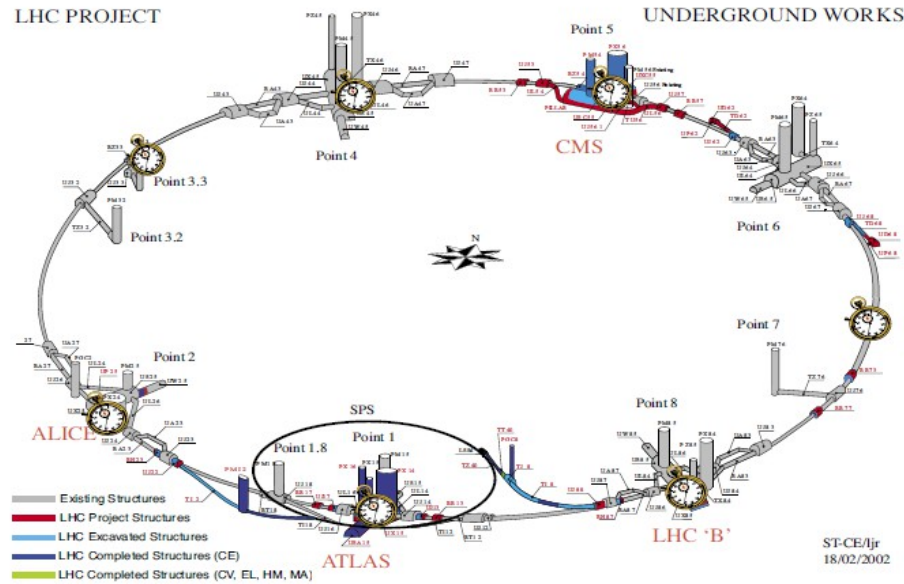
- Efficacité la plus grande possible
 - Un événement rejeté est définitivement perdu
 - Peu sensible au bruit
 - Dépourvu de biais de mesure
- Taux de sélection le plus bas possible
- Très rapide
 - Pour diminuer la taille mémoire dans les Front-Ends
- Flexible
- Economique (!)
- Et surtout ... **fiable**



Supervision temporelle

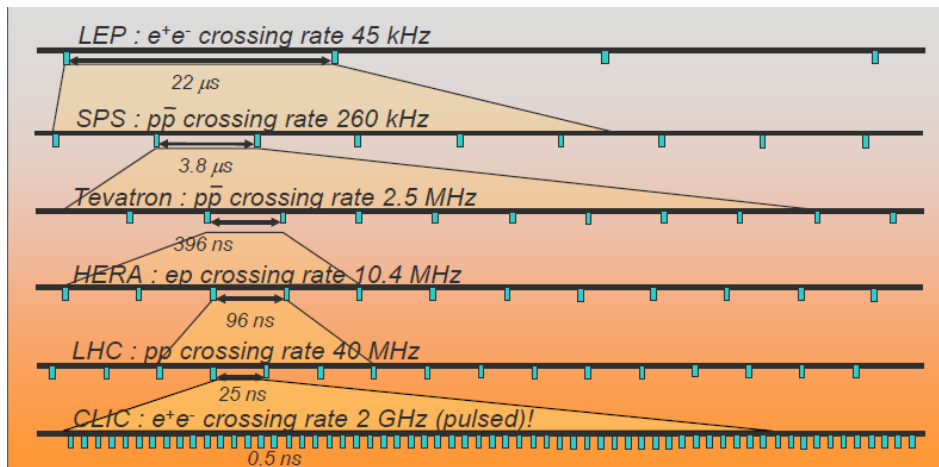


Synchronization



Globale

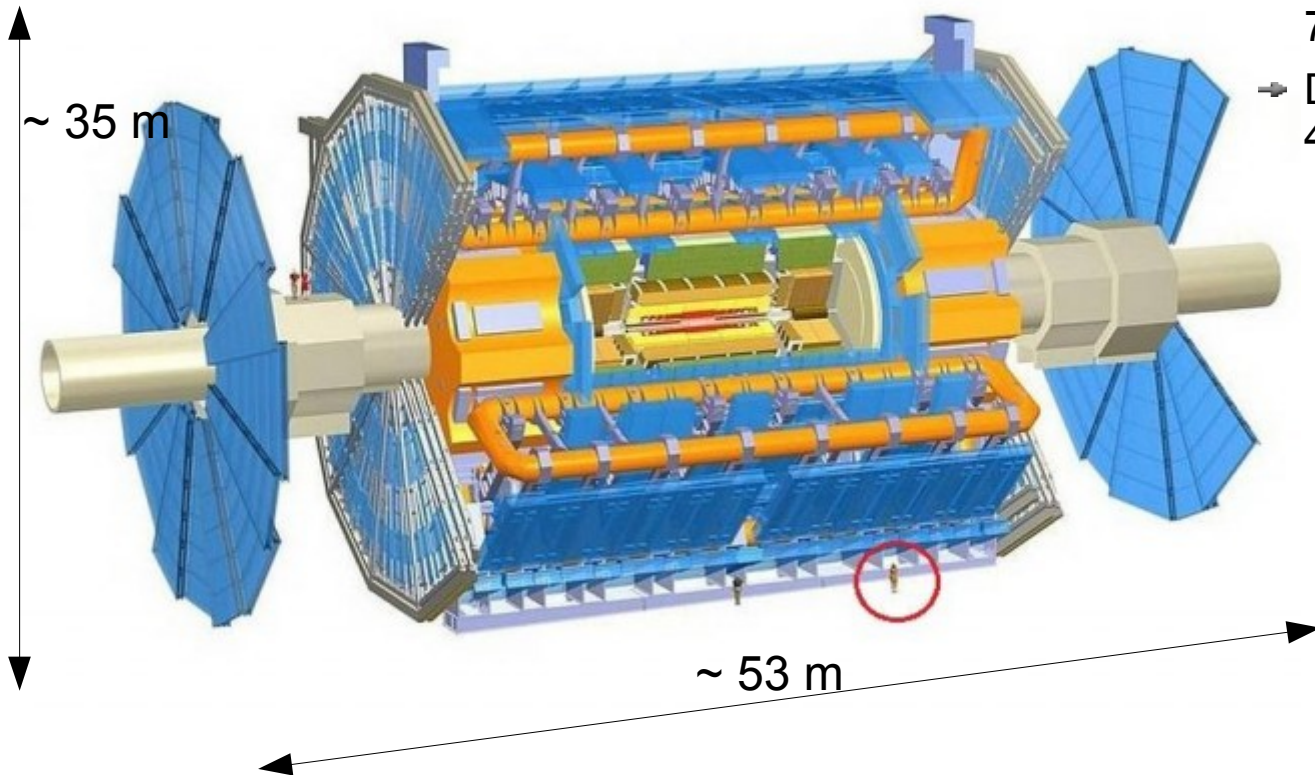
- Au niveau de l'accélérateur tous les éléments doivent être synchronisés sur une grande distance
 - Distribution sur plusieurs km de fibre
- Et avec une grande précision
 - Sur le LHC jitter maximal : ~ 8 ps RMS



Synchronization

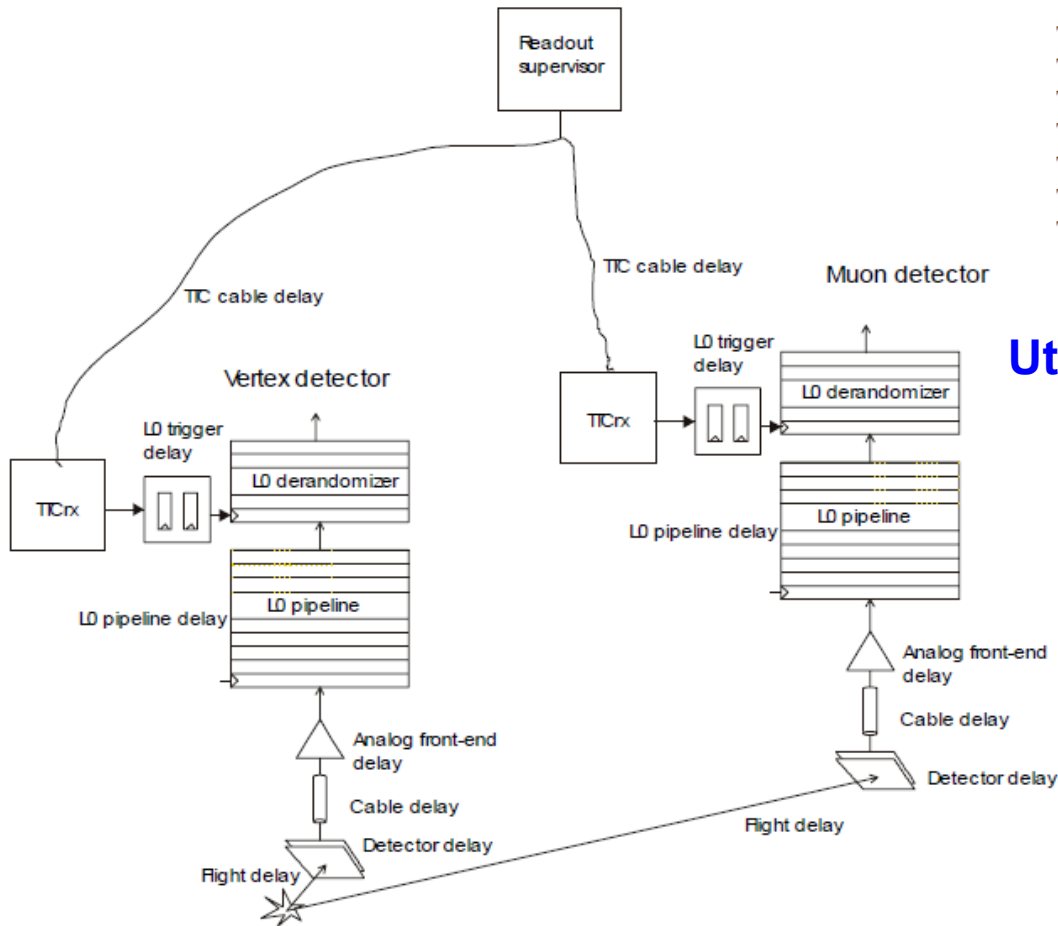
Locale

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

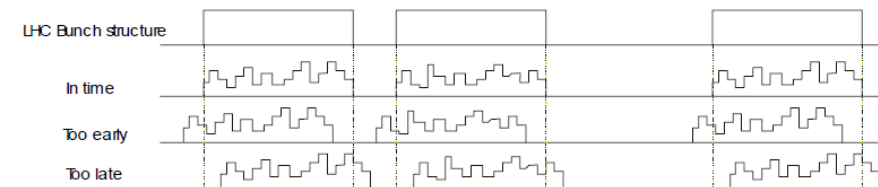


Éléments à prendre en compte

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_{ttrcx} :	Delay in TTCrx (programmable)
T_{ttc_cable} :	Delay in optical TTC distribution

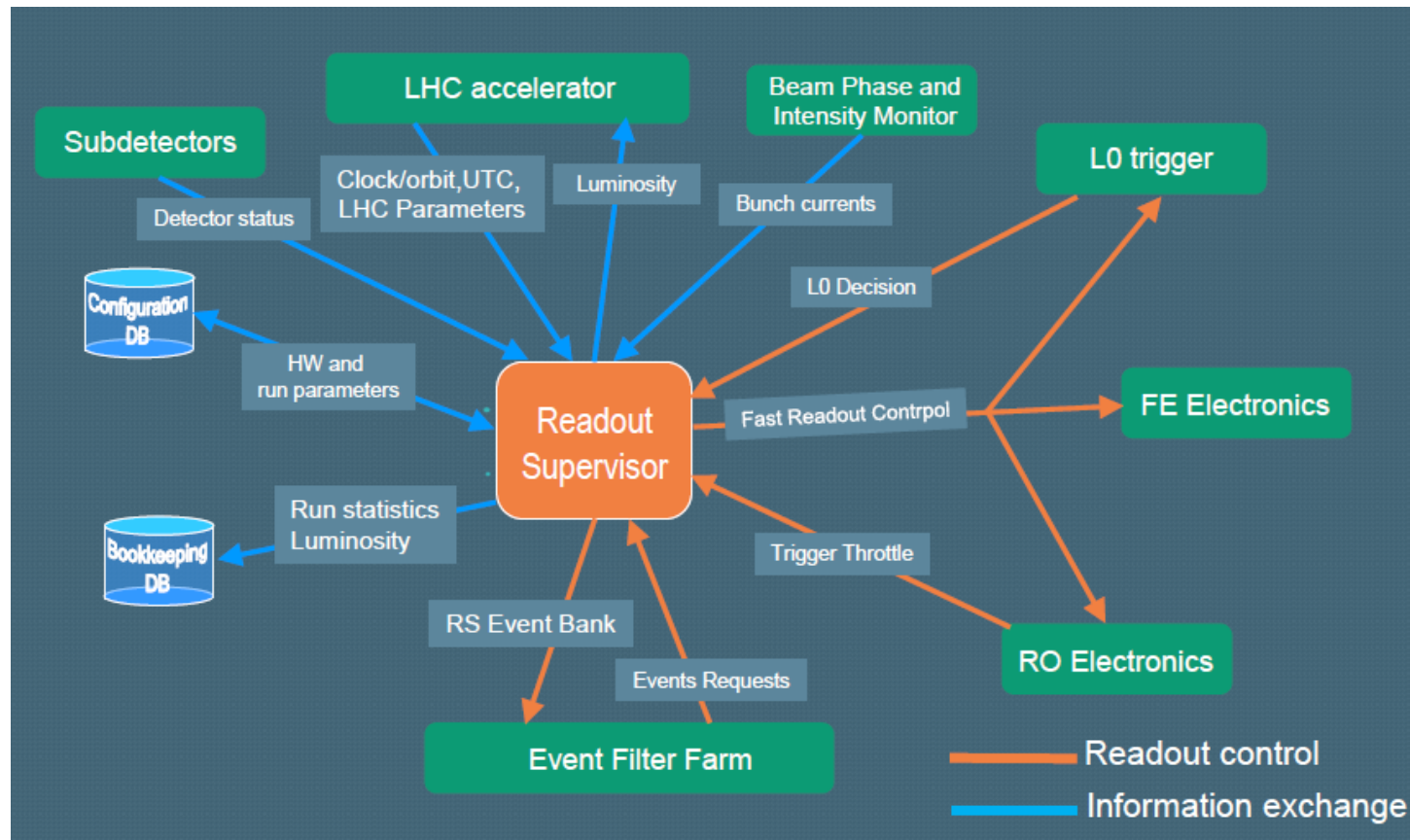
Utilisation de lignes à retard locales

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



Timing and Fast Control supervisor

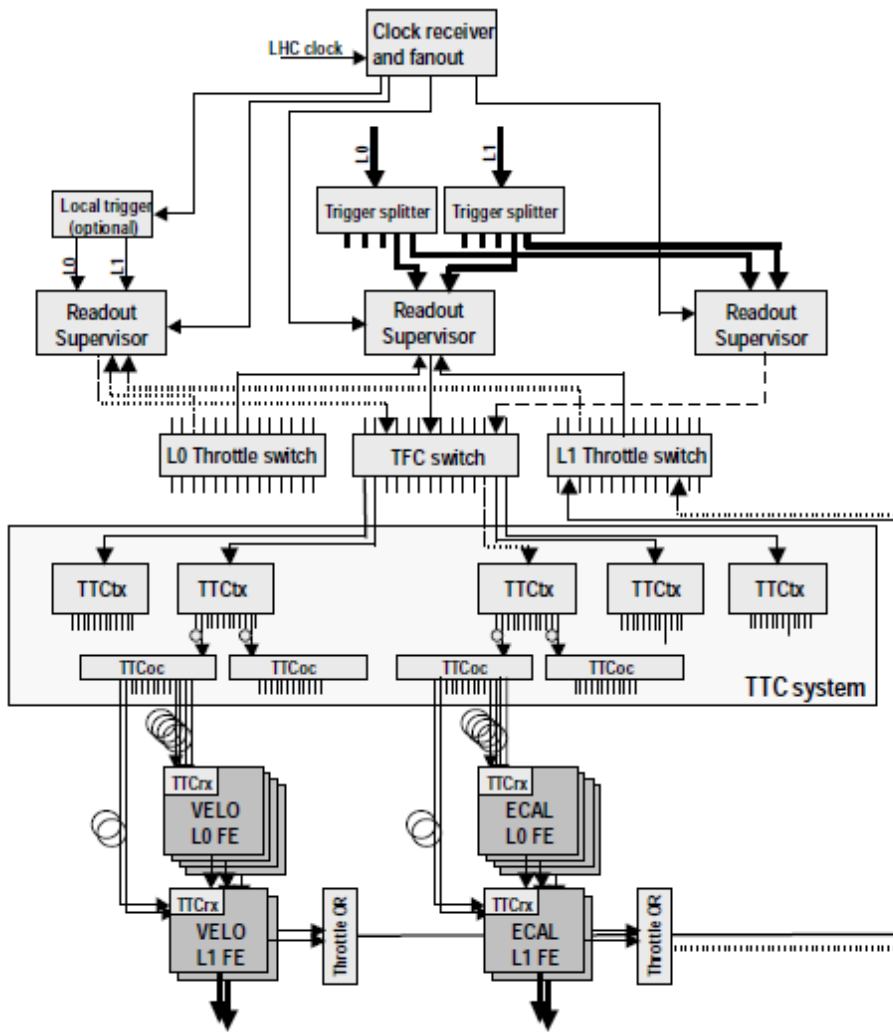
- Assure la distribution temporelle précise
- Assure la distribution des triggers aux Front-Ends et systèmes de Readouts
 - Véritable chef d'orchestre du système



Source R. Jacobsson - CERN

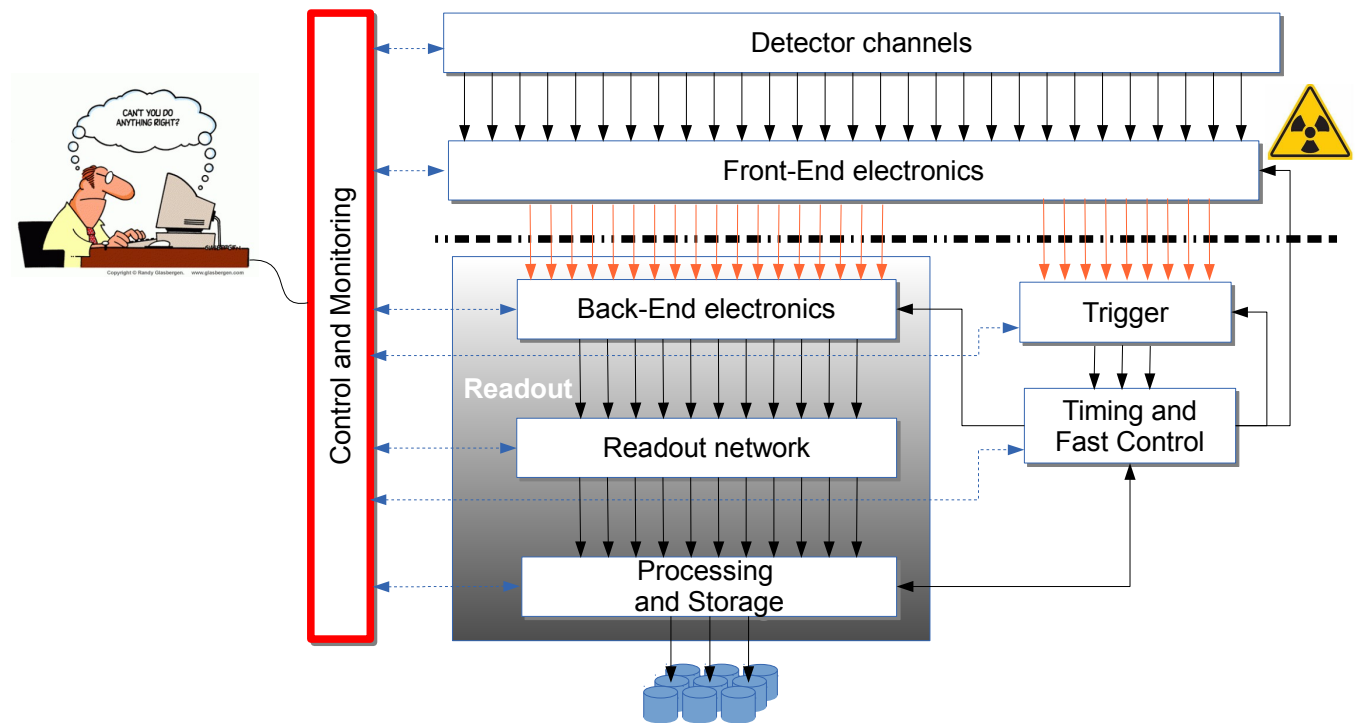
Timing and Fast Control supervisor

- 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

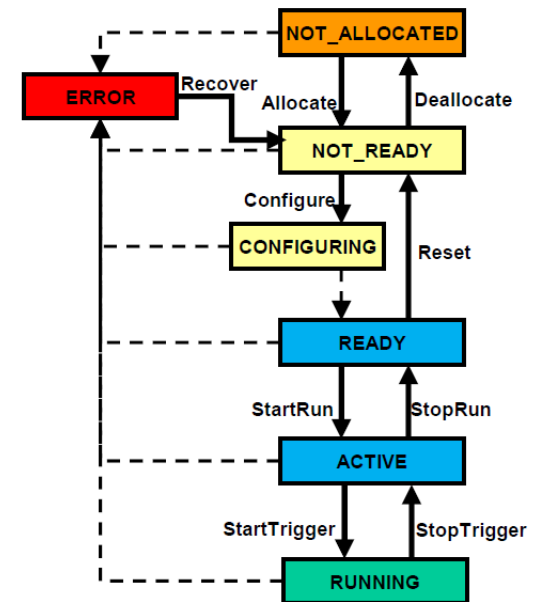
Contrôle et monitoring



Experiment Control System

Assure la supervision globale de l'expérience :

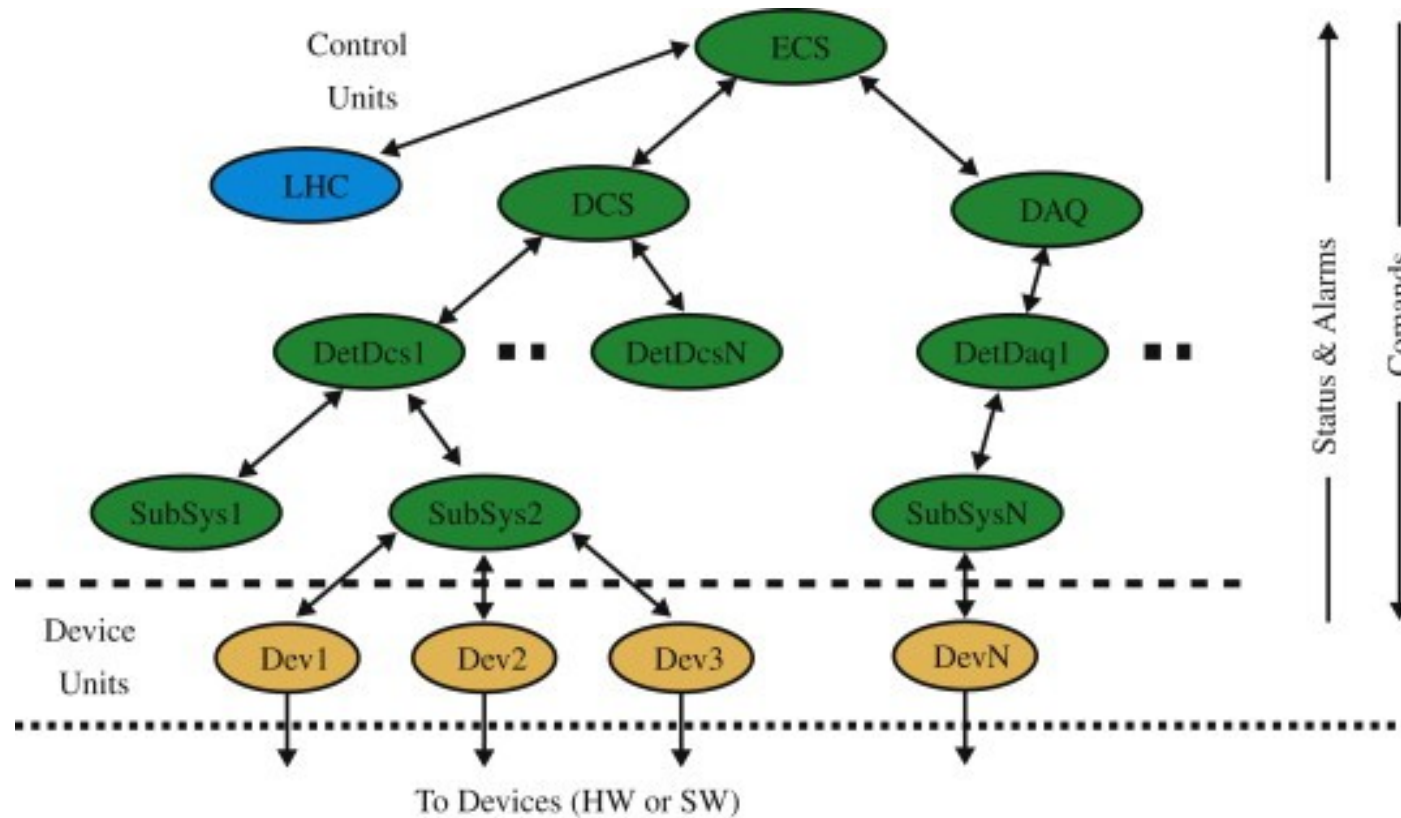
- Pilotage de l'acquisition de données et du trigger :
 - Chargement des paramètres, type de RUN, activation (START) ou désactivation (STOP) de l'expérience, ...
 - Partitionnement
 - Permet de faire tourner certaines parties de l'expérience indépendamment
 - Détection et récupération d'erreurs
 - Surveillance du système et des flux de données
- Pilotage des **sous-détecteurs**
 - Gas, 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
TFC	NOT_READY
HLT	ERROR
Storage	NOT_READY
Monitoring	READY
Reconstruction	NOT_ALLOCATED
Calibration	NOT_READY
LHCb_HV_TOP	READY

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: Run limited to 1000 Events

Step Nr: 0 | To Go: 60 | Automated Run with Steps: 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

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: FIEDMAGT/HC22CROC

Control: Skip Power, State, Control

Crate Configuration: Sel. FEB, Hdr. FEB

General Control: Mode Clock, Mode L0/Ch B

Clock Settings: Fine, Coarse

FE Synchronisation: FEB, CROC

Optical Mezzanine Mode: State

Messages

Subfarm1: System1-Manager3

System: Subfarm1 | State: **NOT_READY** | 25/02/2003 18:23:37

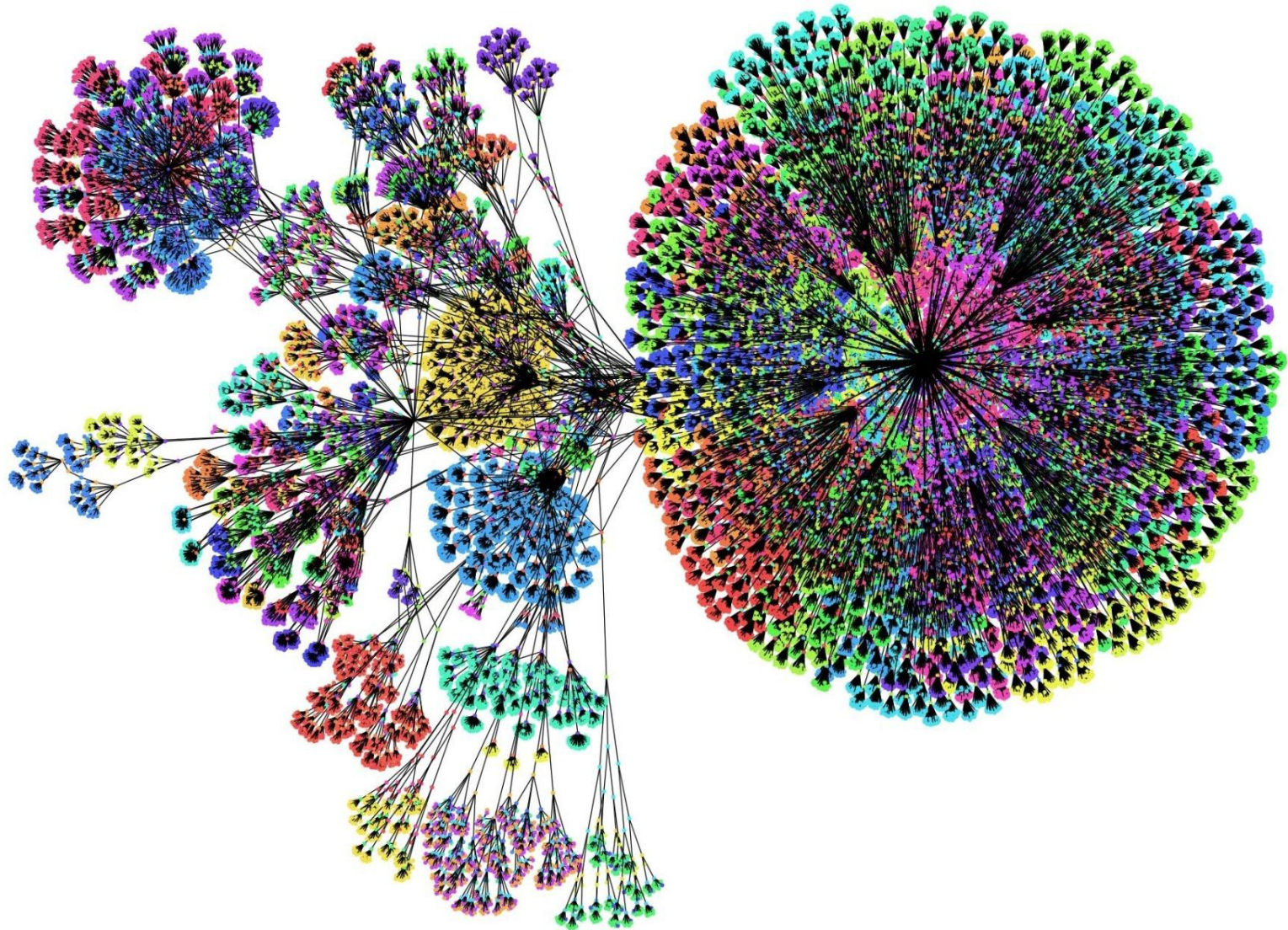
Sub-System	State
Node001	RUNNING
Node002	RUNNING
Node003	RUNNING
Node004	RUNNING
Node005	NOT_READY
Subfarm1Coordinate	READY

Monitoring: trigger rate: 2.000000, # processed events: 1229

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

Messages

Contrôle et monitoring



CMS Control and monitoring

Conclusion

Complexité croissante dans les systèmes d'acquisition

- 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
- Nécessité de pousser la technologie au delà de ses limites