

## 7 Le détecteur au silicium à micropistes de STAR

### 7.1 Une quatrième couche pour le détecteur de vertex

L'identification des baryons étranges et des  $K_s^0$  est basée sur le fait que ces particules se désintègrent à quelques centimètres du vertex primaire. Il est important de séparer les particules qui proviennent de vertex secondaires, c'est-à-dire de la désintégration de telles résonances, de celles qui ont été créées au niveau du vertex primaire. La position de la collision entre les noyaux peut être déterminée à partir des traces reconstruites dans la chambre à projection temporelle avec une précision de l'ordre du millimètre. Cependant, cette mesure est obtenue en effectuant une moyenne sur plusieurs milliers de particules. La TPC est située à une trop grande distance du faisceau pour permettre de déterminer avec précision la provenance de chaque particule. Le détecteur de vertex de STAR qui se trouve entre l'axe du faisceau et la TPC améliore donc significativement la détermination des vertex primaire et secondaires.

Le champ magnétique dans la partie centrale de l'expérience STAR est de 0.5 Tesla. Les particules dont l'impulsion transverse est inférieure à 150 MeV/c n'atteignent donc pas la TPC et doivent être reconstruites uniquement à l'aide du détecteur de vertex. Le détecteur de vertex de STAR a ainsi deux rôles principaux : reconstruire avec précision les vertex primaires et secondaires et donner une mesure de l'impulsion des particules de faible impulsion transverse.

Le détecteur de vertex de STAR se compose du SVT (Silicon Vertex Tracker) et du SSD (Silicon Strip Detector). Le SVT consiste en trois couches de détecteurs au silicium à dérive. Le SSD qui forme une quatrième couche entre le SVT et la TPC, est équipé de détecteurs au silicium à micropistes. Le tableau 7.1 résume les positions des quatre couches ainsi que leurs caractéristiques en terme de résolution en position, résolution à deux traces et longueur de radiation. La géométrie du détecteur de vertex de STAR est représentée sur la figure 7.1.

<i>Rayon (cm)</i>	<i>Résolution <math>R\phi / z</math> (<math>\mu\text{m}</math>)</i>	<i>Résolution à deux traces</i>	<i>Longueur de radiation</i>	<i>Type de détecteur</i>
6.1 – 7.2	25 / 25	< 600 $\mu\text{m}$	1.5 X0	Si à dérive
10.1 – 11.2	25 / 25	< 600 $\mu\text{m}$	1.5 X0	Si à dérive
14.0 – 14.9	25 / 25	< 600 $\mu\text{m}$	1.5 X0	Si à dérive
23	15 / 800	~200 $\mu\text{m}$	0.7 X0	Si à pistes

Table 7.1 Caractéristiques des quatre couches du détecteur de vertex de STAR.

La résolution à deux traces représente la distance minimale à laquelle deux points créés par deux particules différentes peuvent être séparés. C'est un paramètre important car les détecteurs les plus proches du faisceau doivent être capable de fonctionner alors que de l'ordre de 20 particules les traversent. Ce paramètre devient moins critique lorsque les détecteurs sont plus éloignés ce qui est le cas pour ceux du SSD, où de l'ordre de 5 particules par détecteur sont attendues [42].

Le nombre de longueurs de radiation du détecteur est aussi un paramètre important. En effet, la valeur la plus probable de l'impulsion des particules produites est de l'ordre de 300 MeV/c. Ces particules sont donc très sensibles à la diffusion coulombienne multiple. Il est alors nécessaire de la limiter au maximum en minimisant l'épaisseur de matière que traversent les particules. Les quatre couches du détecteur de vertex de STAR sont ainsi conçues pour fonctionner dans un environnement où la densité de particules est élevée tout en présentant peu de matière sur le passage des particules.

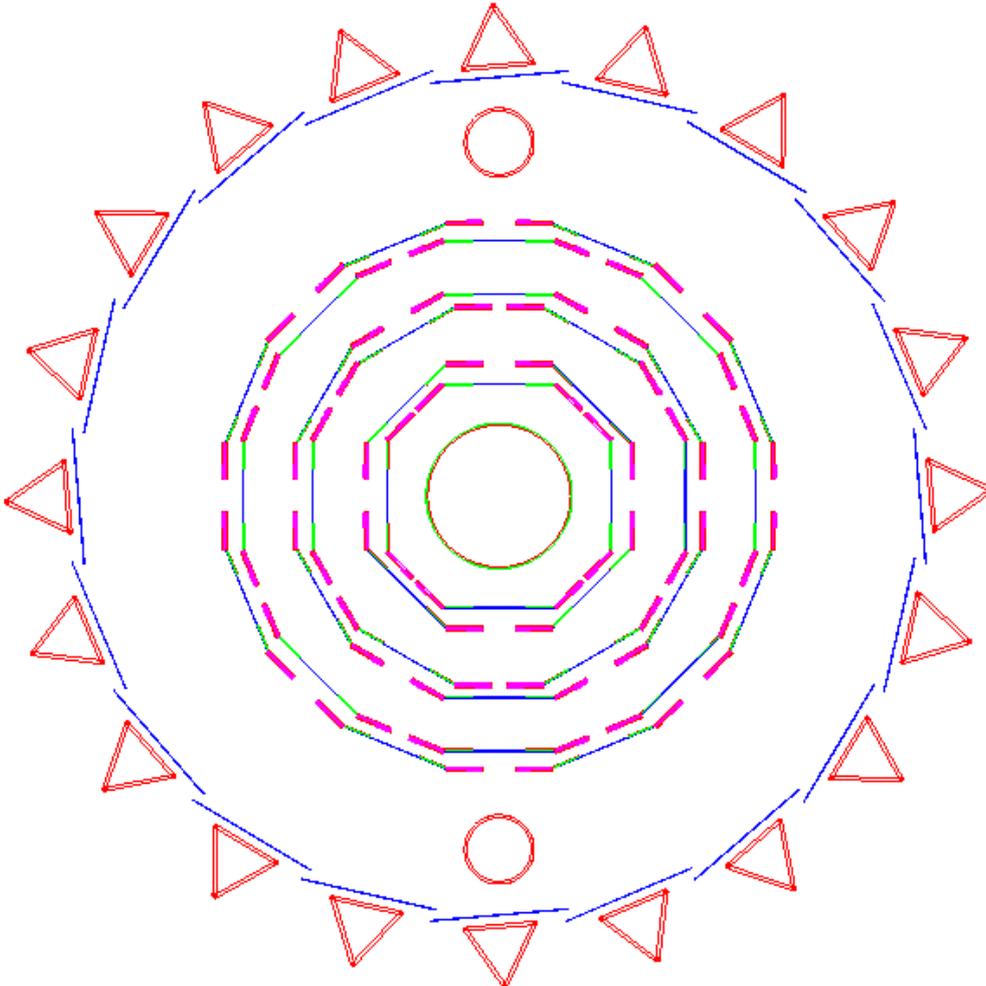


Figure 7.1 Le Silicon Vertex Tracker et le Silicon Strip Detector

Le détecteur de vertex de STAR était au départ uniquement conçu pour fonctionner avec les trois couches de détecteurs au silicium à dérive. L'ajout de la quatrième couche a été motivé par le fait qu'elle améliore de façon significative la reconstruction des résonances étranges et des particules de basse impulsion transverse [42].

L'ajout du SSD permet en effet de reconstruire les particules dont l'impulsion est trop faible pour atteindre la TPC avec quatre points au lieu de trois. La résolution en l'impulsion transverse des particules dont le  $p_T$  est inférieur à 200 MeV/c est alors améliorée de 15%.

Les baryons étranges et les  $K_s^0$  parcourent quelques centimètres avant de se désintégrer. Les caractéristiques des résonances qui peuvent être reconstruites dans le détecteur de

vertex de STAR sont résumées dans le tableau 7.2. Deux particules sont considérées comme issues d'une désintégration si leurs trajectoires se croisent à proximité l'une de l'autre, si ce croisement s'effectue suffisamment loin du vertex primaire et si la reconstruction de la masse invariante correspond à celle d'une résonance. Le principe de la reconstruction des baryons  $\Lambda$  dans le SVT seul et dans le SVT+SSD est illustré sur la figure 7.2. Les trajectoires reconstruites dans le détecteur de vertex doivent être formées par au moins trois points. Le SSD offre alors la possibilité de reconstruire les particules qui décroissent après la première couche de silicium à dérive et de compenser les éventuelles inefficacités de détection dans une des couche. Les simulations du détecteur de vertex ont montré que 44% du nombre total de  $\Lambda$  produits sont reconstruits avec le SVT seul alors que 73% le sont lorsque le SSD est aussi utilisé. Dans le cas des  $\Xi$  cette fraction passe de 13% à 36% et de 48% à 78% pour les  $K_s^0$  [42].

	$c\tau$	Canal considéré	Rapport d'embranchement
$K_s^0$	2.68 cm	$\pi^- + \pi^+$	68.60%
$\Lambda$	7.89 cm	$\pi^- + p$	63.90%
$\bar{\Lambda}$	7.89 cm	$\pi^+ + \bar{p}$	63.90%
$\Xi^-$	4.91 cm	$\pi^- + \Lambda$	99.90%
$\bar{\Xi}^-$	4.91 cm	$\pi^+ + \bar{\Lambda}$	99.90%
$\Omega^-$	2.46 cm	$K^- + \Lambda$	67.80%

Table 7.2 Caractéristiques des résonances reconstruites dans le détecteur de vertex de STAR

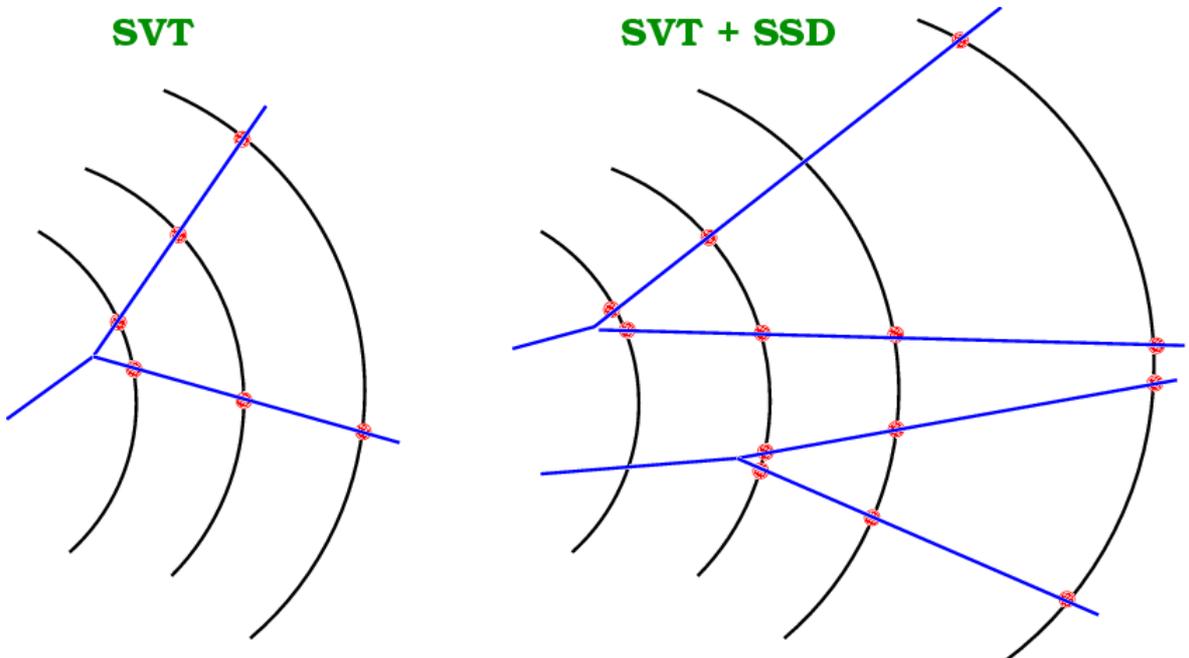


Figure 7.2 Principe de reconstruction des  $\Lambda$  dans le SVT et SVT+SSD

Le SSD améliore donc de façon significative les performances du détecteur de vertex de

STAR. Il permet de reconstruire avec plus de précision les particules de faible impulsion transverse et d'améliorer la fraction de particules étranges reconstruites.

## 7.2 Design du SSD

Le SSD est situé à un rayon de 23 cm de l'axe du faisceau entre les trois couches de détecteurs au silicium à dérive et la chambre à projection temporelle. Il est constitué de deux demi tonneaux qui sont chacun constitué de 10 échelles. Elles sont matérialisées par des triangles sur la figure 7.1. Chaque échelle couvre ainsi un angle azimutal de  $18^\circ$ . Elles mesurent 950 mm de long. Une échelle est représentée sur la figure 7.3. L'acceptance du SSD couvre alors plus ou moins 1 en pseudo-rapacité. Seize modules de détections sont disposés par échelle. Une carte de conversion du signal analogique en signal numérique et une carte de lecture des signaux sont placées au bout de chaque échelle. La chaleur dissipée par les composants électroniques est évacuée grâce à un flux d'air. Cette technique permet de limiter la longueur de radiation comparée à la méthode classique de refroidissement avec de l'eau.

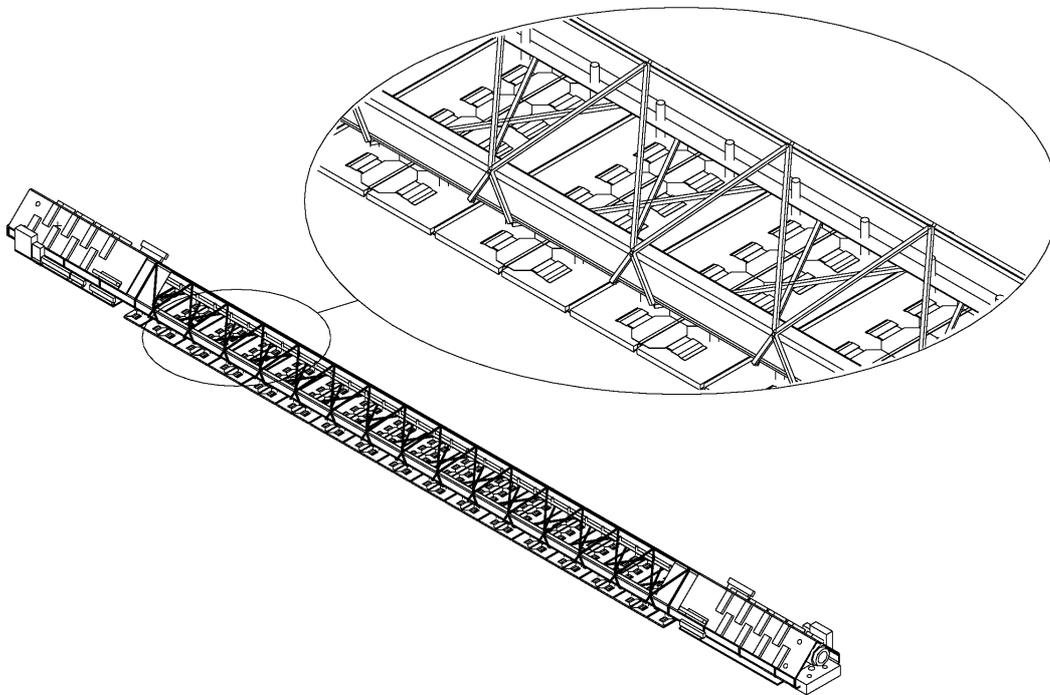


Figure 7.3 Schéma d'une échelle du SSD

## 7.3 Le module de détection

Les modules de détection sont composés d'un détecteur au silicium à micropistes et des circuits intégrés ALICE128C montés sur une carte hybride. Les différents éléments d'un module de détection sont représentés sur la figure 7.4.

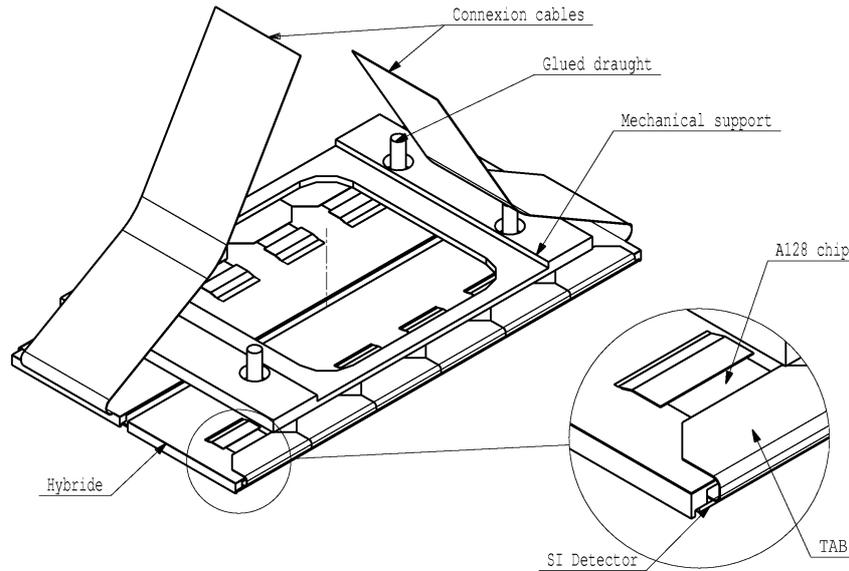


Figure 7.4 Module de détection du SSD

### 7.3.1 Détecteur au silicium à micropistes double face

Les caractéristiques géométriques des détecteurs au silicium à micropistes qui équiperont le SSD de STAR sont représentées sur la figure 7.5. Ces détecteurs ont été conçus, à l'origine, pour équiper les deux couches les plus externes de l'Inner Tracking System de l'expérience ALICE [43]. Ils en ont hérité la plupart des caractéristiques. Ils mesurent 42 mm de large et 74 mm de long. Les deux faces des détecteurs sont segmentées ce qui permet une mesure de position à deux dimensions. Les pistes de chaque côté forment un angle de 35 milliradians. Chaque face possède 768 pistes espacées de 95  $\mu\text{m}$ . La résolution en position est alors de l'ordre de 15  $\mu\text{m}$  en  $r/\phi$  et 800  $\mu\text{m}$  en  $z$  (direction parallèle au faisceau).

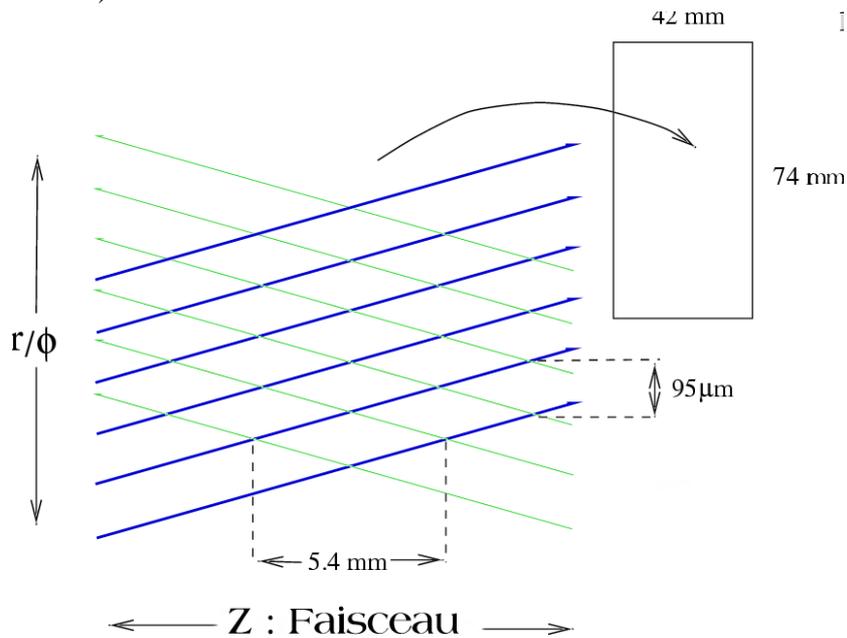


Figure 7.5 Caractéristiques géométriques d'un détecteur du SSD.

### 7.3.2 L'électronique de lecture

Les circuits intégrés ALICE128C assurent la préamplification et la mise en forme des signaux ainsi qu'une lecture séquentielle des voies analogiques. Ils ont été conçus spécifiquement pour être connectés aux détecteurs au silicium à micropistes qui équiperont les expériences STAR et ALICE. Ces amplificateurs ont les caractéristiques suivantes :

- Nombre de canaux : chaque puce ALICE128C possède 128 canaux, c'est-à-dire qu'une puce est connectée à 128 pistes. Douze ALICE128C sont donc nécessaires à la lecture de l'ensemble des pistes d'un détecteur. Les 6 puces utilisées pour la lecture d'une face sont collées ensemble sur un plan de kapton pour former un hybride.
- Gamme dynamique : 300 000 électrons ce qui correspond à environ 10 fois ce que crée une particule au minimum d'ionisation. Cette gamme permet de mesurer l'énergie déposée par des particules très ionisantes.
- Bruit : de l'ordre de 500 équivalents électrons pour un canal connecté à une piste du détecteur.
- Temps de mise en forme du signal : le signal atteint son maximum entre 1.4 et 1.8  $\mu$ s après le passage de la particule. Ce temps est ajusté au système de lecture que nous détaillerons dans le paragraphe suivant.
- Énergie dissipée : 4.1 watt par demi échelle ce qui correspond à 128 ALICE128C. Cette énergie a été minimisée afin de faciliter le refroidissement.

La connexion de l'électronique de lecture au détecteur présente un déficit technologique important. En effet au total, il est nécessaire de réaliser de l'ordre du million de connexions. La technologie du TAB (Tape Automated Bonding) a été choisie pour réaliser ces connexions. Elle est basée sur l'utilisation de micro-câbles de kapton sur lesquels sont déposées des pistes de cuivre ou d'aluminium. La réalisation des connexions peut alors être automatisée car les câbles sont conçus pour s'ajuster exactement sur les plots de soudure. Lors d'une micro-soudure classique la position de chaque fil de connexion doit être ajustée automatiquement ou manuellement. Le TAB permet alors de réduire l'investissement humain nécessaire à la réalisation des connexions.

## 7.4 Système de lecture

L'ensemble des systèmes de lecture, de contrôle et de déclenchement est représenté sur la figure 7.6. Un sous système ("Subsystem") se compose de modules de détection ainsi que d'une carte de contrôle et d'une carte de conversion du signal analogique en signal digital (ADC). Un sous système est représenté sur la figure 7.7. La conversion s'effectue sur 10 bits. Une compression en 8 bits est ensuite appliquée avant d'enregistrer les données. Cette compression est imposée par le fait que le SSD réutilise le système d'acquisition des données développé pour la TPC. Ce détecteur produit en effet un volume très important de données qu'il est nécessaire de réduire au maximum. Dans le cas du SSD, cette compression n'est en principe pas nécessaire. Un choix judicieux de la fonction de compression permet cependant de conserver une bonne résolution en énergie sur toute la gamme dynamique.

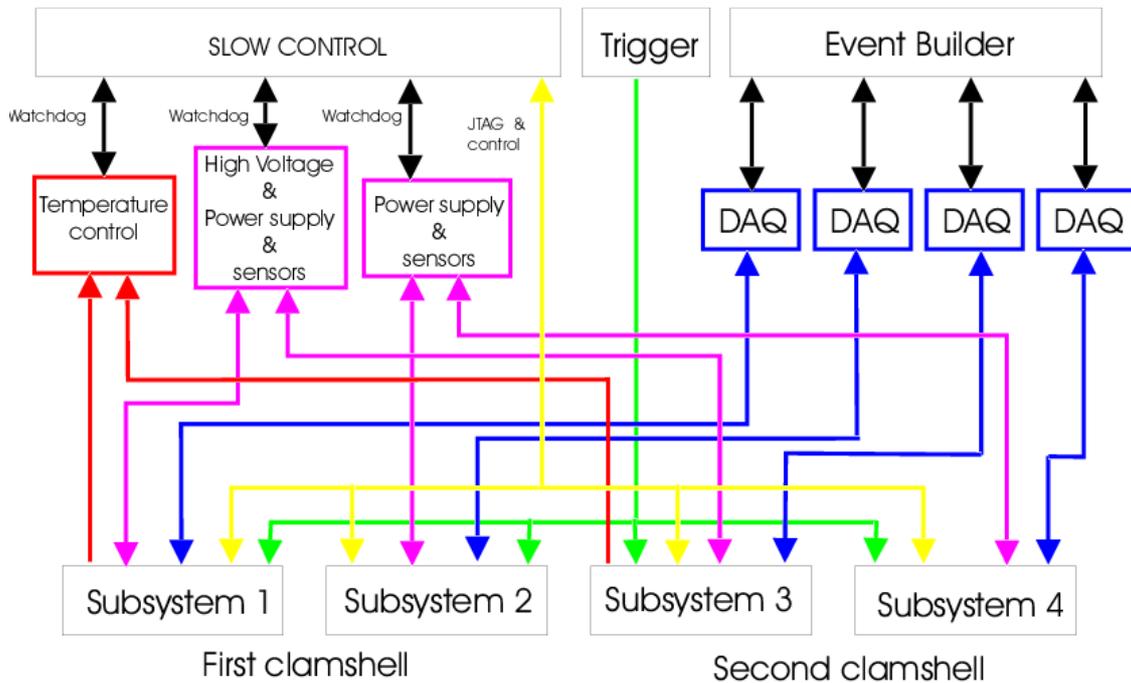


Figure 7.6 Principe du système électrique du SSD

Lorsqu'un événement doit être enregistré un signal de déclenchement (trigger) est envoyé au SSD. Il est suivi d'un signal de "Hold" qui entraîne le stockage des amplitudes sur tous les canaux électroniques. Le temps qui sépare les signaux de "trigger" et de "hold" est ajusté afin de correspondre au temps de montée des amplificateurs (de 1.4 à 1.8  $\mu$ s). Les canaux sont ensuite lus séquentiellement avant la conversion du signal analogique en signal numérique sur les cartes ADC qui se trouvent en bout d'échelle.

Ces valeurs numériques sont traitées par le système d'acquisition des données (DAQ) qui supprime les pistes qui n'ont pas détecté le passage d'une particule. Cette sélection est basée sur la comparaison du signal de la piste avec son bruit. Seules les pistes qui ont mesuré un signal dont l'amplitude est significativement supérieure au bruit sont conservées.

Le système de contrôle permet de surveiller le comportement des détecteurs et de piloter les différents paramètres qui régissent le fonctionnement des détecteurs. En particulier il est nécessaire d'avoir accès aux sources de tension de polarisation et d'alimentation de l'électronique. Le comportement de chaque hybride et, en particulier, sa température est contrôlé grâce à un circuit intégré appelé "costar" dessiné au LEPSI (C.Colledani).

Le système de lecture du SSD est actuellement en cours de développement. Les modules de détection ont été étudiés à travers plusieurs prototypes. Nous allons détailler notre contribution à cette étude dans le chapitre 9. Avant cela, nous allons présenter le principe de fonctionnement des détecteurs au silicium à micropistes.

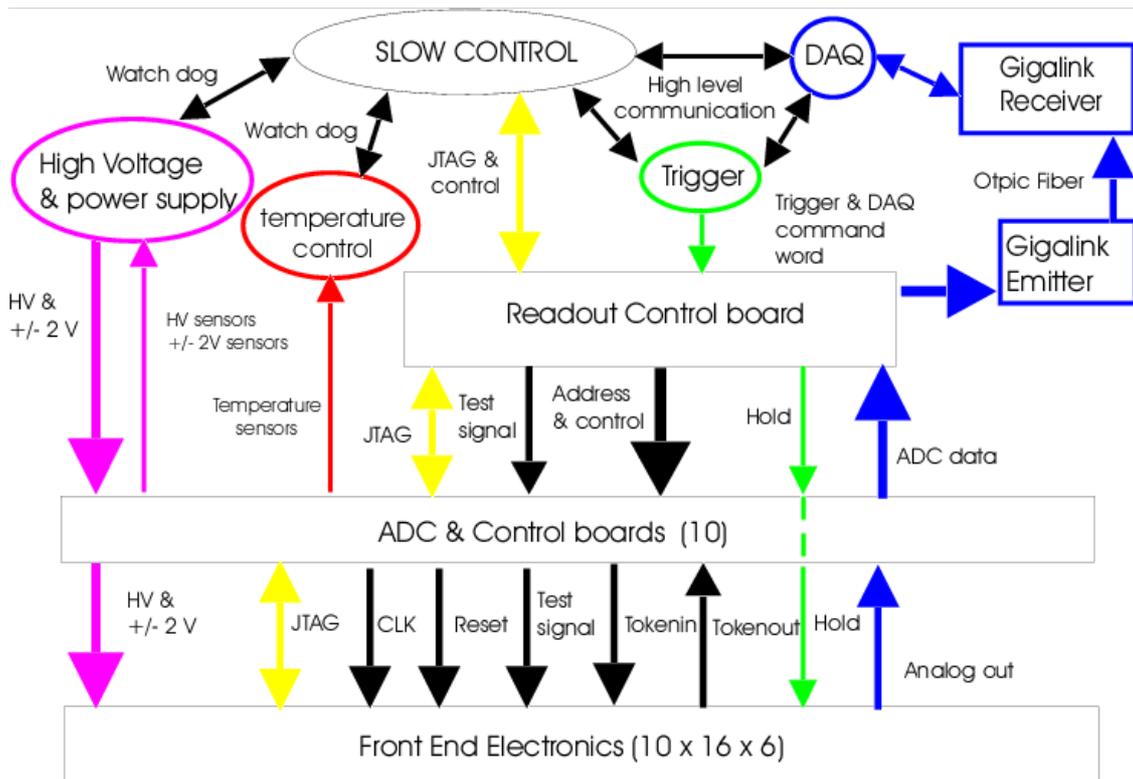


Figure 7.7 Principe de fonctionnement d'un sous système du SSD