

# Trigger et acquisition de données

*Pierre-Yves Duval*  
(CPPM)



# Plan

Systeme d'acquisition de donnees (DAQ)

Notion d'assembleur d'evenements (event builder)

Notion de selectionneur (trigger)

Specifications et elements de conception d'un systeme DAQ

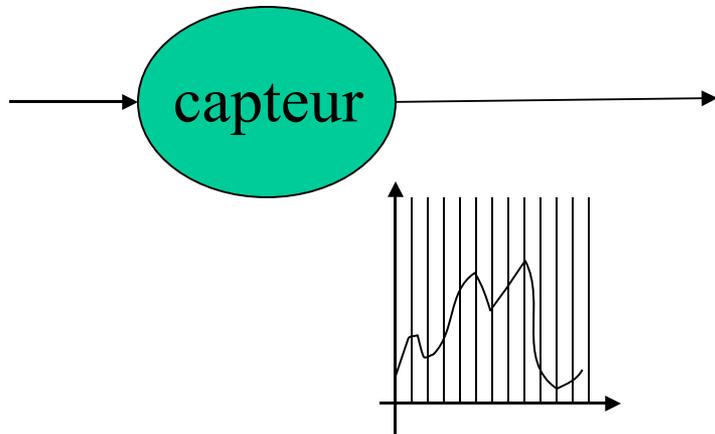
Les bancs de test en physique nucleaire et des particules

Contrôle et commande des systemes DAQ

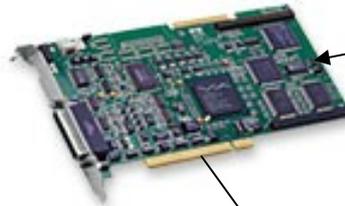
Le systeme trigger DAQ d'une grande experience sur accelerateur

# Acquisition de données simple

Point de mesure analogique (courant)

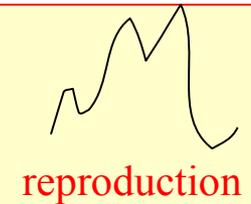


Conversion numérique

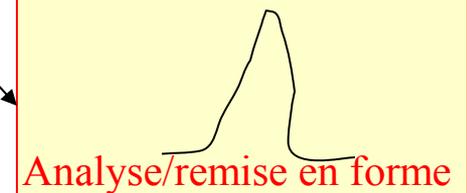


Signal d'échantillonnage

```
00011001
00011010
00011110
00011000
00001111
```



OK ou KO  
sélection



Total=1236577  
Stockage/archivage

Besoin de plus de puissance si:

- mesure à plus haute fréquence
- plus de points de mesures
- traitements plus complexes

# Terminologie:un évènement

## Evènement

Ensemble des valeurs des mesures effectuées pendant **un phénomène physique** qui s'est déroulé à **une date particulière dans le temps**.

Un sous ensemble des données d'un évènement est un **fragment d'évènement**

Exemples:

Accélérateur : données associées à une collision

Astroparticules : données associées à une gerbe ou à la trajectoire d'un muon

## Temps mort

Temps pendant lequel des **données sont perdues ou jetées** parce que le système d'acquisition est bloqué ou en surcharge.

# Dimensionnement et temps mort

## Spécifications => dimensionnement:

### Flux d'entrée :

volume des données d'entrée

loi de distribution de leur arrivée: périodique, aléatoire, rafale  
(bande passante moyenne, taille des tampons)

**Traitement à effectuer:** durée et distribution des durées (puissance)

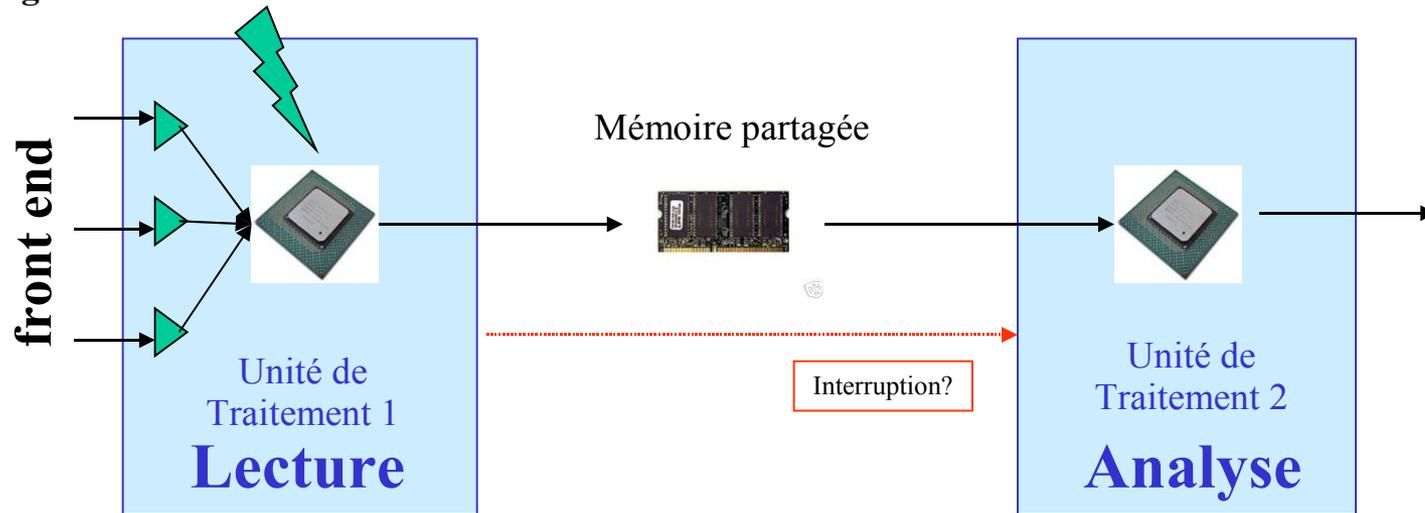
**Volatilité des données:** Durée de disponibilité dans le frontal (réactivité)

## Performance => Temps mort:

Taux de perte acceptable.

# Blocs fonctionnels de base d'une chaîne DAQ

Signal de déclenchement de la lecture

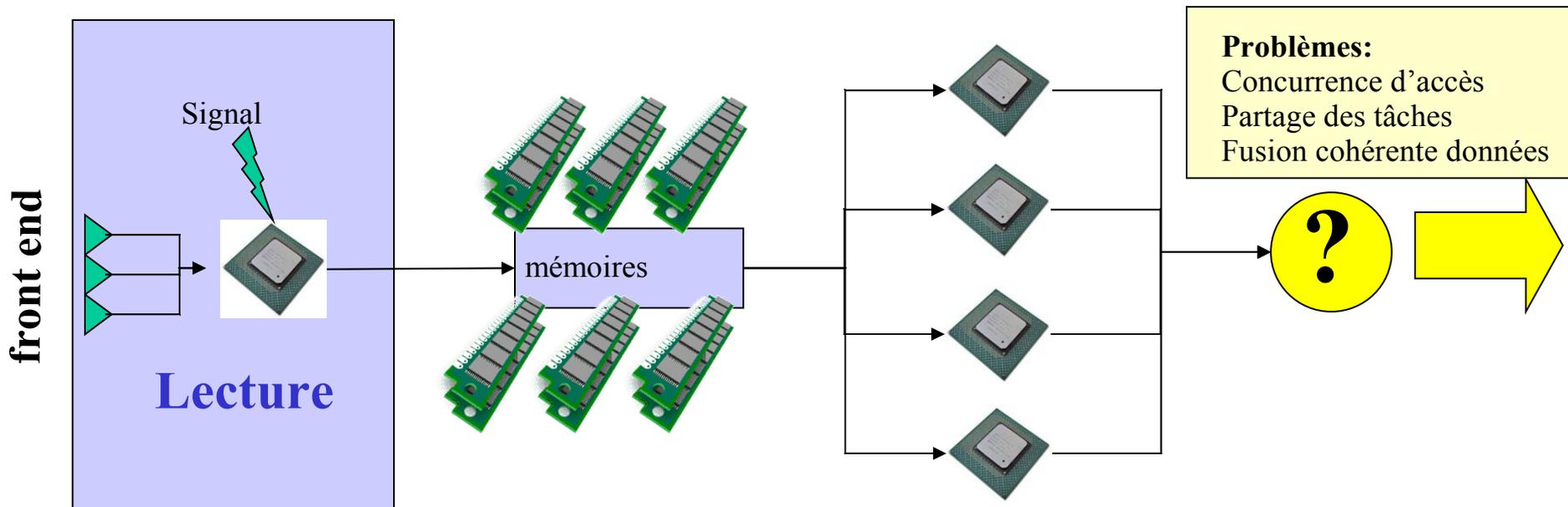


Types d'activation:  
Mode interruption  
Mode polling temporisé  
Polling pur

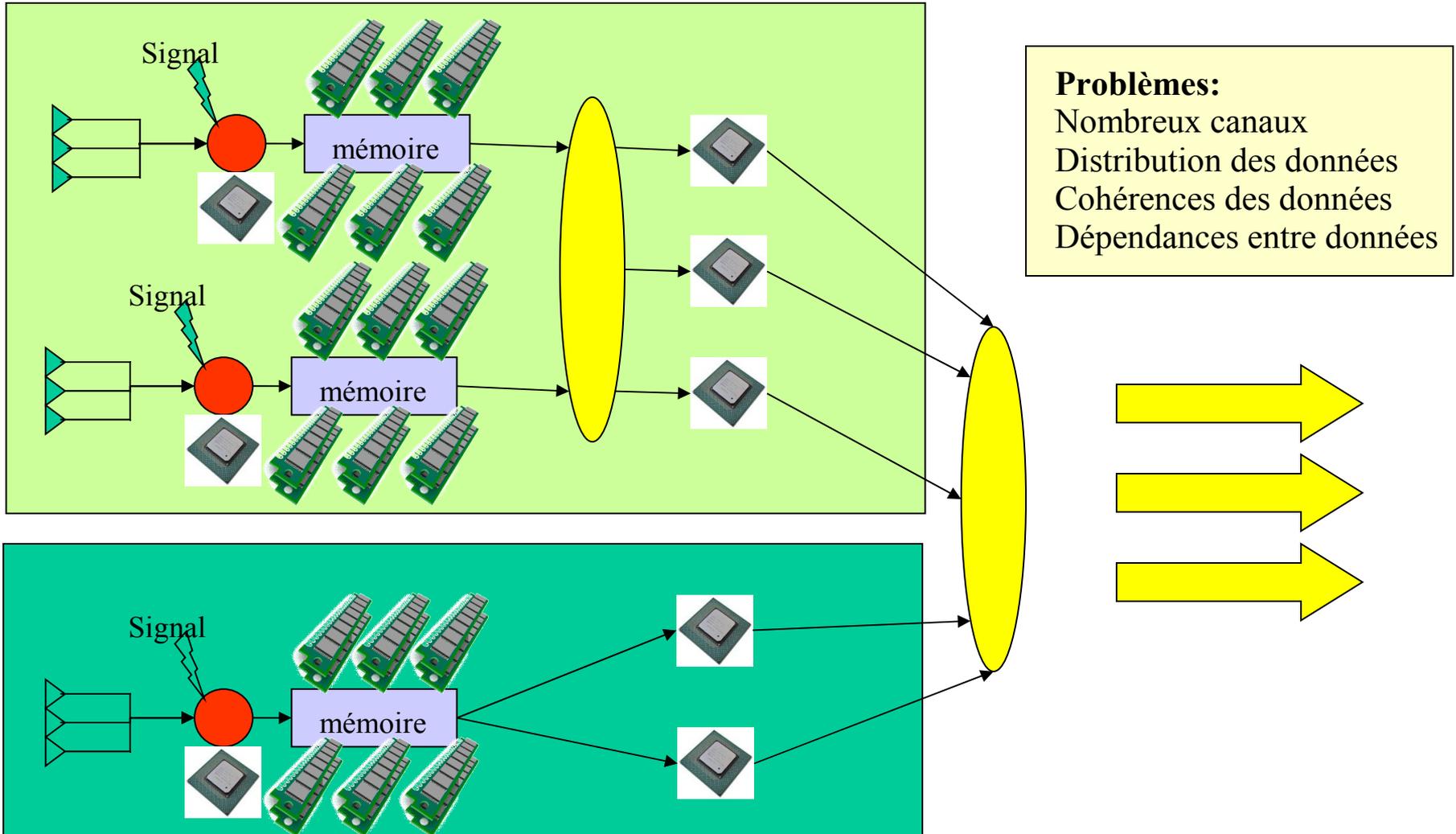
# Blocs fonctionnels de base d'une chaîne DAQ

Si flux régulier Et limité par les temps de traitement Alors  
augmenter les unités travaillant en parallèle  
(exemple moteur DMA pour la lecture, multiprocesseur pour l'analyse)

Si flux irrégulier avec des rafales Alors  
augmenter la capacité des tampons (buffers) pour absorber les rafales



# Blocs fonctionnels de base d'une chaîne DAQ



# Notion d'assembleur d'évènements (Event builder)

**Problème:** quand il y a plusieurs canaux:

- répartis géographiquement
- des chaînes de traitement de durées variables en parallèle

**les délais d'acheminement des données temporellement corrélées (évènements du même évènement de physique) sont très variables selon les canaux.**

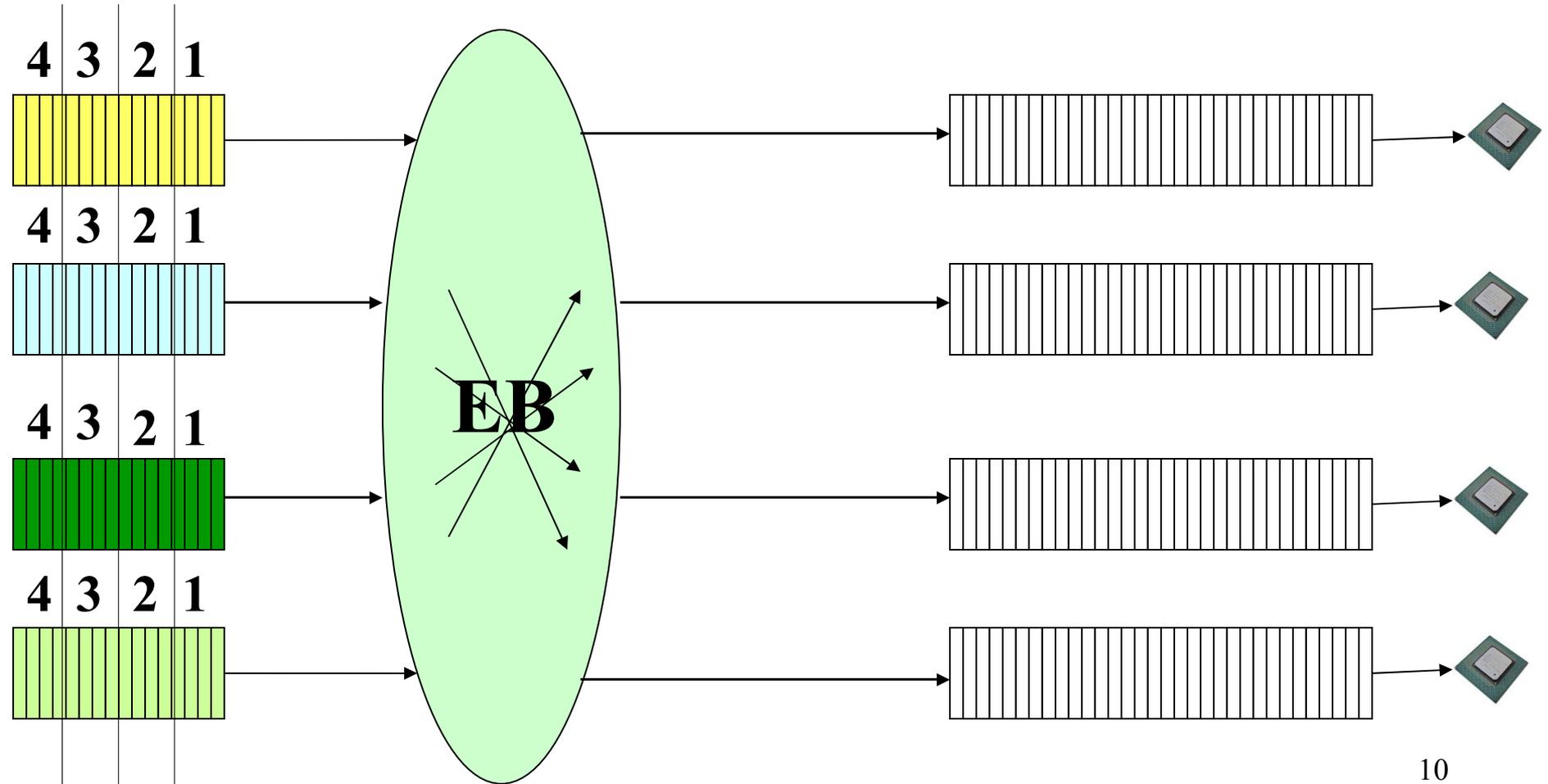
L'event builder collecte et assemble les fragments d'évènements venant de différents canaux en un fragment plus gros de données **appartenant au même évènement**. Le dernier assemblage construit l'évènement complet.

Deux fonctions:

- **assemblage**
- **routage vers plusieurs unités de traitement parallèles**

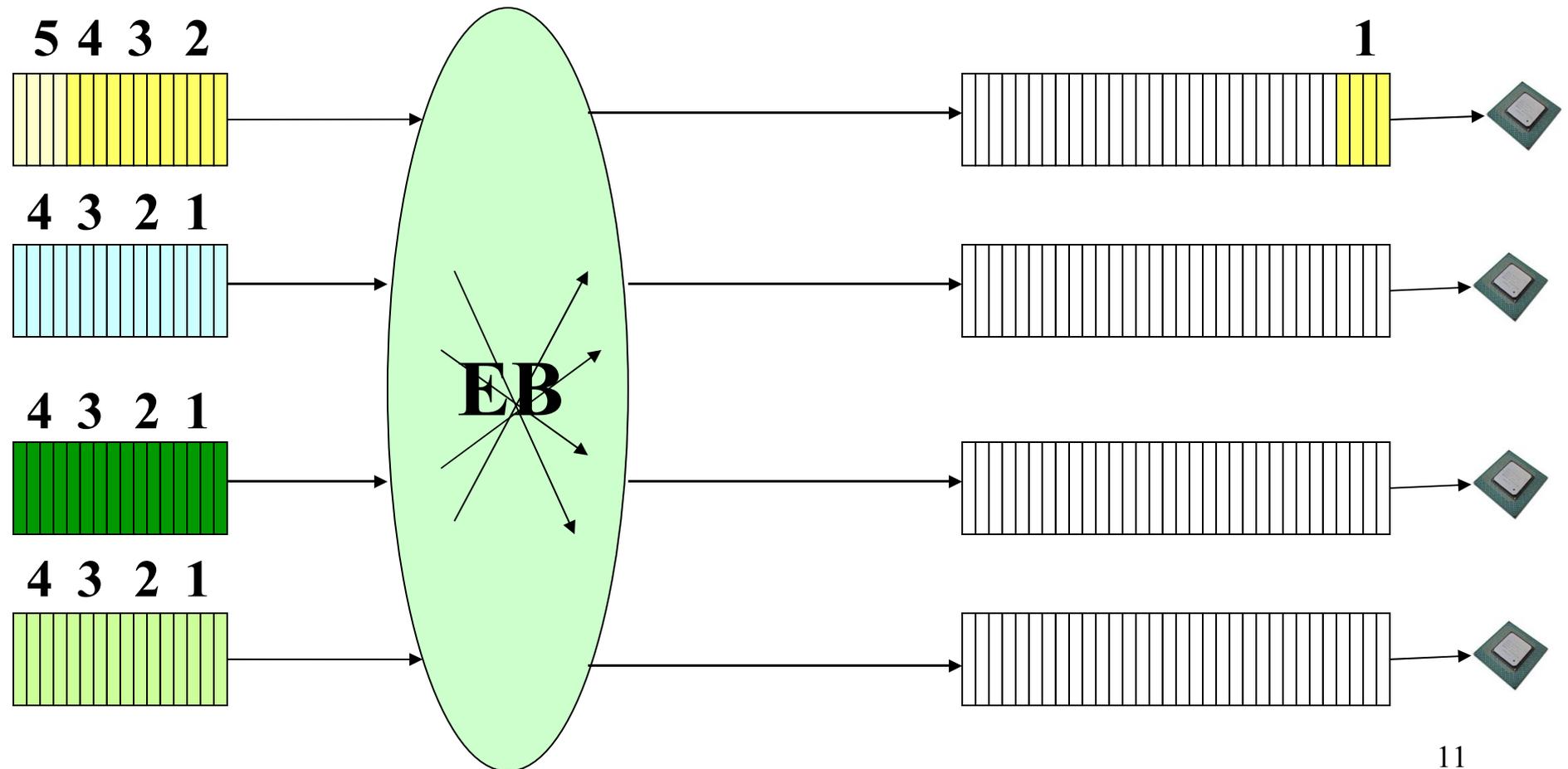
# Event builder

Fragments en attente (la logique FIFO temporisée permet de resynchroniser les flux)



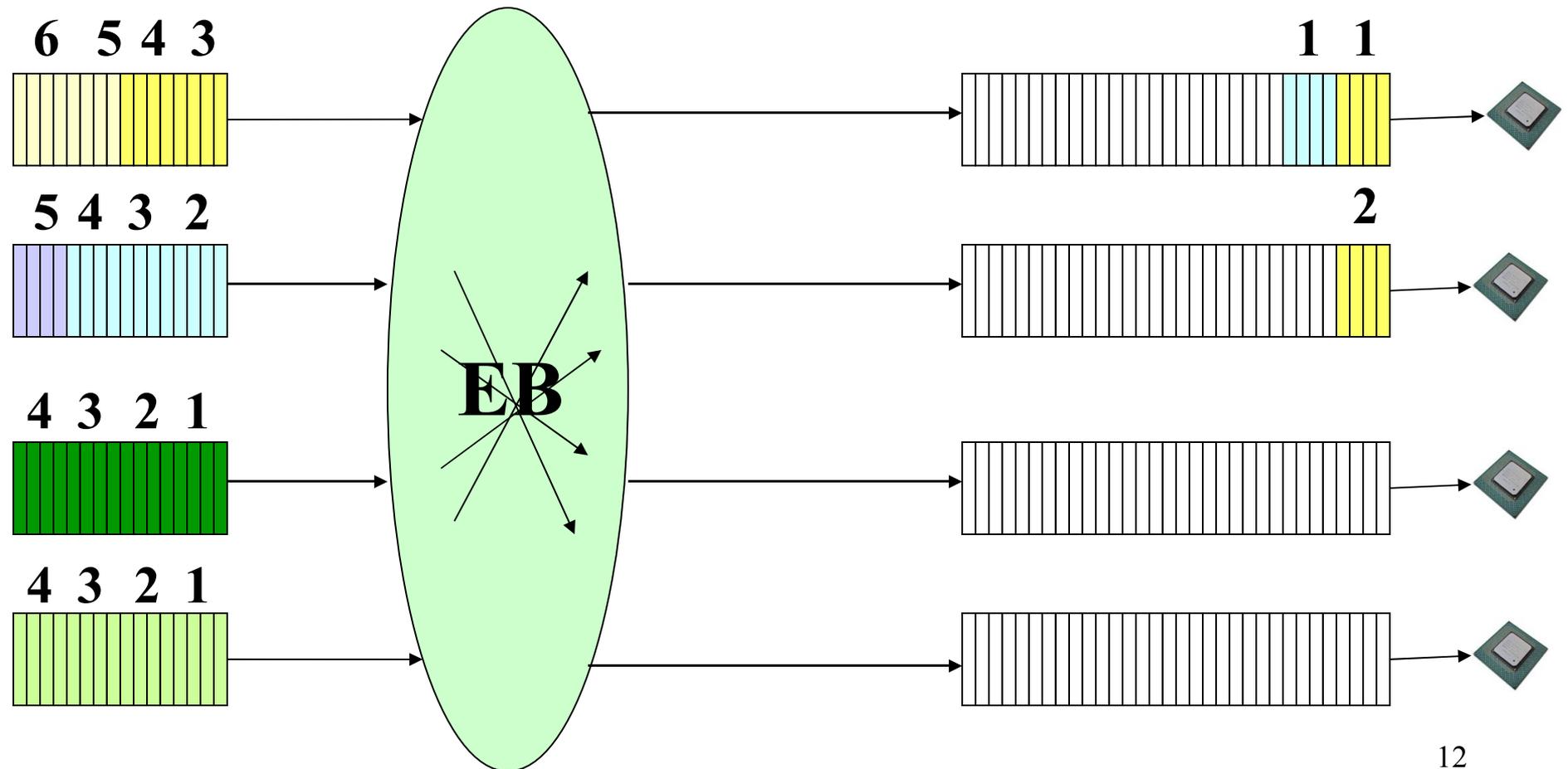
Evt 1 disponible --> affectation à une destination

# Event builder



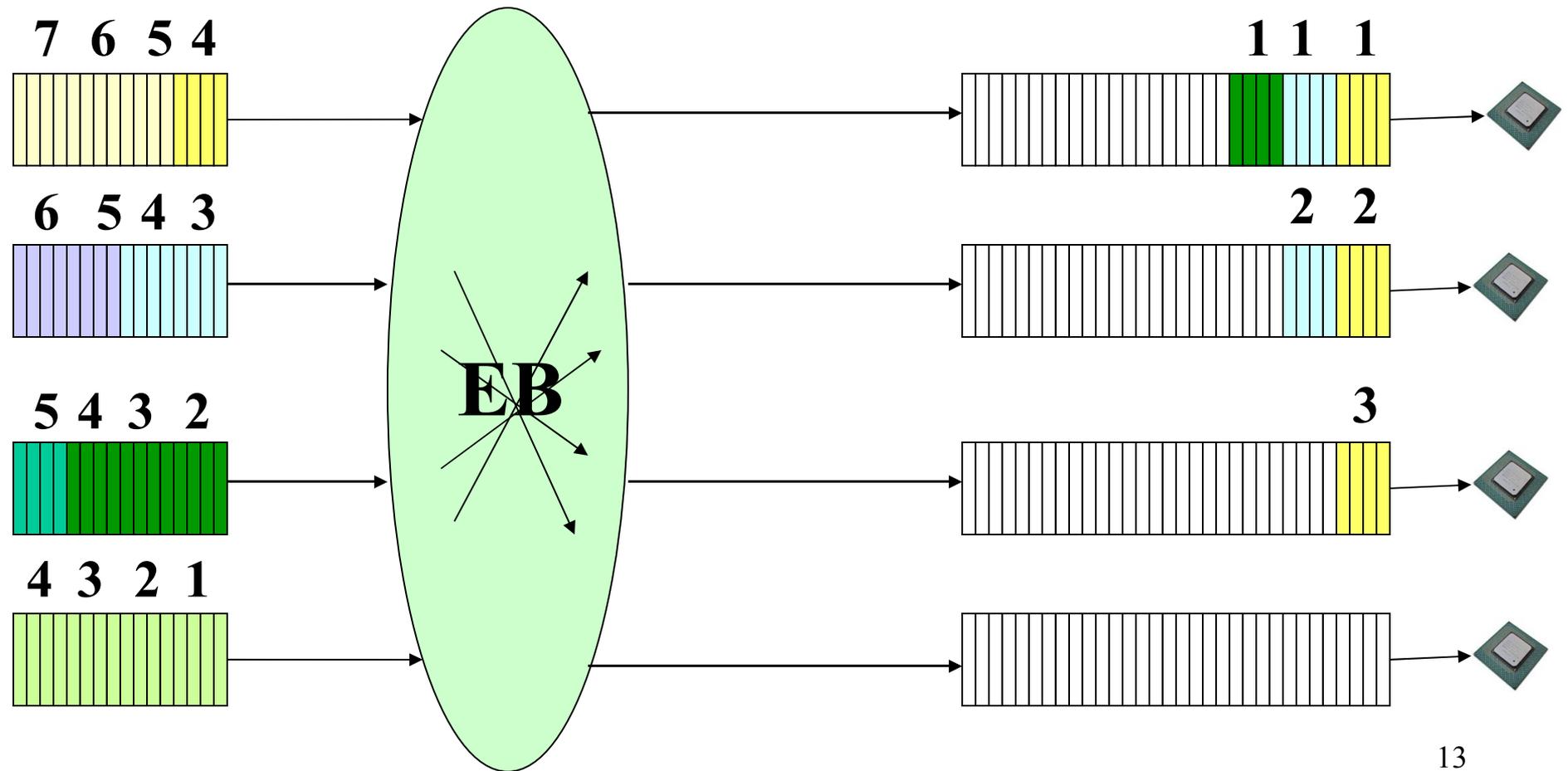
Evt 2 disponible --> affectation à une destination

# Event builder



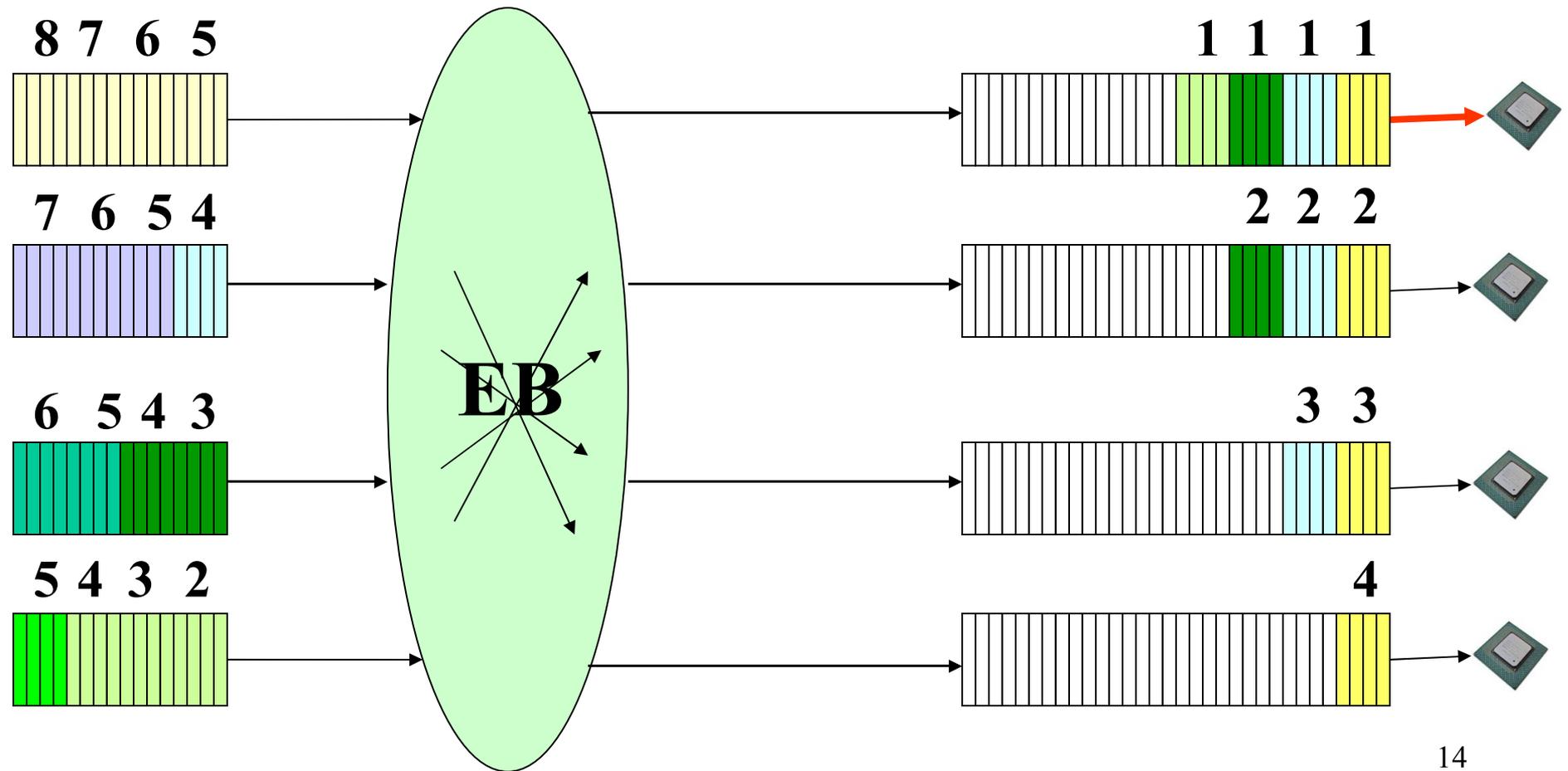
Evt 3 disponible --> affectation à une destination

# Event builder



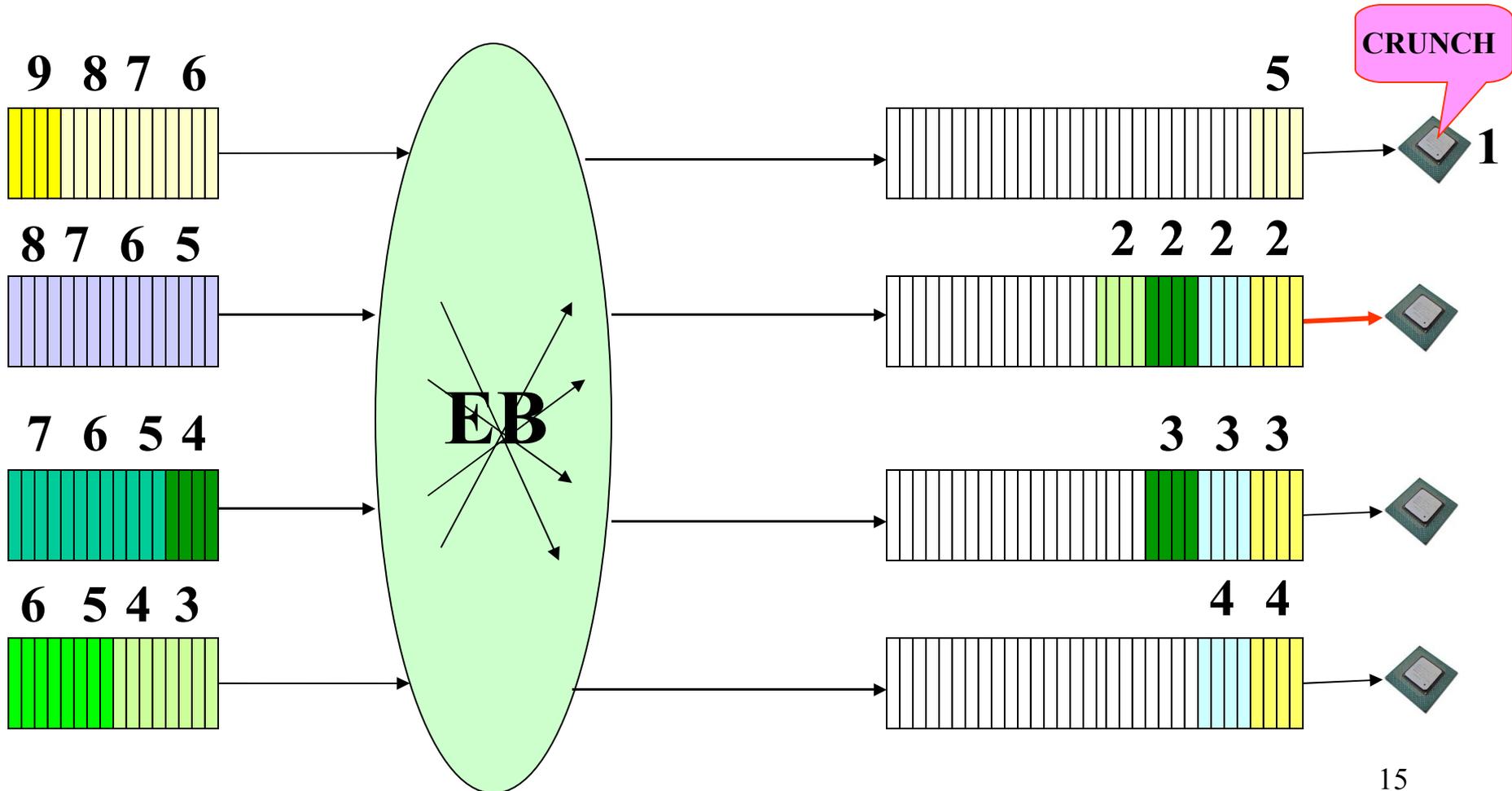
Evt 4 disponible --> affectation à une destination

# Event builder



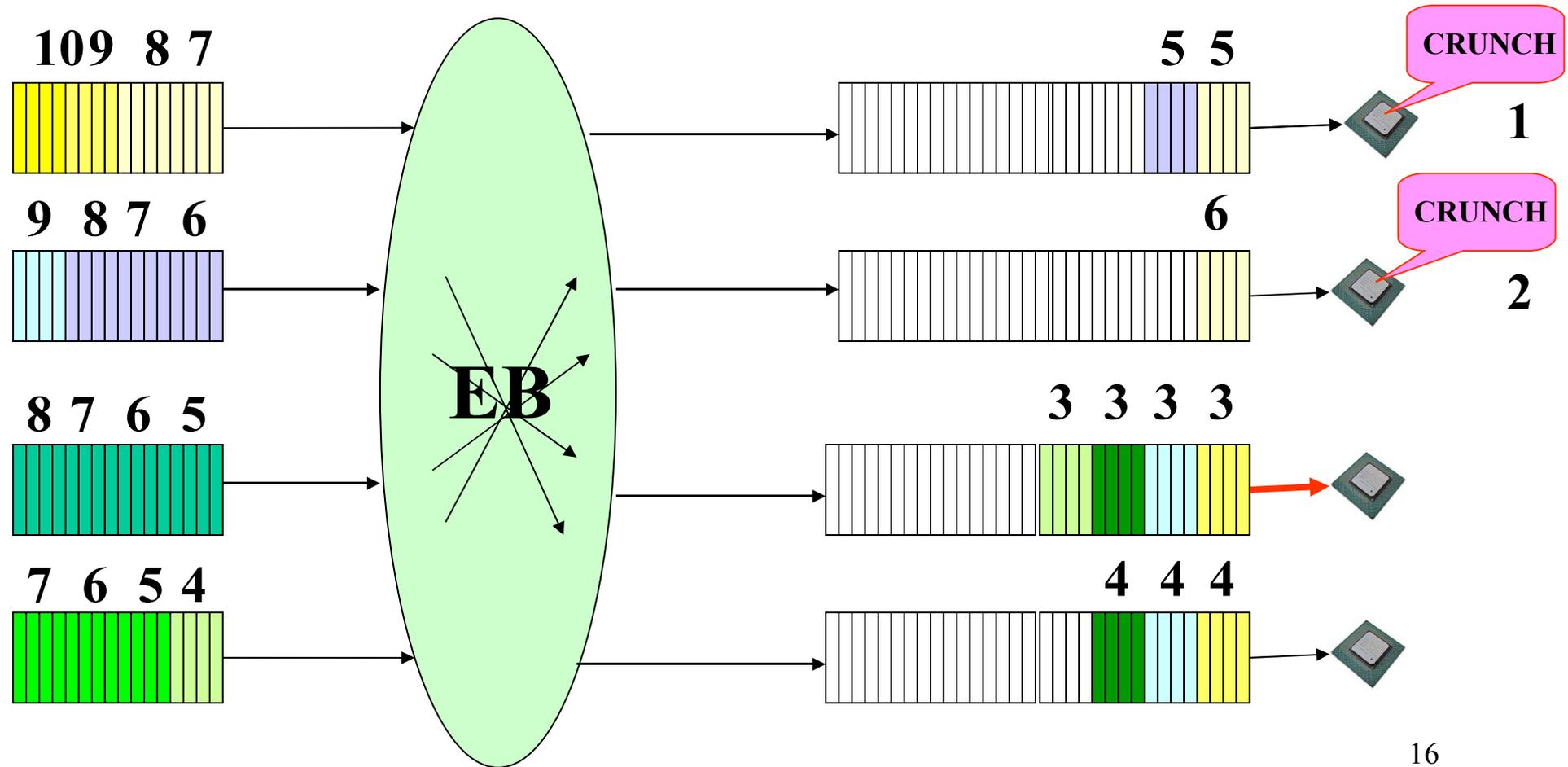
Evt 5 disponible --> affectation à une destination

# Event builder



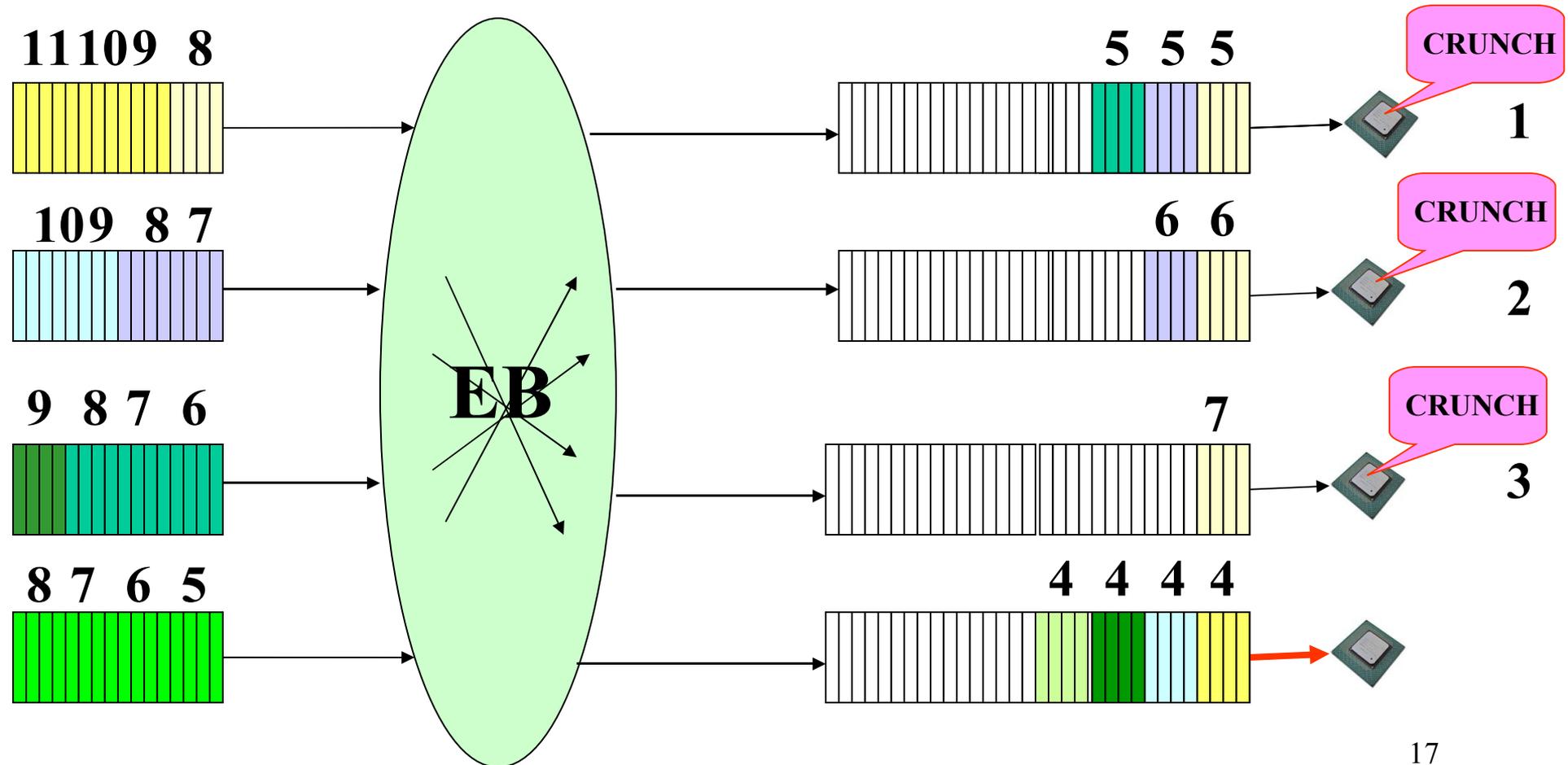
Evt 6 disponible --> affectation à une destination

# Event builder



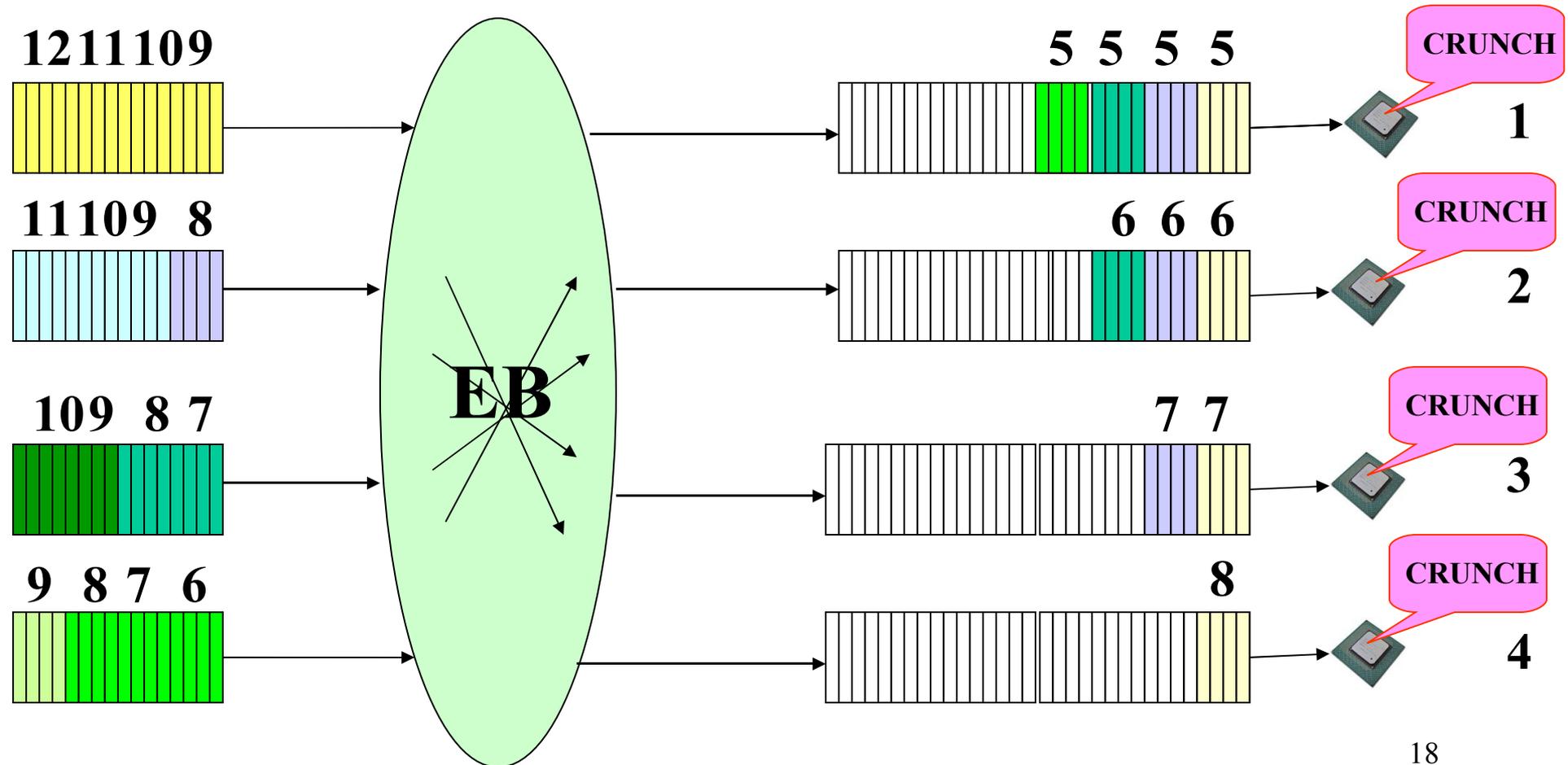
Evt 7 disponible --> affectation à une destination

# Event builder



Evt 8 disponible --> affectation à une destination

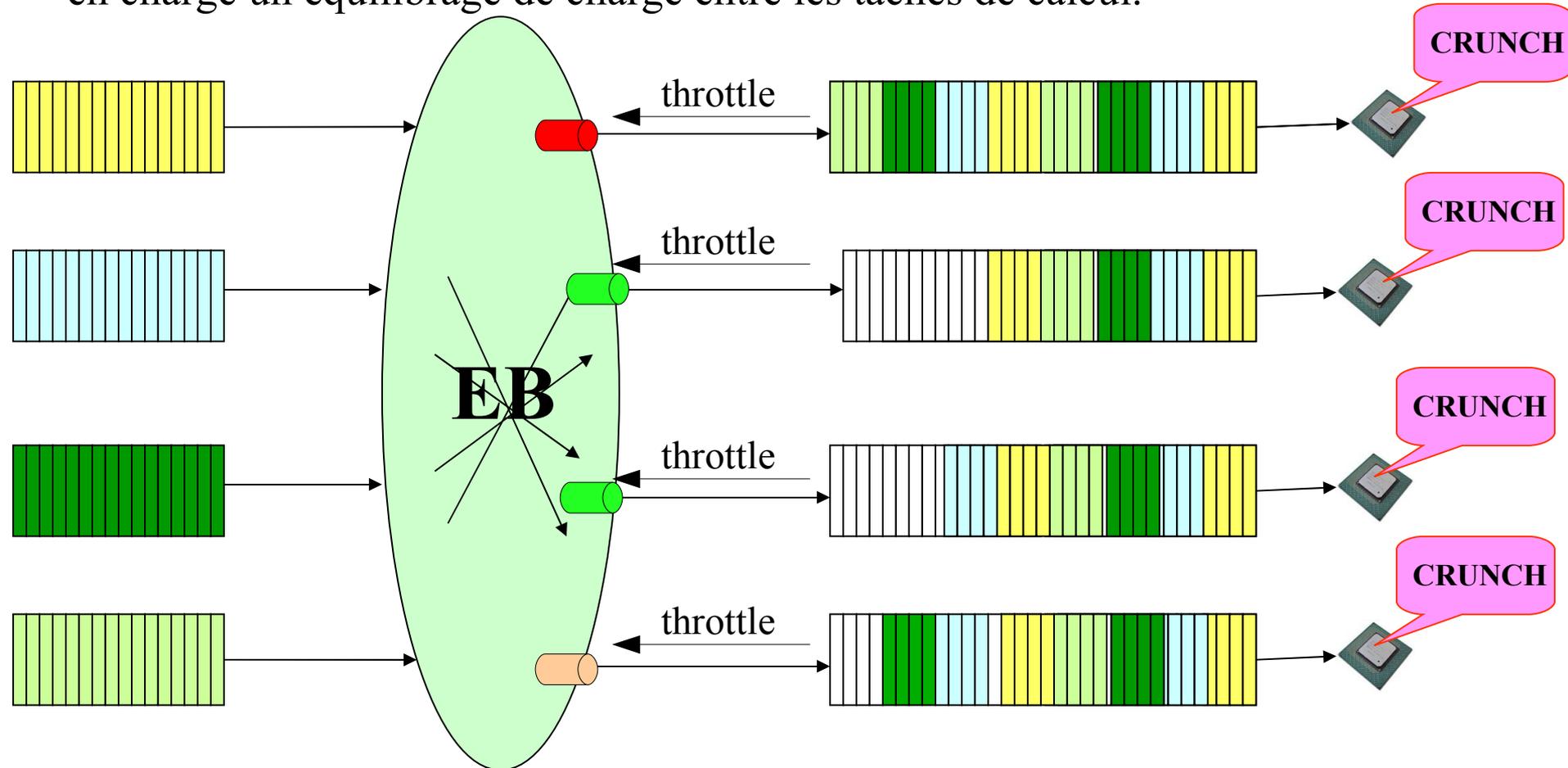
# Event builder



Evt 9 disponible --> affectation à une destination

# Event builder

Une politique intelligente d'allocation des événements aux destinataires doit assurer en charge un équilibrage de charge entre les tâches de calcul.



On supprime temporairement de la distribution les tâches dont la file d'attente est proche de la saturation jusqu'à ce que cette saturation se résorbe

# Notion de sélectionneur (trigger)

Un sélectionneur (trigger) est une unité de traitement qui

sélectionne en ligne (au vol)

les données potentiellement intéressantes pour la physique sur la base de:

- corrélation temporelles ou géographique
- détection de seuil
- forme/reconnaissance de signal

Il assure:

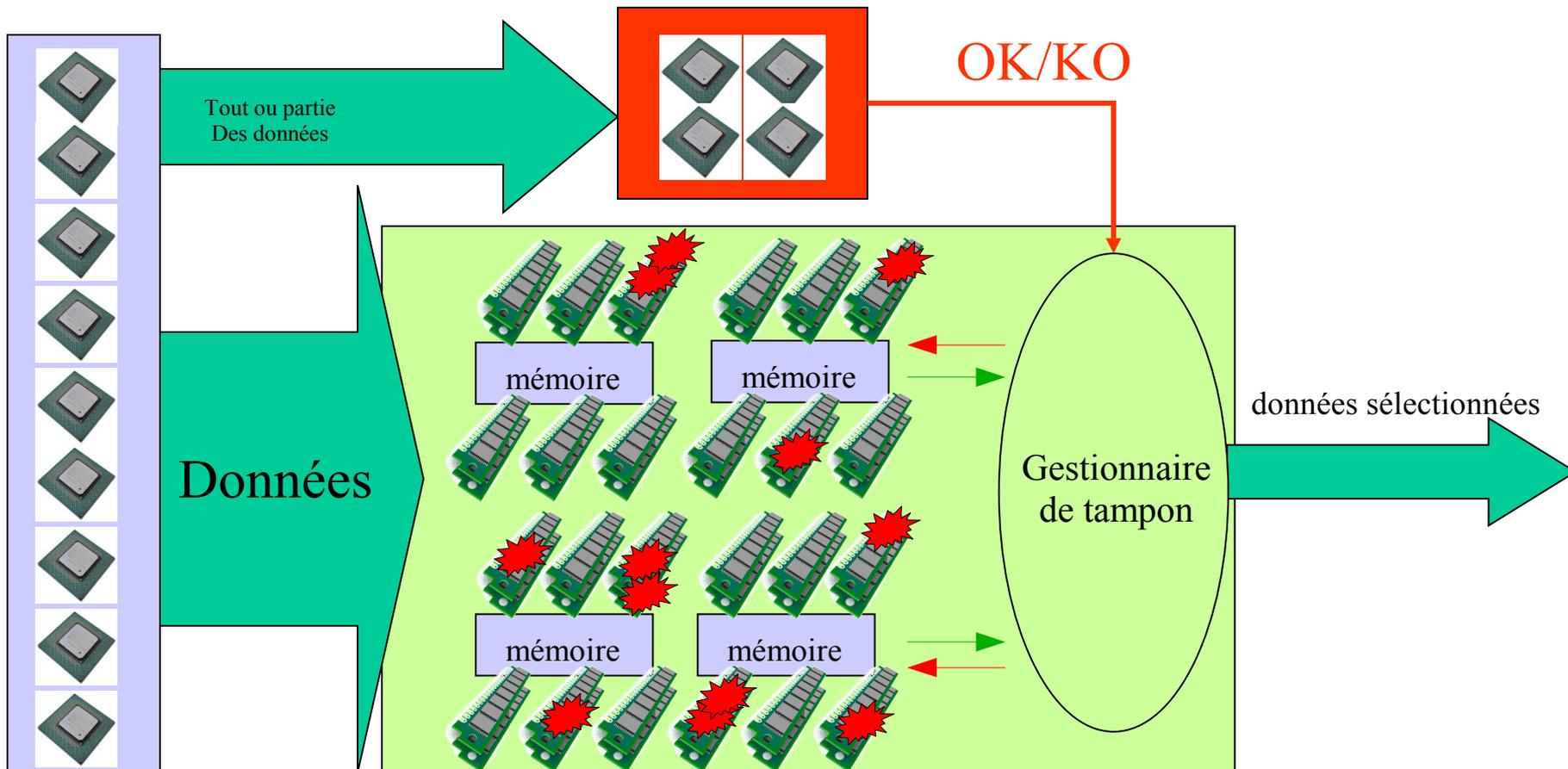
- l'**envoi du signal** de sélection/rejet à d'autres unités de traitement
- l'**ajout de marques** (données d'information ou d'estampillage)

L'objectif est de ne garder et analyser toutes mais que les données potentiellement intéressantes pour une physique particulière (particules et énergies particulières)

**Le trigger peut-être implanté en matériel ou en logiciel (rapidité/complexité)**

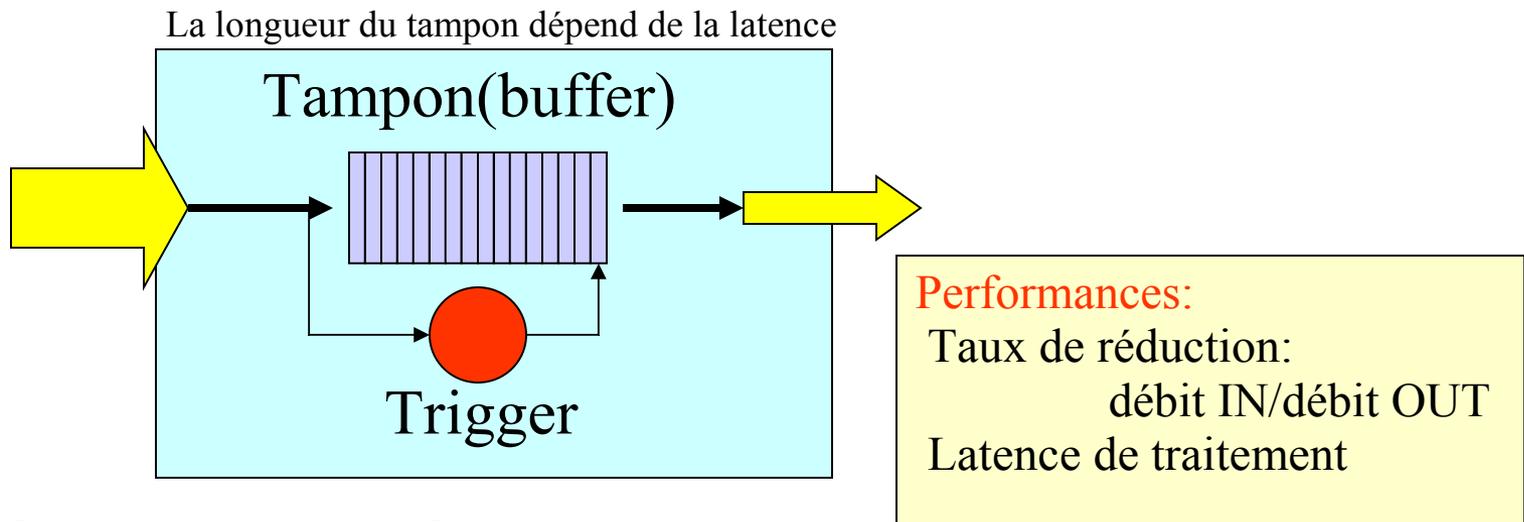
# Notion de trigger

Un trigger a un **temps limité** pour prendre une décision: **Sélection/Rejet**.



# Notion de sélectionneur (trigger)

## Bloc de spécification d'un grand système trigger DAQ:



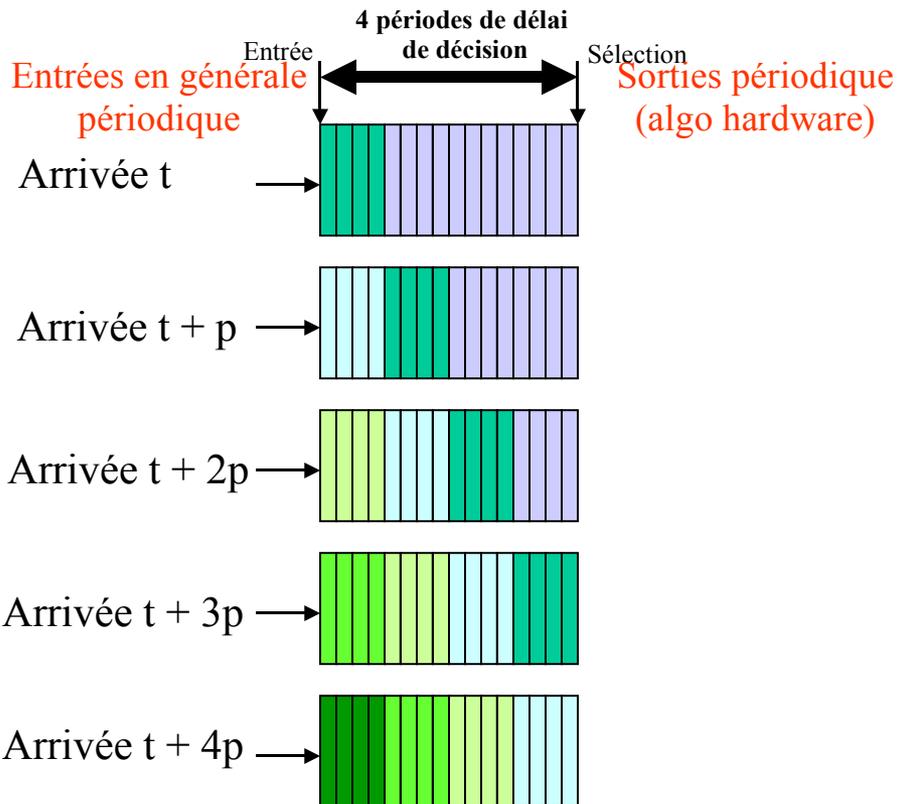
## Bloc synchrone ou asynchrone:

**Synchrone:** le flux d'entrée des données est régulier et le traitement du trigger pulsé par la même horloge avec un délais fixes (électronique numérique)  
(sortie toujours asynchrone)

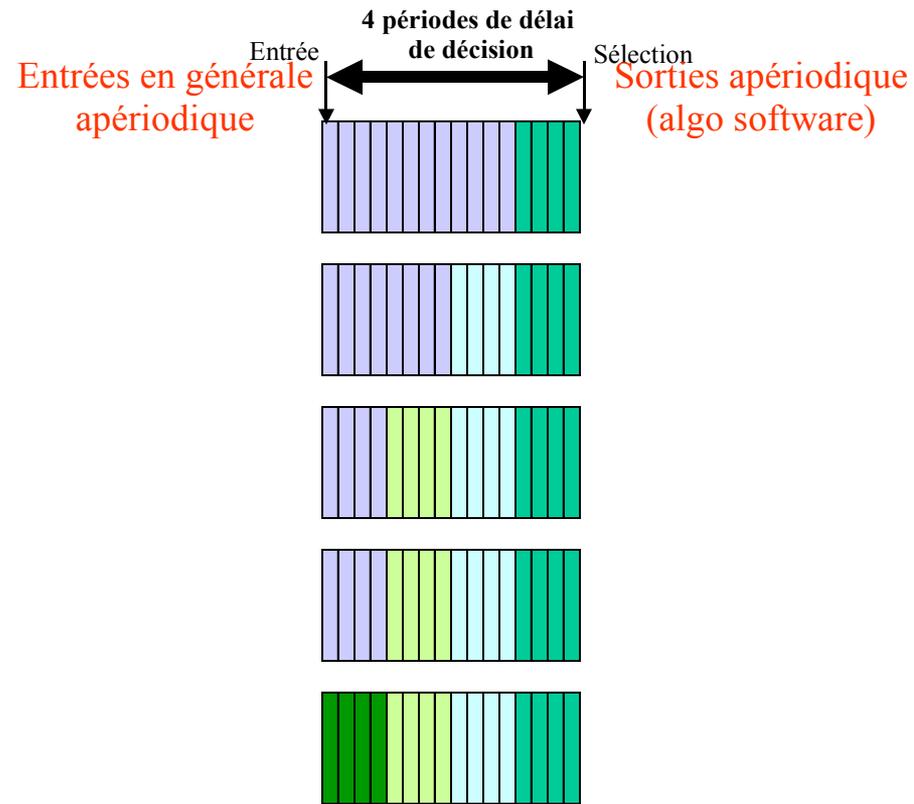
**Asynchrone:** le flux d'entrée est irrégulier (statistique) et le traitement du trigger variable selon le contenu des données (software)

# Notion de sélectionneur (trigger)

## Tampon synchrone



## Tampon asynchrone

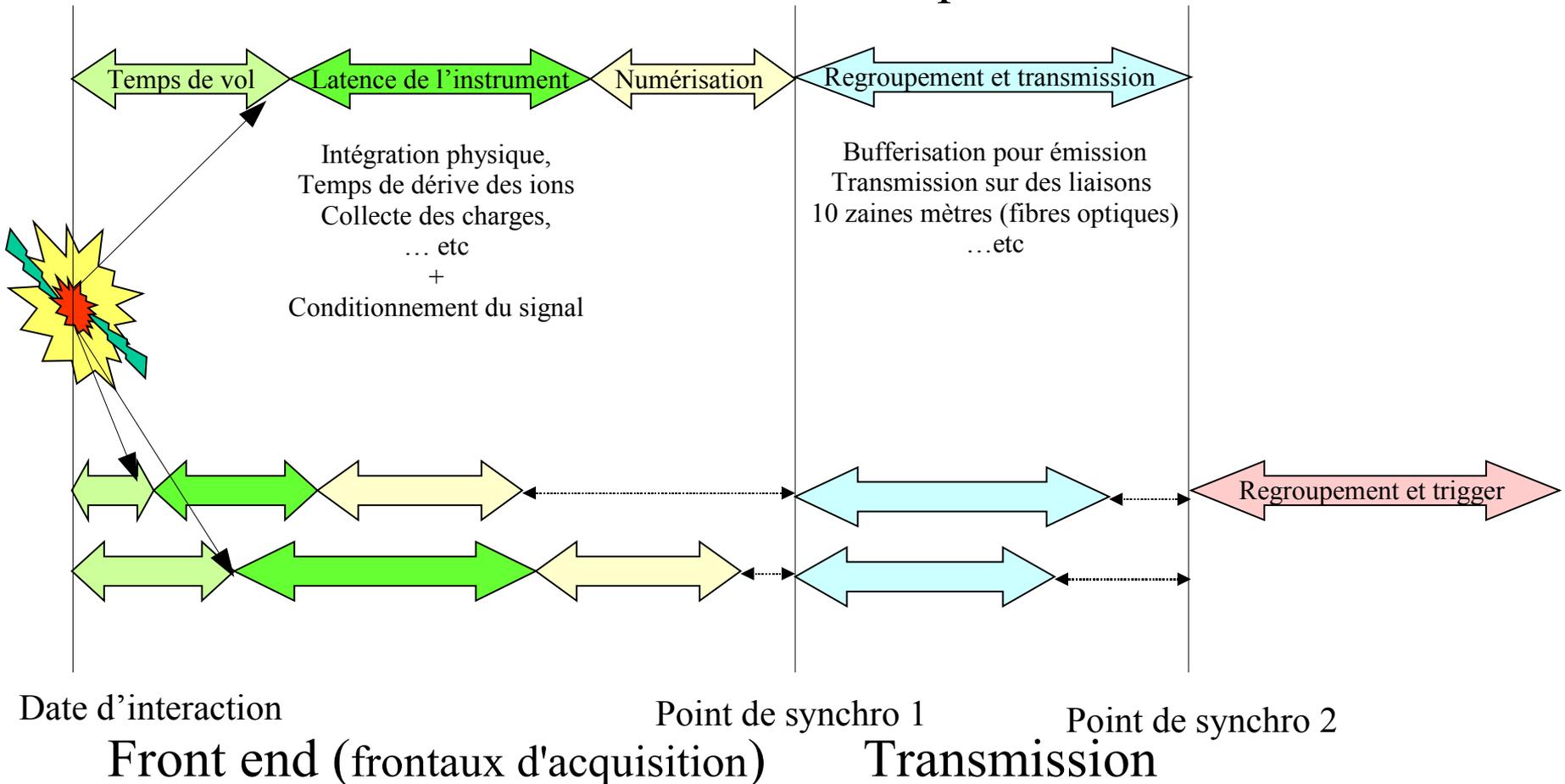


Tampon plein=> risque de perte

# Mise en temps - synchronisation

Délais très variable dans les canaux d'acquisition de l'électronique frontale: Mise en temps

Échelle du temps



# Identification des données datation - horloge

## **Deux approches:**

- numéro séquence (associé à un numéro de collision sur accélérateur)
- estampille temporelle (horloge commune synchronisée)

## **Difficulté:**

La distribution en parallèle à des composants géographiquement répartis sur une grande échelle d'un signal d'horloge très précis (ns)

Systeme spécifique souvent associé à la diffusion de messages de contrôle courts (une horloge est un cas particulier signal/message)

# Éléments de spécifications

## Données:

- Nombre de canaux en entrée
- Débit d'entrée sur les canaux
- Lois d'arrivée (périodique ou non, paramètres)

## Traitements

- Taux de perte accepté (temps mort)
- Complexité des calculs
- Durée (statistique, stabilité)

**Budget disponible**

Performances

Contraintes

TDAQ  
système

## Contraintes d'usages:

- Contraintes d'environnement (hostile ou normal : radiations, satellite, sous-marin ...)
- Contraintes d'exploitation (continue, saisonnière)

## Contraintes techniques:

- Évolutions prévues (extensibilité)
- Exigence d'utiliser certains composants ou de respecter certaines normes

# Éléments/guides de conception

Choisir les technologies en partant des moins chères:

- composants standards du marchés grand public

- composants standards de marchés spécialisés avec des spécifications proches

- composants maison

Adopter les standards

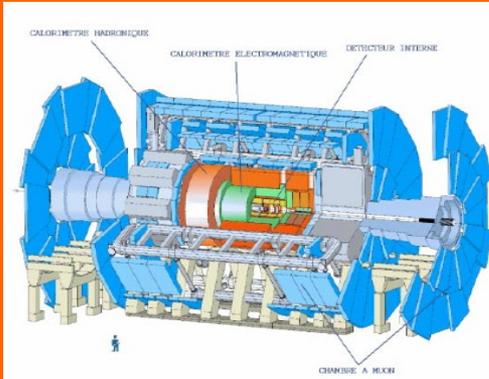
Faire un maximum de chose en logiciel (évolutivité, durée du cycle de réalisation)

Minimiser les développements spécifiques matériel (préférence firmware (FPGA))

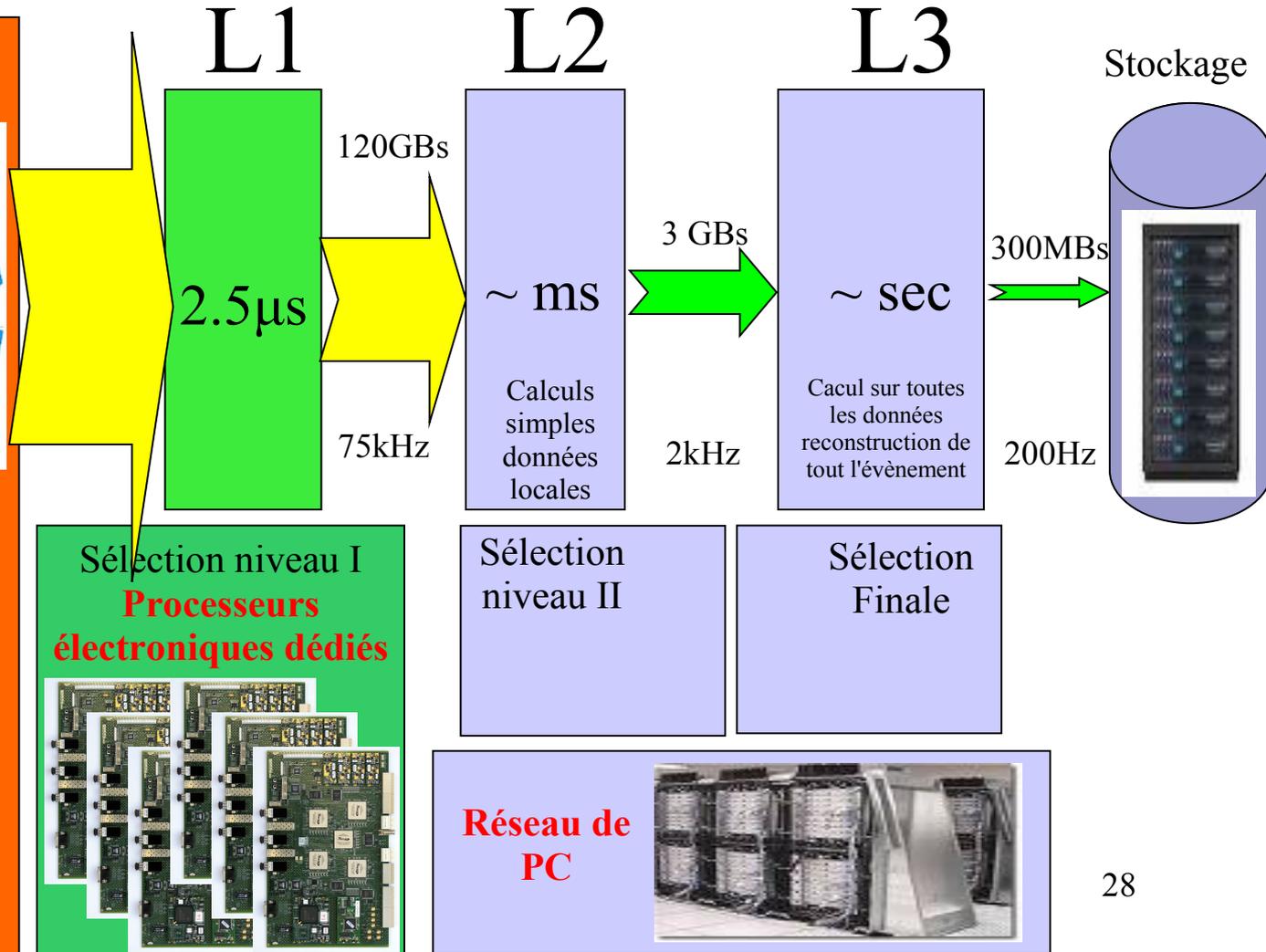
Fractionner le système en sous blocs pour localiser les développements spécifiques/critiques

# Architecture d'une grande expérience (ATLAS)

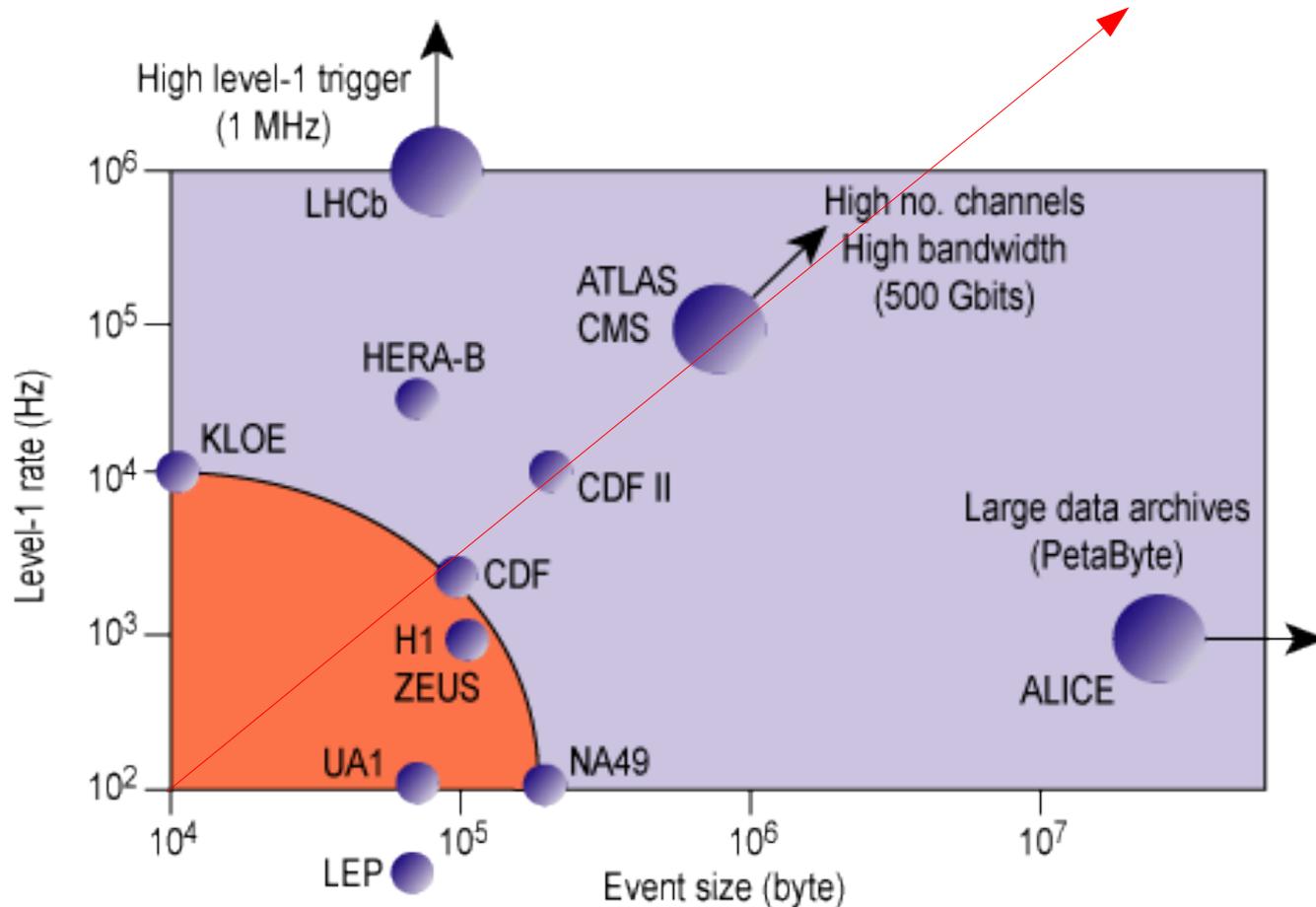
LHC=40MHz



Electronique frontale  
et numérisation  
(front end)



# Performances des grandes expériences



# Les bancs de test en physique nucléaire et des particules

Objectifs des bancs de test  
Fonctions à fournir aux utilisateurs  
Modes de fonctionnement

# Les bancs de test en physique nucléaire et des particules: objectifs

- 1-Étude d'un morceau de détecteur
- 2-Étude d'un procédé de détection ou validation
- 3- Étude de prototype de chaîne d'acquisition

Test physique: élément de détection soumis à une source ou en faisceau

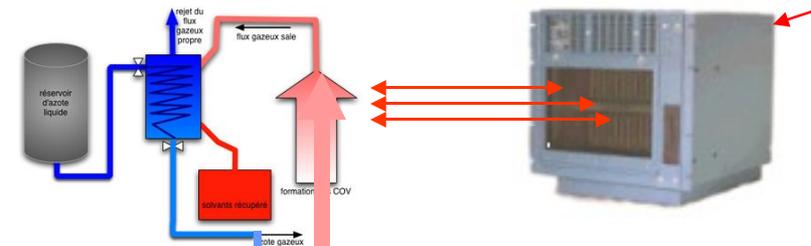
Test technique: chaîne de composants d'acquisition lisant des données  
prédéfinies

Cela peut-être une mini expérience en soit: exemple les tests en faisceau  
des sous-détecteurs pour le LHC.

# Acquisition de données:

banc de test

contrôle d'environnement/détecteur  
(Slow control)

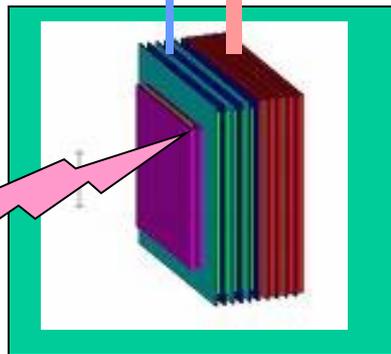


monitoring

Contrôle d'acquisition **slow control**  
(run control)



paramètres



données

Plusieurs points de mesures



Données sélectionnées



Archivage

# Acquisition de données: Calibration

**Mode de fonctionnement particulier:** la calibration

Caractérisation de l'instrument de mesure: procédé + chaîne DAQ

- bruit de fond (à vide)
- stimulations connues à l'entrée de la chaîne de mesure
  - électrique ( sensibilité, linéarité, réponse en fréquence, rampe, échelons temporisés, influence réciproques)
  - optique (laser)

En calibration toutes les données doivent être prises et cela conduit sur les gros détecteurs à des volumes très importants. Ces données sont archivées et exploitées pour corriger les mesures (off-line).

# Trigger et acquisition de données

## Exemple: l'expérience LHCb

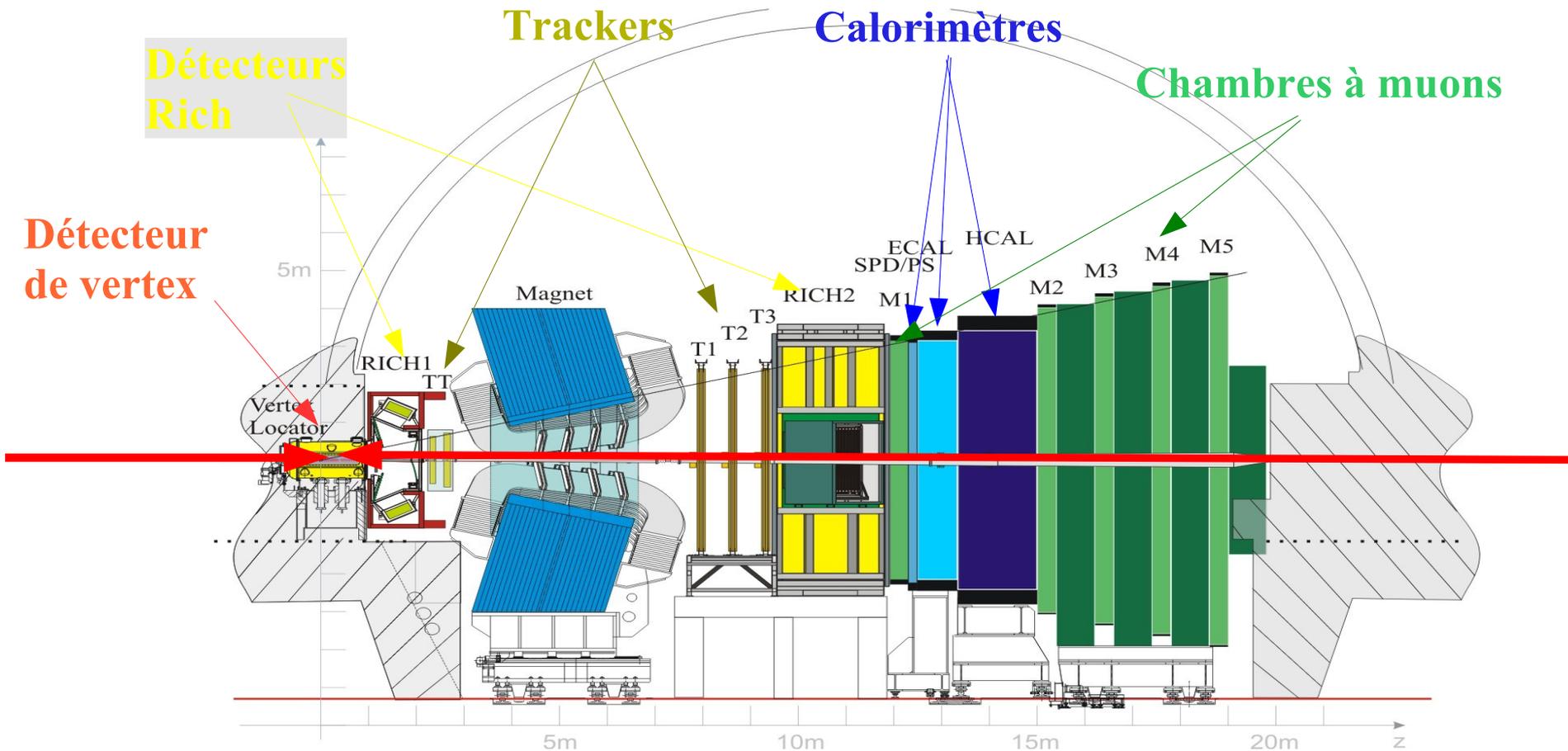
*Pierre-Yves Duval (CPPM)*





# L'expérience LHCb

## Physique des mésons B pour l'étude de la violation de CP





# Fonctions du système de sélection et d'acquisition

## Extraction des données du détecteur

- lire des mesures de capteurs après numérisation **1,2 millions de canaux**

## Sélection de celles qui sont intéressantes pour les physiciens

(**100kHz bb\_pairs mais interactions intéressantes de l'ordre du Hz**)

- Trouver des critères de sélection et les appliquer au flux de données reçues

## Formatage et stockage de ces données

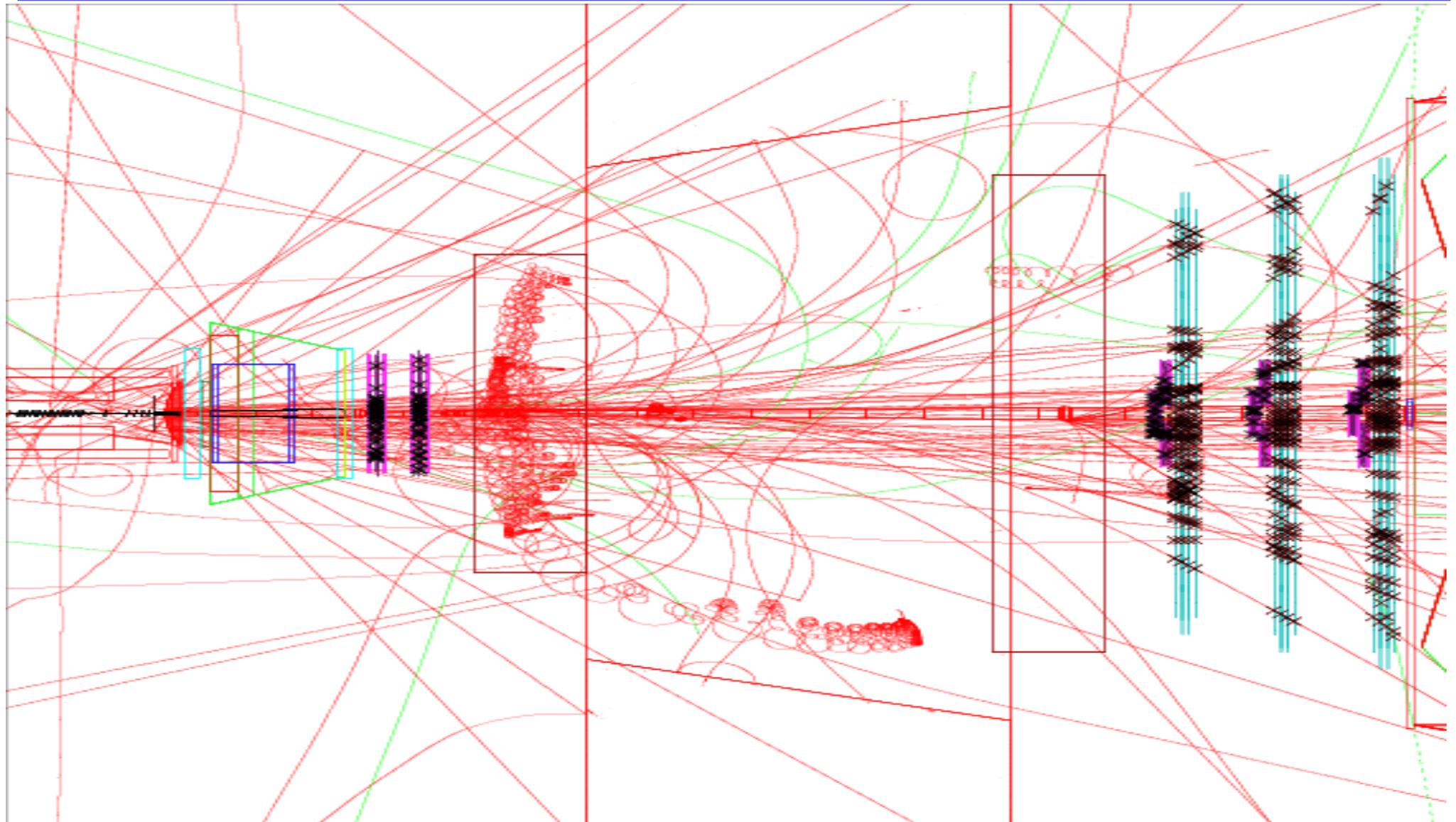
Ces fonctions sont implantées avec une combinaison de:

- composants électroniques numériques (cablés)
- composants informatiques (exécutant des programmes)
- inter-connexions ou réseaux plus ou moins spécialisés

Tendance générale à utiliser de plus en plus de composants commerciaux standards (COTS)



# Fonctions du système de sélection et d'acquisition





# Spécifications des flux et délais

Modèle de réduction par étage:

Niveau 1 (L0+L1)

Niveau 2 (L2)

Niveau 3 (HLT)

**40 MHz**  
1.2 million canaux

**1 Mhz**  
40000 canaux  
50 Gb/s

**40 KHz**  
4 GB/s

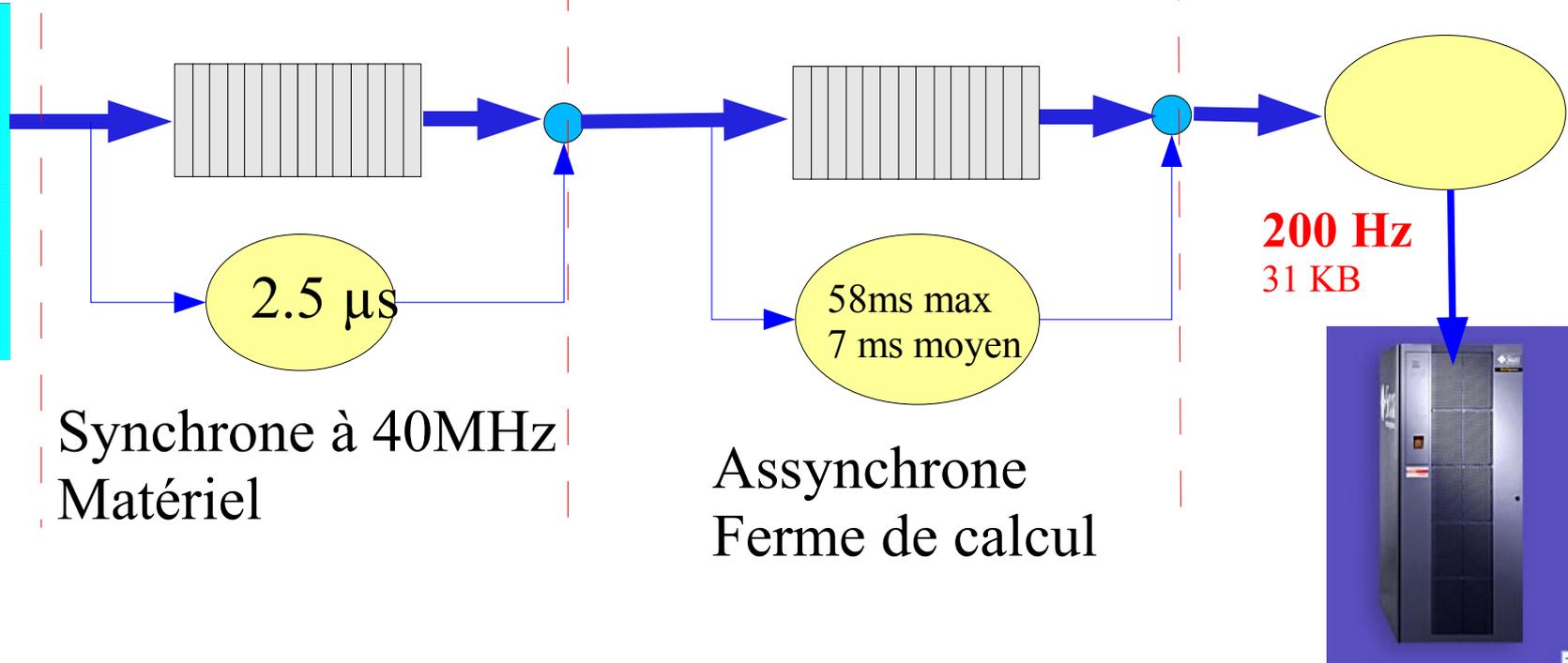
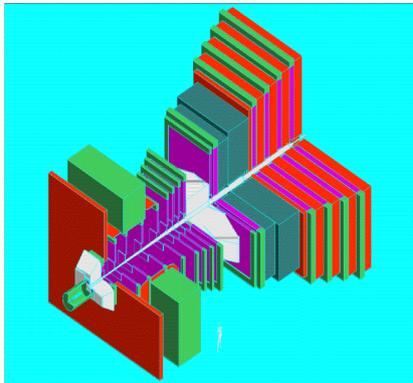
**200 Hz**  
31 KB

2.5  $\mu$ s

58ms max  
7 ms moyen

Synchrone à 40MHz  
Matériel

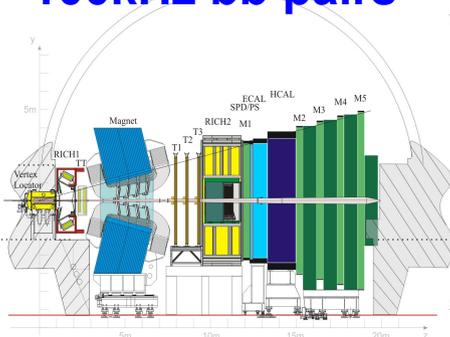
Assynchrone  
Ferme de calcul





# Vue générale de l'acquisition

Collisions visibles  
12 MHz  
100kHz bb pairs



1.2 million canaux

## Trigger Matériel (L0)

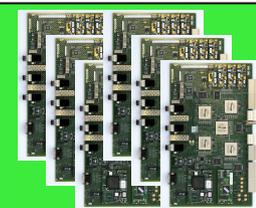
“hauts pt et énergie déposée” calorimètre & chambres à muons  
rejet des évènements surchargés

## Trigger Logiciel (High Level Trigger)

HLT niveau II: produits partiels de désintégration de B

HLT niveau III: reconstruction totale des traces de désintégration de B

### L0+L1



2.5 $\mu$ s  
Trigger L0  
et  
compression

Lecture du détecteur  
1 MHz

~50Gbs

### HLT(L2+L3)



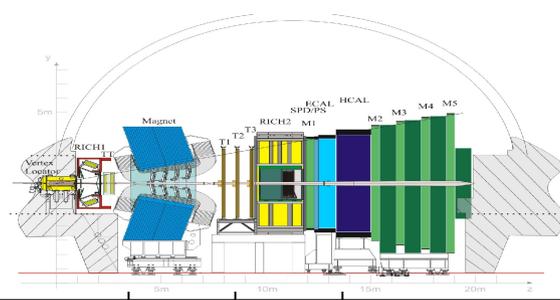
~ ms	~ sec
Simple processing on local data	Global processing full event reconstruction

2kHz

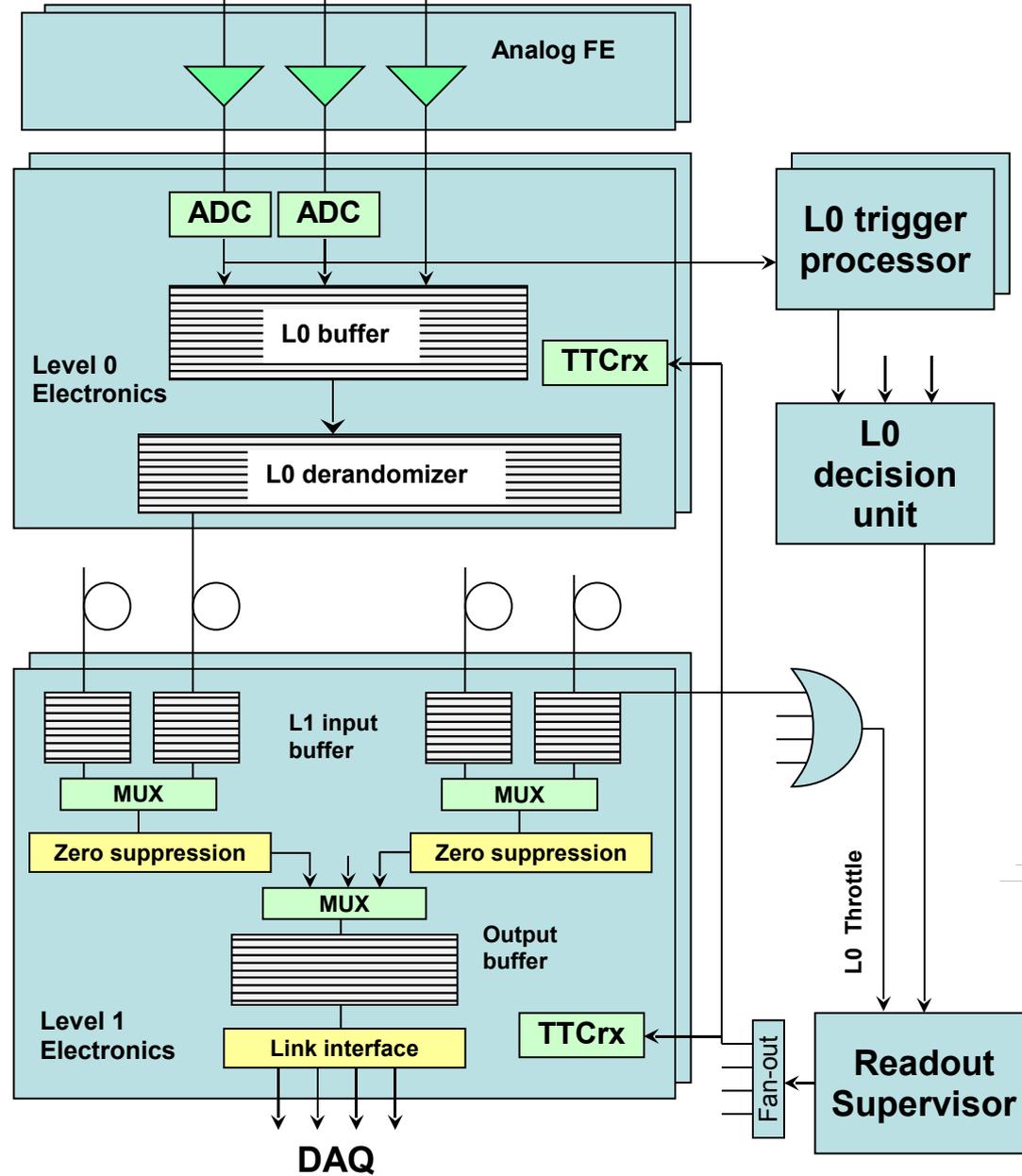
Stockage



Event building



# Architecture fonctionnelle de sélection L0 et L1



# Sélection au niveau L0

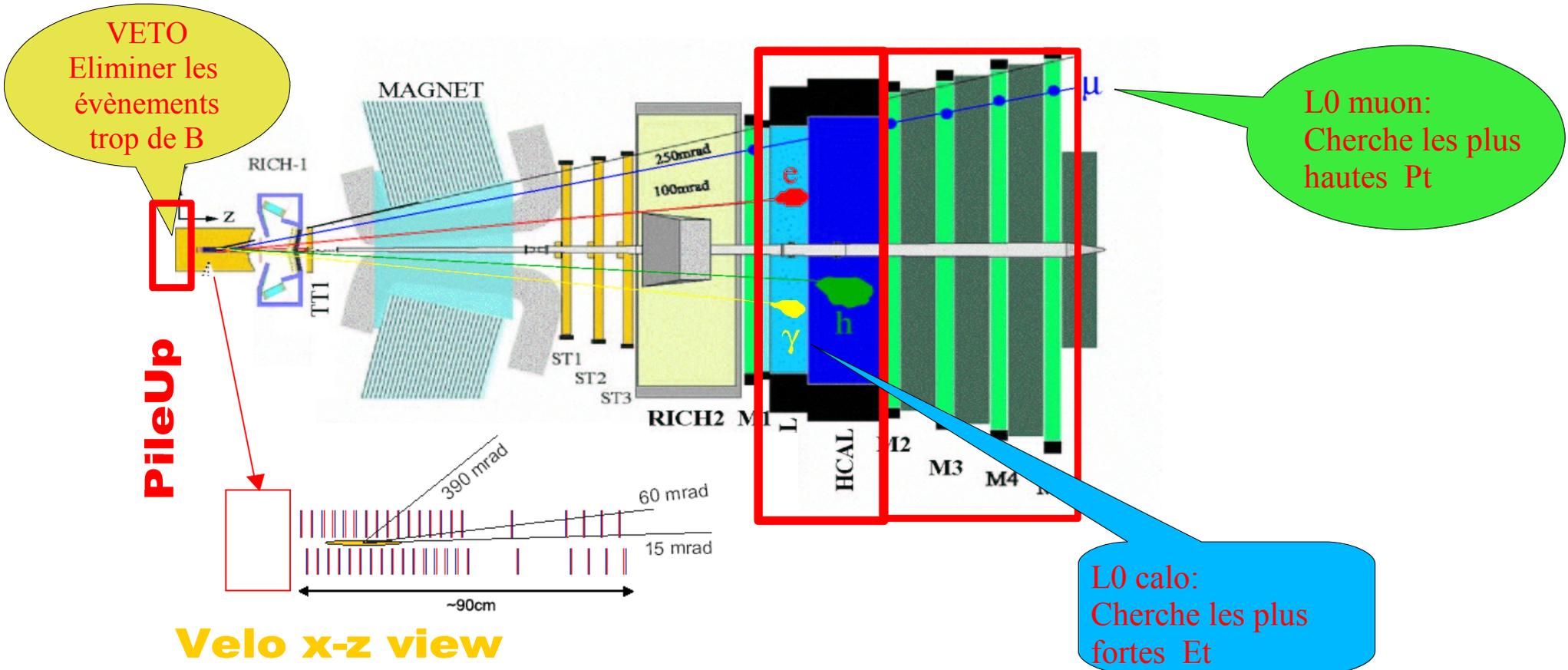
Données de 3 détecteurs avec 3 L0 triggers locaux: calorimètres, muons et veto d'empilement

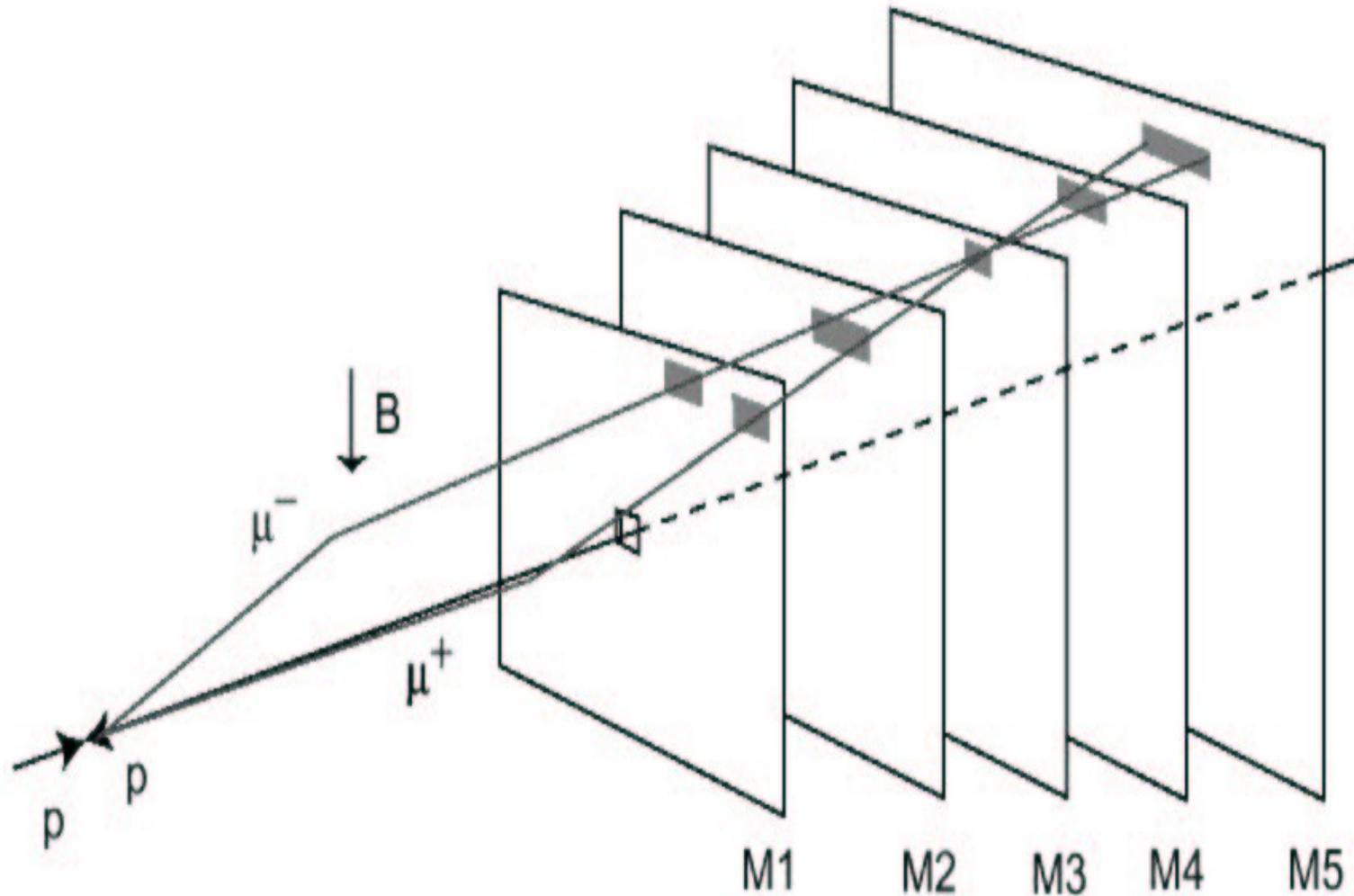
Décision finale par l'unité de décision L0 (règles paramétrables):

Exemple:

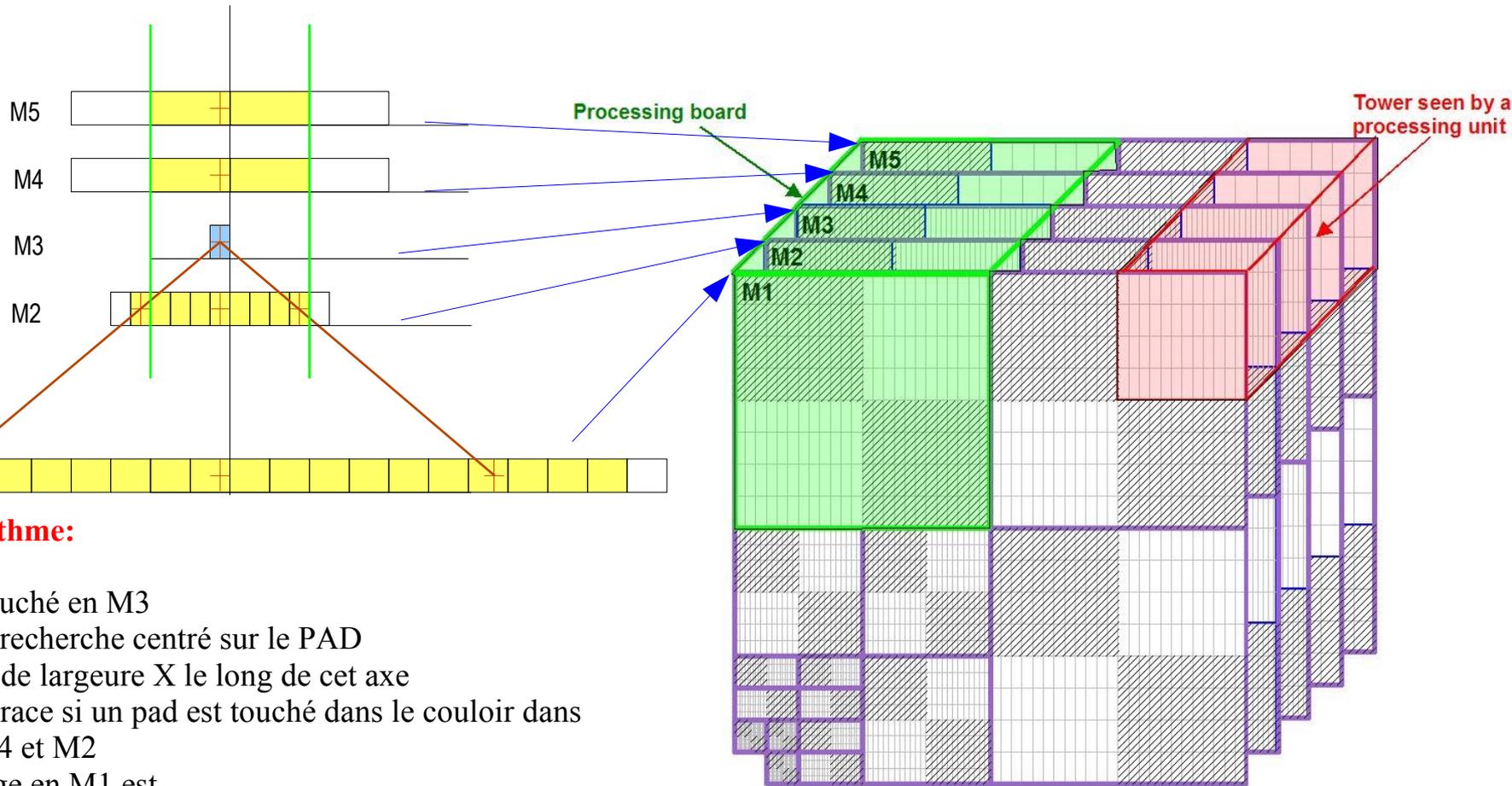
SI ( candidats avec  $E_T$  OU  $P_T >$  seuil ) ET (une seul interaction BB)

ALORS selection de l'évènement





Les trajectoires des muons et les pads de détection



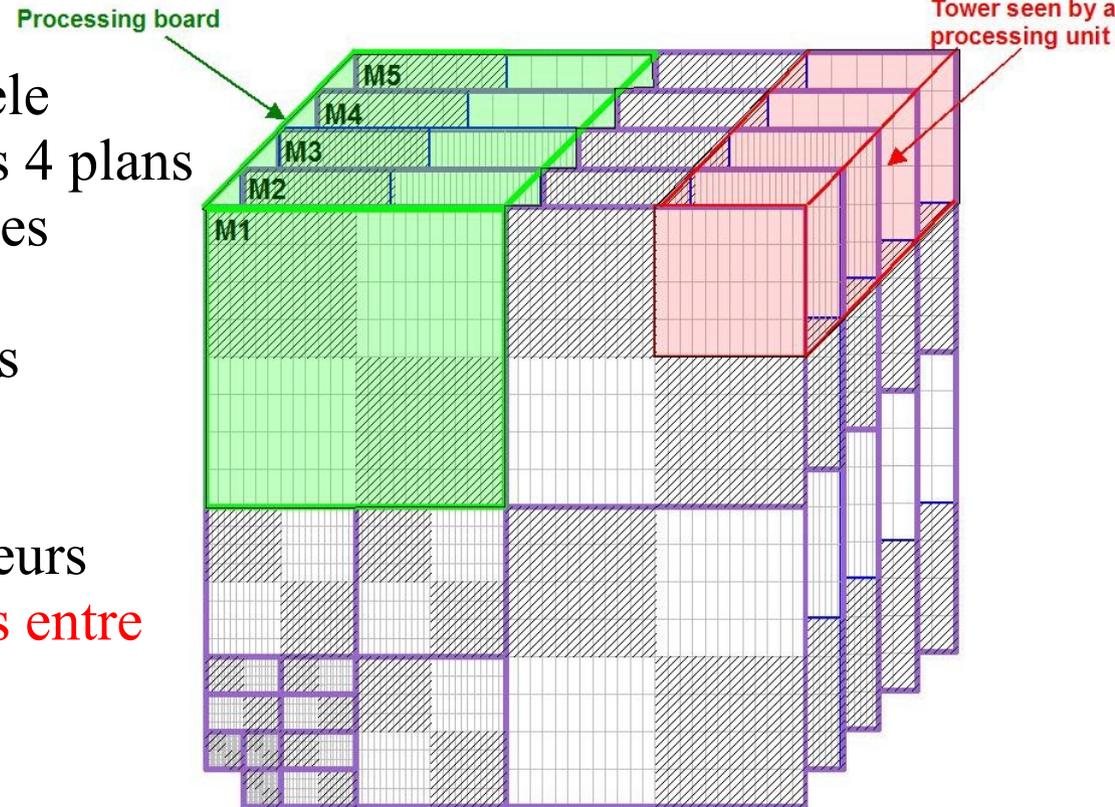
## Principe de l'algorithme:

- 1- Trouver un pad touché en M3
- 2- Définir un axe de recherche centré sur le PAD
- 3- Ouvrir un couloir de largeur X le long de cet axe
- 4- Sélectionner une trace si un pad est touché dans le couloir dans les plans M5 et M4 et M2
- 5- Le point de passage en M1 est extrapolé en suivant la droite partant de M3 et passant par le pad touché de M2
- 6- Ce point dans M1 donne l'angle de la trace par rapport au faisceau donc  $P_T$  (impulsion transverse)

Algorithme de sélection segmenté **par tour (une tour=une unité de calcul):**

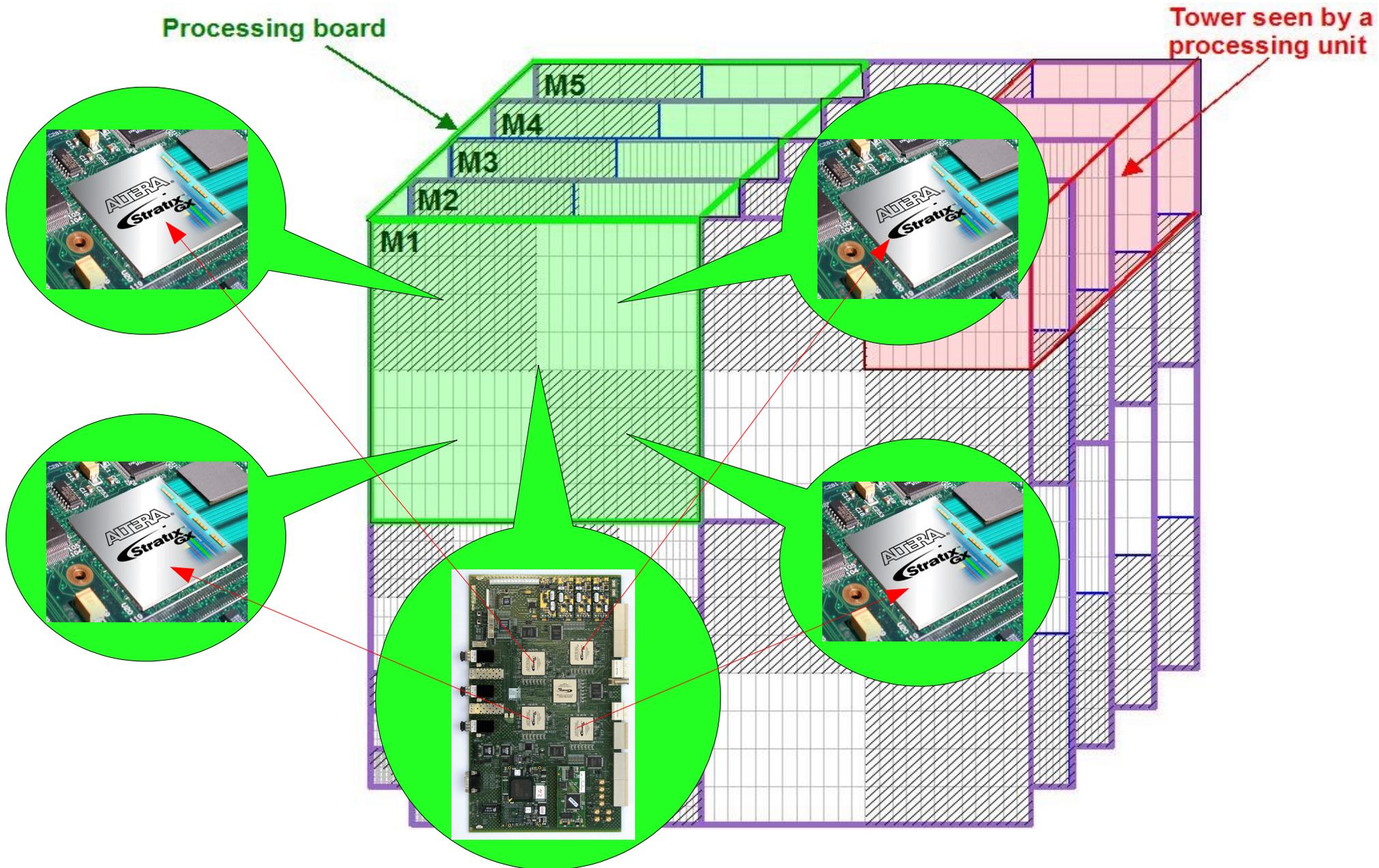
- toutes les tours sont analysées en parallèle
- recherche d'impacts en coïncidence dans 4 plans
- calcul géométrique basé sur les angles des trajectoires pour déduire les impulsions
- sélection des deux meilleures impulsions transverses

L'analyse des trajectoires traversant plusieurs tours implique des **échanges de données entre les unités de calcul** analysant une tour.

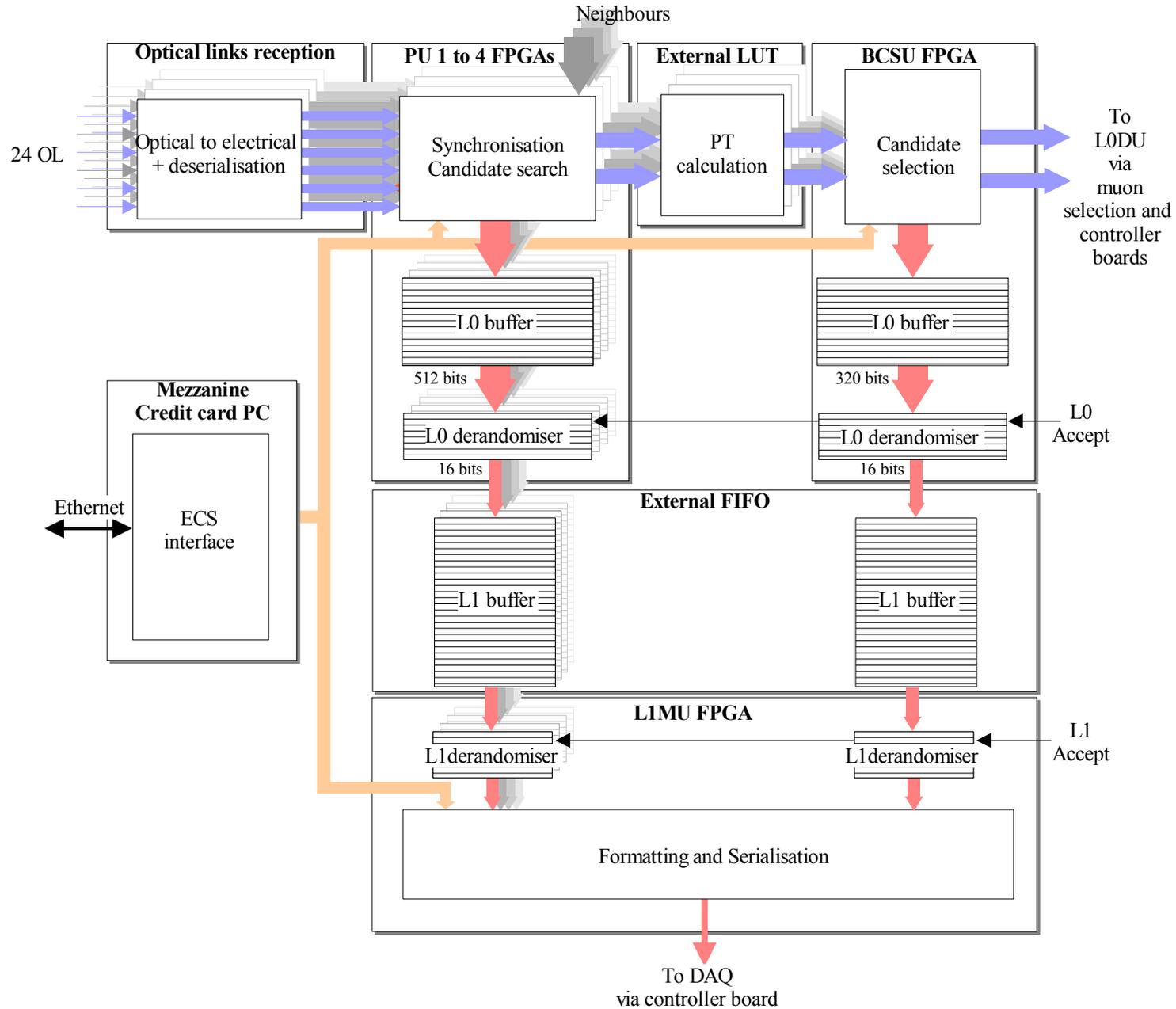


Chaque tour contient la même quantité de données mais couvre une surface plus faible à proximité de l'axe du faisceau car la densité de capteurs (pad) est plus forte.

# Trigger L0 allocation matérielle



# Sélection au niveau L0: carte de sélection





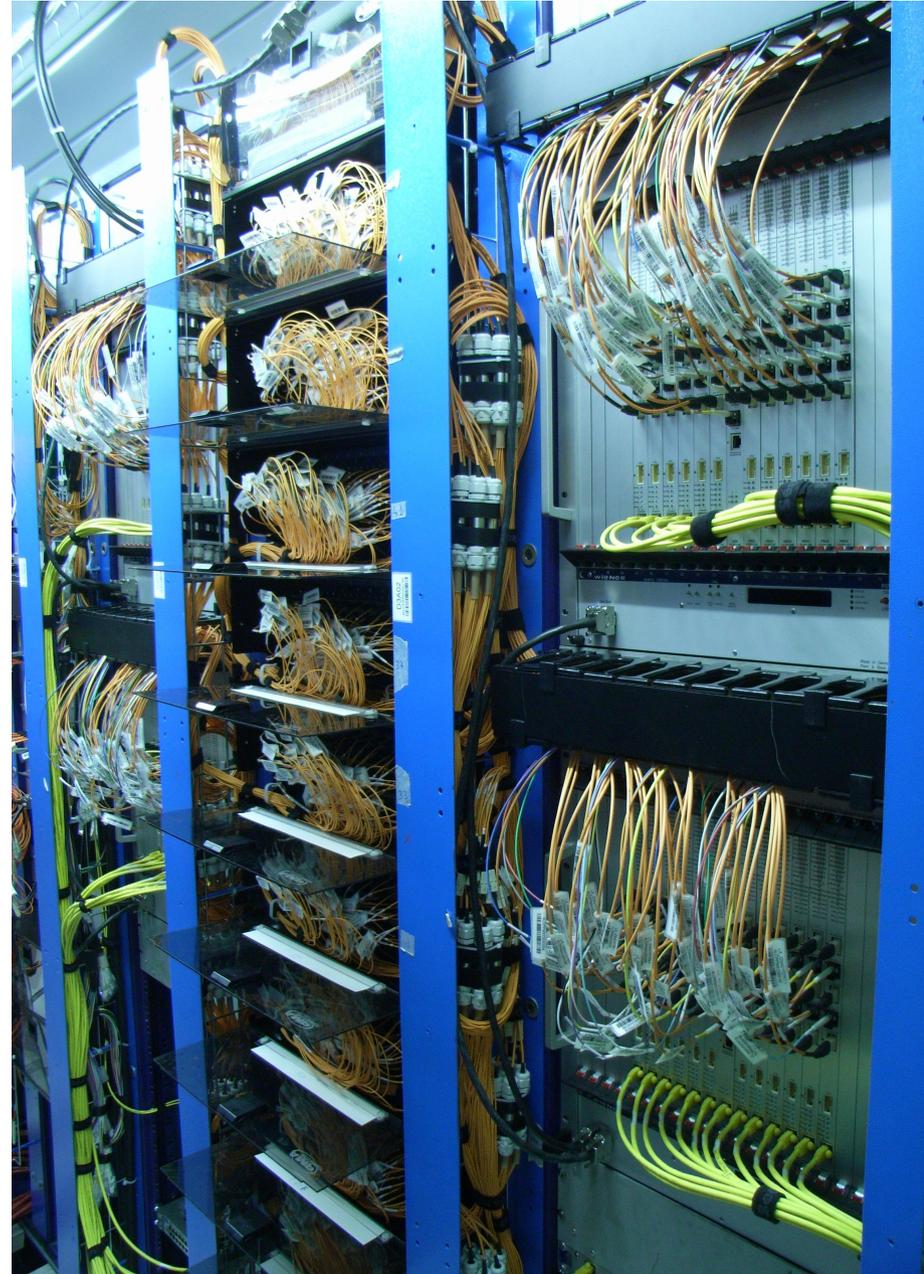
# Sélection L0 technologie

Sélection synchrone, massivement parallèle en mode pipeline faite par des unités de calcul (FPGA).

Latence  $1.2\mu\text{s}$

1248 optical fibers @ 1.6 Gbps en entrée  
112 en sortie

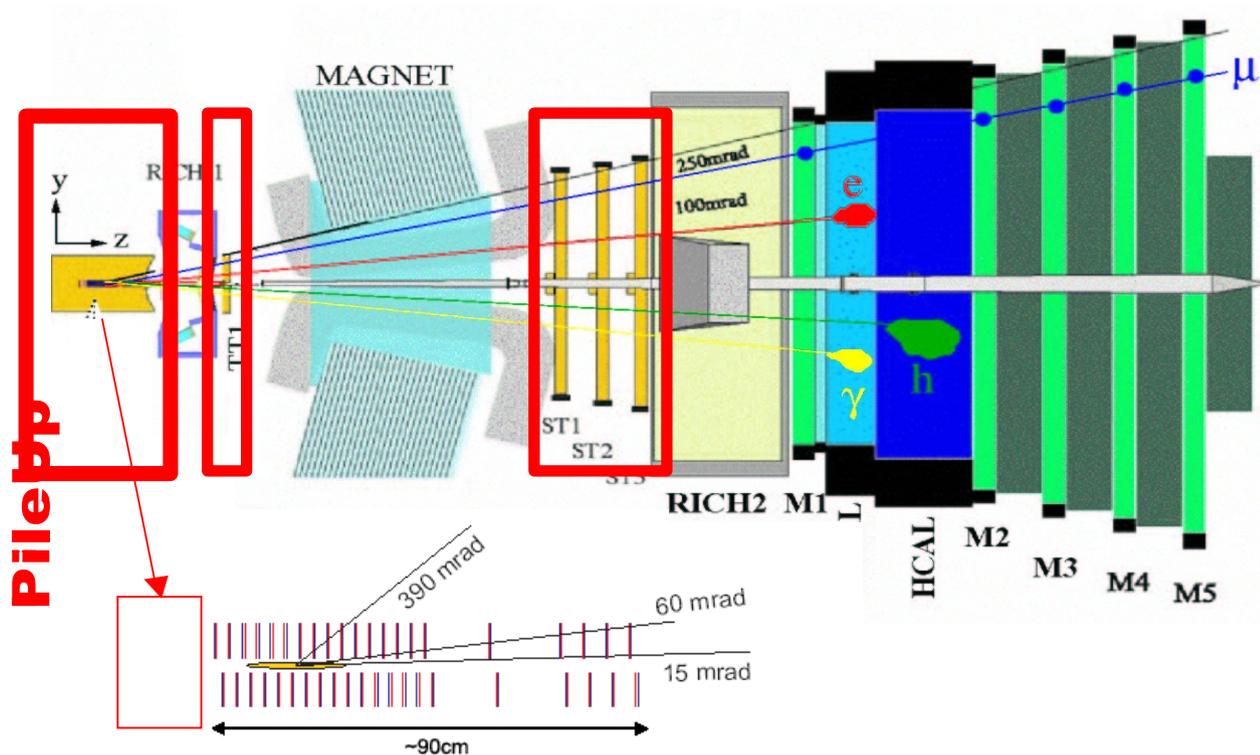
52 cartes de calcul dans 4 chassis.



## Objectif L2(40 Khz)

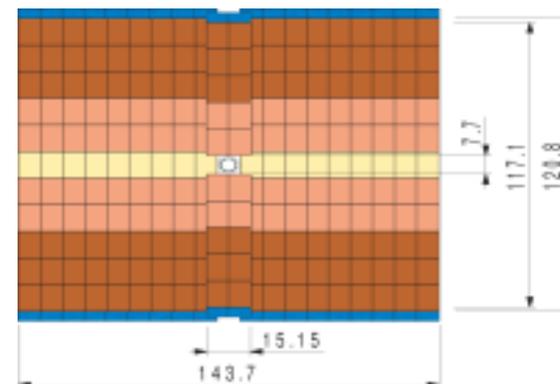
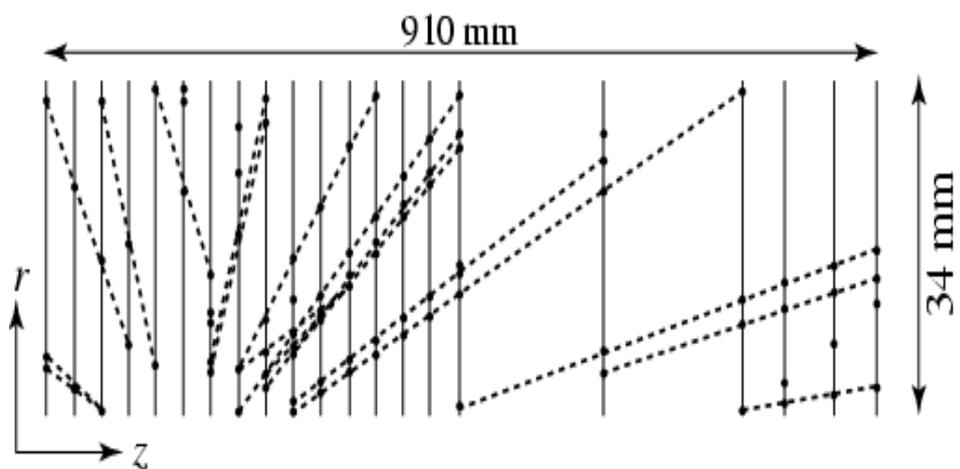
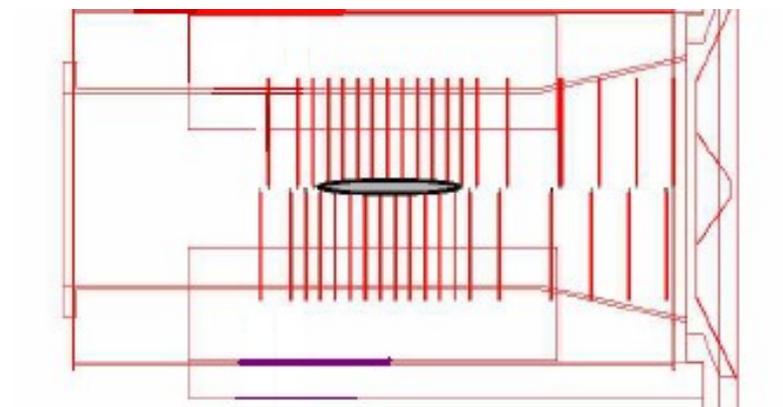
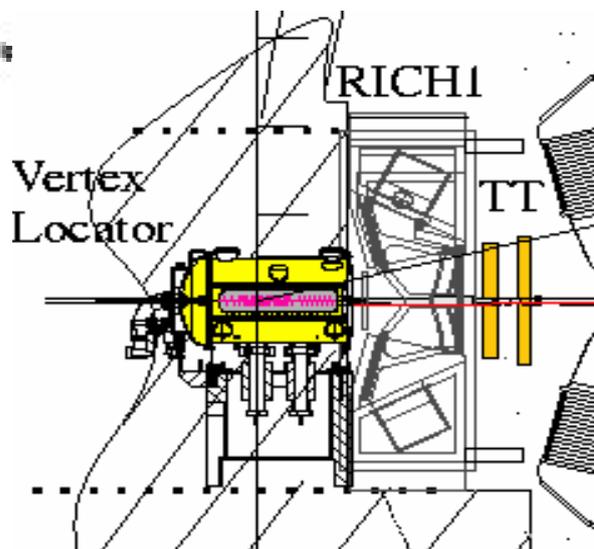
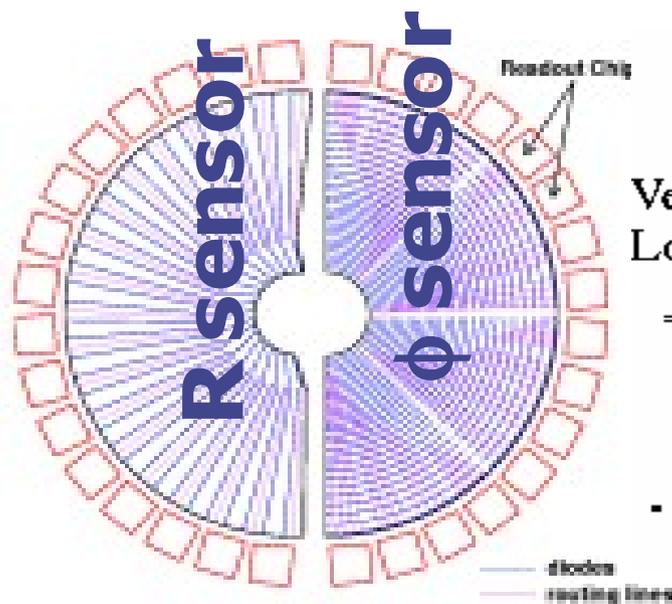
- reconstruction de trace (VELO + TT)
- recherche de vertex déplacé
- corrélation avec les particules identifiées au L0

SI trace issue d'un vertex déplacé pointe vers une particule identifiée au L0 ALORS on sélectionne



**Velo x-z view**

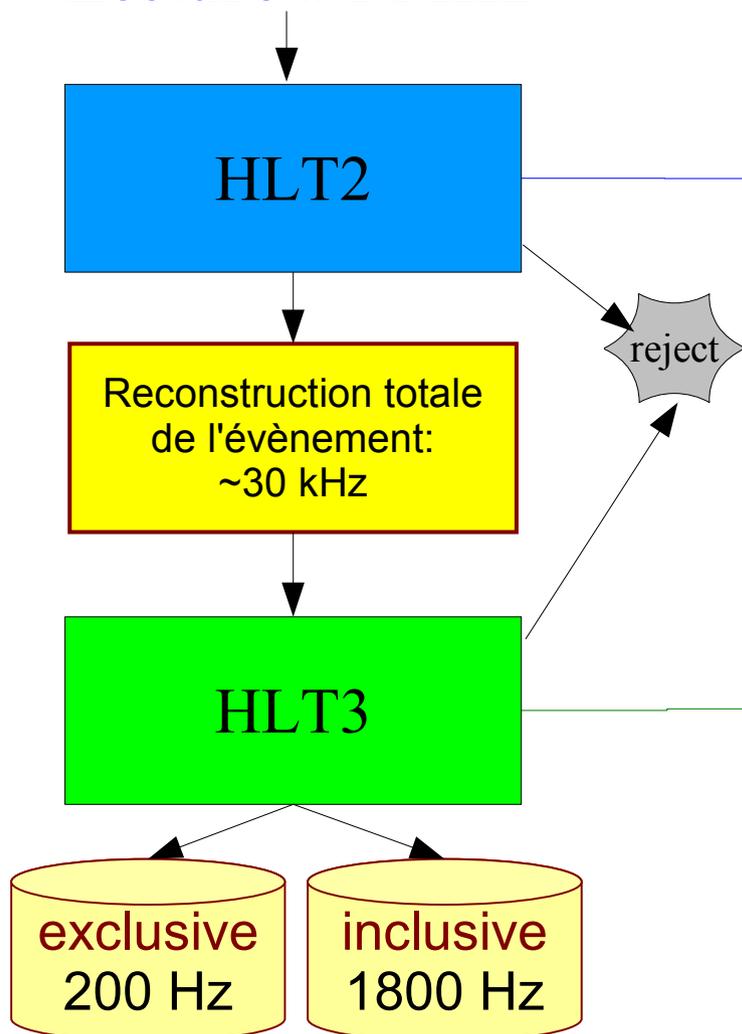
# Sélection au L2





# High Level Trigger (L2+L3)

Lecture à 1 MHz



## – HLT première étape (sélection L2):

- Confirmer la décision L0 avec les trackers
- Reconstruction dans le région d'intérêt
- Sélection par signatures simples (pt, IP, ..)

→ increase fraction of  $b\bar{b}$

## – HLT seconde étape (sélection L3):

- **exclusive signal selections**
    - full B analysis (relaxed offline cuts)
  - **inclusive streams**
    - trigger on clear signatures
    - gives unbiased B sample
- selection of interesting B-decays



# Technologie du High Level Trigger

## Architecture commune partagée par L2 et L3 (HLT)

Sélection asynchrone et en série (un événement=1 processus)

flux d'entrée:

L2 volume de 4,8kB à 1.1Mhz

L3 volume 38KB à 40kHz

Algorithmes exécutés sur une **ferme de calcul commune**

~1500 CPU répartis dans ~50 sous-fermes (code partagé avec le off-line)

Routage effectué par un **Méga switch IP** du commerce 1280 ports

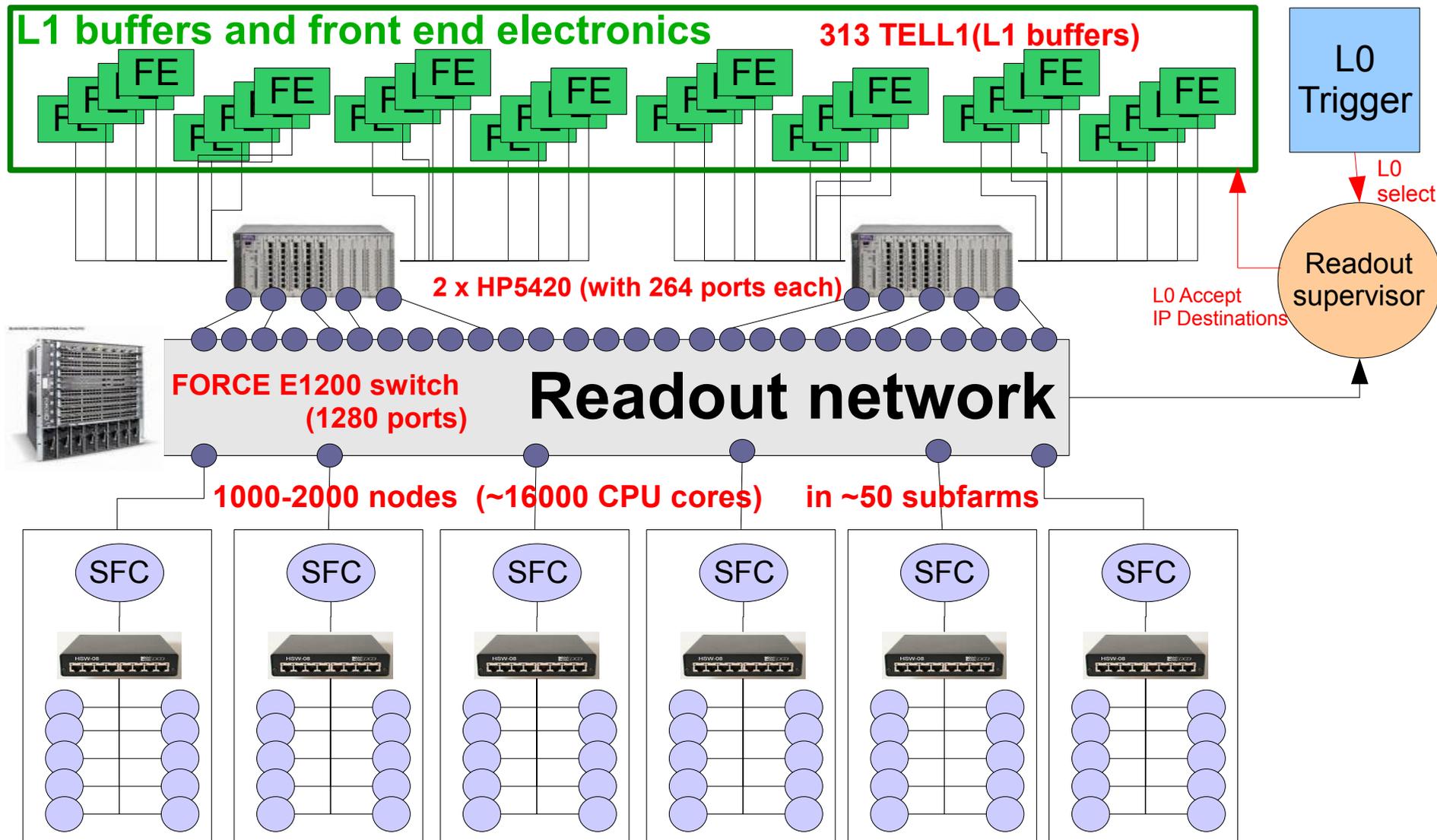
Empaquetage des données dans des paquets IPV4 avec regroupement ~25evts

Concentration amont par 2 gros switch Gigabit ETHERNET de 264 ports.

Utilisation de liaisons cuivre Gigabit ETHERNET



# LHCb: DAQ overview





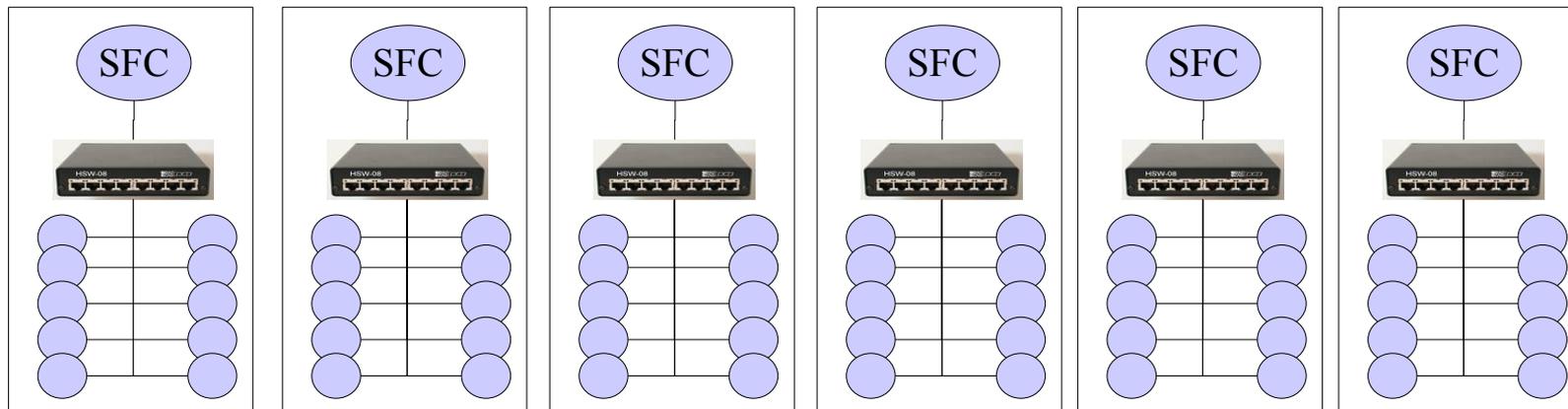
# Organisation en sous fermes

Chaque sous-ferme dispose d'une SFC (switch farm interface):

- **assemble** les évènements à partir des fragments contenus dans chaque paquet
- **alloue et distribue** les évènements à chaque machine consommatrice en équilibrant la charge
- **reçoit les décisions de sélection** et en conséquence envoie:
  - les données retenues par le HLT vers le système de stockage
  - signale les saturations/désaturations au read-out superviseur (throttling)
- **sécurité** limite à 58ms maxi le délai de décision L1

Dans chaque nœud de temps de changement de contexte est déterminant pour les performances (traitements L1).  
Sous Linux 2.4 et 2.5 de l'ordre de  $10\mu$  sec (négligeable par rapport à la latence maxi du L1 58 ms)

Répartition CPU: L1=55% HLT=25% reconstruction=20%





## Distribution des signaux et horloges

Les sous détecteurs sont traitées en parallèle et dans chaque sous détecteur des zones différentes sont traitées en parallèle dans des milliers de cartes électroniques chacune contenant un fragment des données.

Comment identifier l'évènement (inter-action) à laquelle chaque fragment de données appartient à son entrée dans le système trigger DAQ (entrée L0)?

Comment diffuser sur plusieurs mètres des signaux indiquant que les fragments d'un évènement donnés doivent être jetés ou gardés?

Dans LHCb l'identification des évènements se fait par le numéro de l'inter-action selon un cycle de 3564 valeurs (le cycle machine).



# Distribution des signaux et horloges

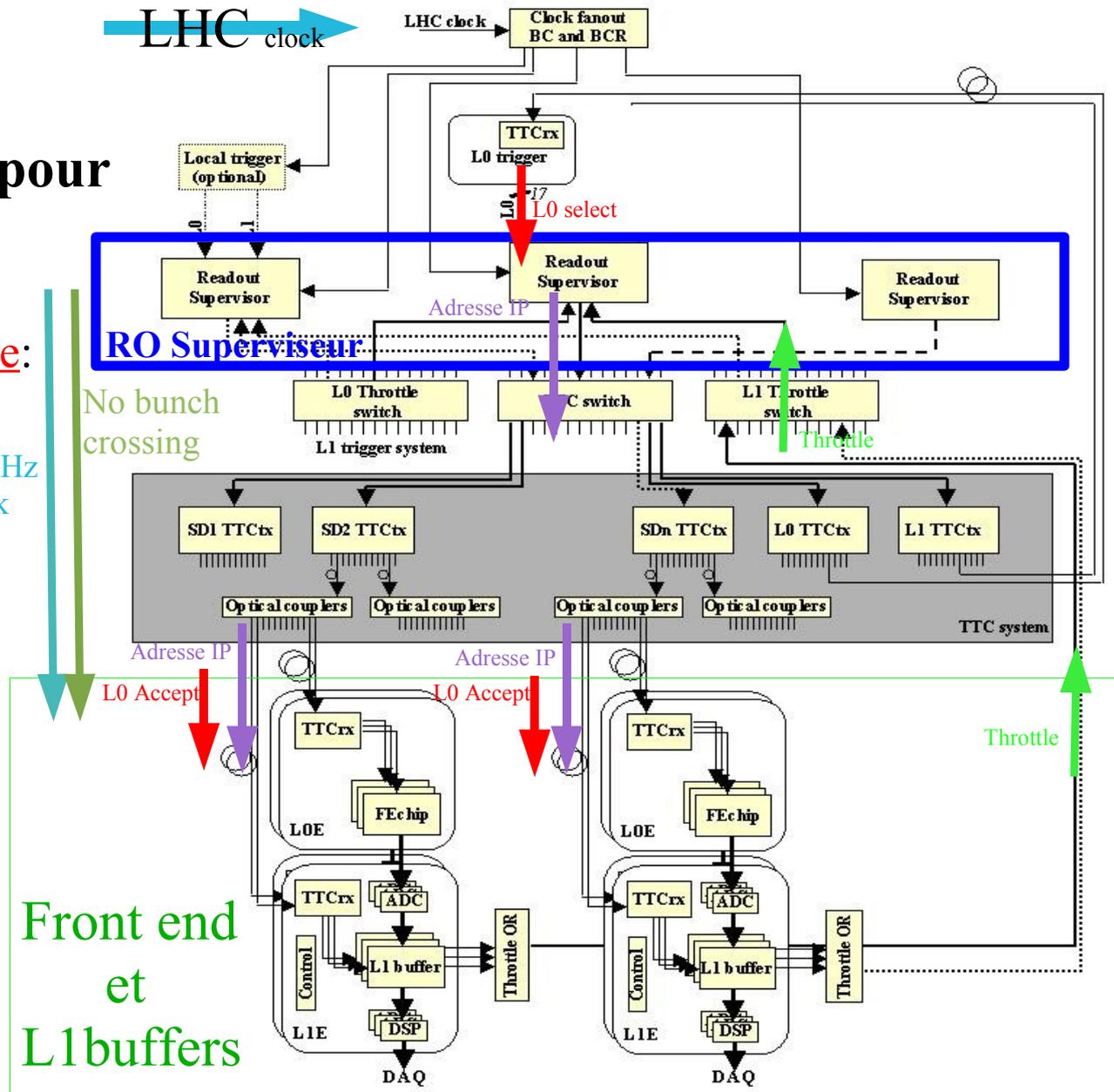
## Utilisation du système TTC pour les expériences LHC

Réseau de diffusion sur fibre optique:

- horloge
- message diffusés
  - no évènement, bunch
  - reset compteurs
  - etc ...
- messages adressés

3 composants:

- TTCtx
- TTCRx (ASIC)
- Etoiles optiques de diffusion





# Conclusions

Le système de sélection et d'acquisition de LHCb est conçu sans temps mort pour réduire le flux des données d'une fréquence de **40MHz à 200Hz**.

Ce DAQ est représentatif de l'évolution des grands systèmes trigger DAQ actuels:

- il utilise un maximum de **composants standards du marché**
- il utilise une grande ferme de calcul (~1500 PC) partagée pour les sélection L2 et L3
- le code tournant en ligne est très proche du code hors ligne
- les sélections de premier niveau sont faites avec des processeurs cablés spécialisés, reprogrammables, implantés avec des FPGA
- la distribution d'évènements est organisée autour d'un Méga switch IP 1280 ports

Il est conçu de façon modulaire pour permettre facilement:

- son **extension** au cours du temps
- le remplacement des composants pour bénéficier de l'**évolution rapide** des technologies informatiques et réseaux du marché.