

# Carte de détection

---

Ce chapitre est consacré à l'étude de la carte de détection nécessaire à AMBRE 2. La carte de détection a pour rôle d'indiquer à la partie numérique la sélection d'une particule par l'analyseur.

## III-1) Principe des détecteurs

Cette première partie traite des détecteurs avec la présentation de leur principe de fonctionnement ainsi que de leurs caractéristiques.

### III-1-1. Présentation des détecteurs : MCP

Les détecteurs utilisés pour ce type d'instrument sont des galettes à micro-canaux (Micro Channel Plate). Les MCP sont des galettes de verre dopées et composées de micros canaux comme illustré sur la Figure 53, qui sont polarisées à une haute tension (quelques kilovolts). Lorsqu'une particule rencontre une des parois des micros canaux, des électrons secondaires sont émis, créant ainsi un effet avalanche en direction de la sortie des détecteurs, comme illustré sur la Figure 54.

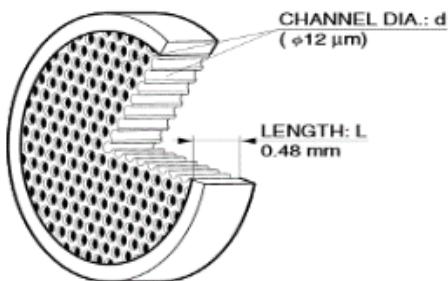


Figure 53 : illustration d'une MCP [16]

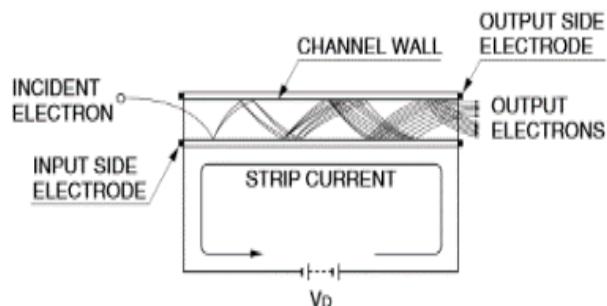


Figure 54 : illustration du principe des MCP [16]

En pratique les MCP ne sont pas utilisées seules mais empilées soit par deux en « chevron » comme illustré sur la Figure 55, ou par trois en « Z-stack » comme visible sur la Figure 56. L'empilement des MCP permet d'augmenter le nombre de canaux actifs à chaque changement de MCP, et donc d'augmenter la charge totale collectée par les anodes lors de la détection d'une particule, passant d'un gain autour de  $10^3$  pour une MCP, à un gain de  $10^6$  pour le « chevron » ou de  $10^9$  pour le « Z-stack » [15].

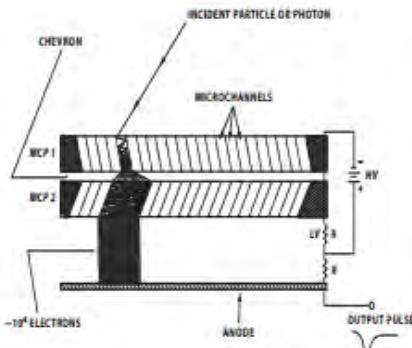


Figure 55 : Schéma d'un stack de MCP en chevron [15]

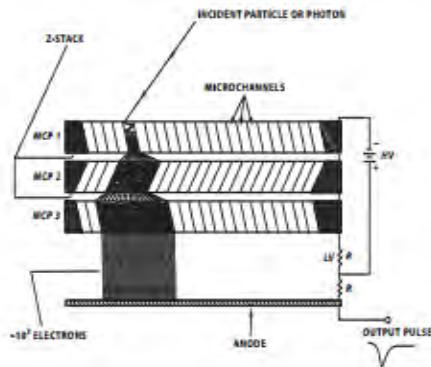


Figure 56 : Schéma d'un stack de MCP en Z-stack [15]

L'empilement de trois MCP comme présenté sur la Figure 56 permet d'avoir un gain plus important qu'avec l'empilement chevron. Cependant, pour avoir ce fonctionnement la valeur de la tension de polarisation doit être plus importante pour ce mode, autour de 3kV-4kV, au lieu des 2kV-3kV pour la configuration chevron. L'enjeu d'AMBRE 2 étant d'avoir un instrument faible consommation, et n'ayant pas la nécessité d'avoir un gain aussi important ; la configuration qui est utilisée et étudiée par la suite est l'empilement chevron.

### III-1-2. Caractéristiques des MCP

A présent que le principe des détecteurs est présenté, cette partie s'intéresse à leurs caractéristiques. En pratique la réponse de ces détecteurs est caractérisée à travers deux grandeurs : le gain des MCP, qui correspond au nombre d'électrons secondaires émis lors de la détection d'une particule par unité de temps, et le taux de comptage qui correspond au nombre de particules que le détecteur est capable de détecter en une seconde.

#### a) Taux de comptage et saturation

La première caractéristique qu'il faut étudier en pratique est celle tracée sur la Figure 57, qui correspond au taux de comptage mesuré en fonction de la tension de polarisation appliquée. Pour un flux de particules donné le taux de comptage augmente avec la tension de polarisation jusqu'à l'apparition d'un coude, avant que le taux de comptage ré-augmente après une valeur plus haute de la tension. En pratique les MCP devront être polarisées avec la tension de polarisation correspondant au coude de façon à avoir le taux de comptage maximal avec la valeur de haute tension la plus faible possible et d'avoir la variabilité la plus faible, notamment pour les calibrations. L'augmentation de la tension de polarisation ayant pour effet non seulement d'augmenter le gain mais aussi de réduire la durée de vie des détecteurs, il faudra veiller à ne pas trop l'augmenter. Avec le vieillissement, le gain des MCP se dégrade, et il faut régulièrement (en vol) augmenter les tensions de polarisation des MCP afin de compenser cette perte de gain [15].

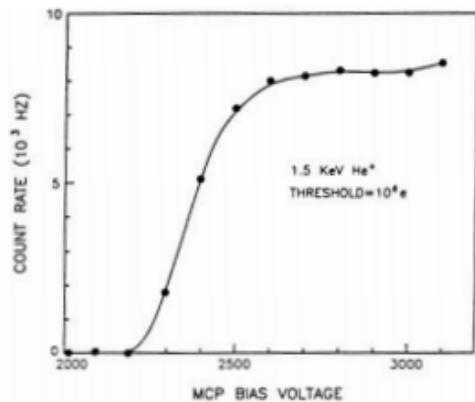


Figure 57 : Taux de comptage en sortie des MCP en fonction de la tension de polarisation [15]

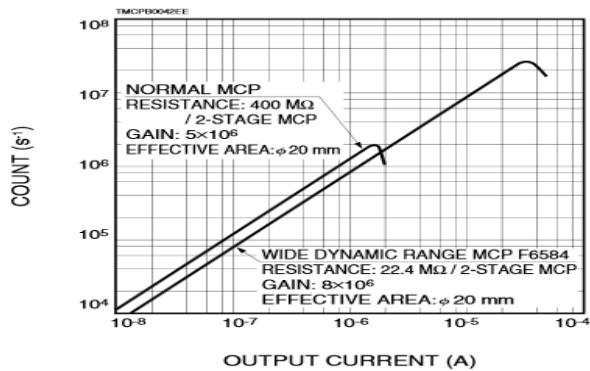


Figure 58 : Taux de comptage de la MCP fonction du courant de sortie [16]

Une autre caractéristique des MCP liée au taux de comptage est leur possible saturation. La Figure 58 montre le taux de comptage mesurable en fonction du courant de sortie moyen délivré par ces détecteurs, où une saturation est visible au-delà d'un certain courant, ce qui entraîne la paralysie du système. Cette saturation vient du fait que lorsqu'une particule est détectée, les électrons secondaires émis modifient la distribution de potentiel localement dans la MCP. Ce rééquilibrage de potentiel se fait avec le courant de conduction qui circule dans la MCP ( $V_{pola}/R_{MCP}$ ). Si pendant ce temps une particule entre dans le détecteur, le gain des MCP devient plus faible. Ainsi, lorsque les taux de comptage deviennent très importants, le gain des MCP diminue jusqu'à ne plus pouvoir délivrer une charge suffisante en sortie pour être détectée par l'électronique front end. Ceci entraîne l'écroulement du taux de comptage et un effet de saturation. Cette saturation étant dépendante du courant de conduction, plus la résistance des MCP est faible, plus la saturation apparaît pour des taux de comptage élevés, comme visible sur la Figure 58.

De manière générale, on considère que pour avoir un gain constant (et donc éviter la saturation) il faut que le courant de sortie moyen soit inférieur à 1/10 du courant de conduction [16]. Avec un empilement de deux MCP de 25 MΩ polarisée à 2500V le courant de sortie limite est autour du  $\mu$ A, ce qui veut dire un taux de comptage maximal autour de 1 000 000 coups/s/cm<sup>2</sup>.

### b) Gain et efficacité des MCP

Une autre caractéristique des MCP est le gain. Il correspond au nombre d'électrons secondaires émis lors de l'avalanche créée par la détection d'une particule. La distribution du gain est une gaussienne, comme présenté sur la Figure 59, où l'augmentation de la tension de polarisation a pour effet d'augmenter le gain des MCP d'une part mais aussi d'étaler la distribution. En fonctionnement nominal les MCP ont un gain autour d'un million, correspondant à une charge électrique délivrée autour de 160 fC. Pour l'électronique front end il faudra donc veiller à avoir un niveau de bruit inférieur à  $5 \cdot 10^5$  électrons (80 fC), pour pouvoir mesurer entre 50% et 90% de la distribution en régime nominal [15].

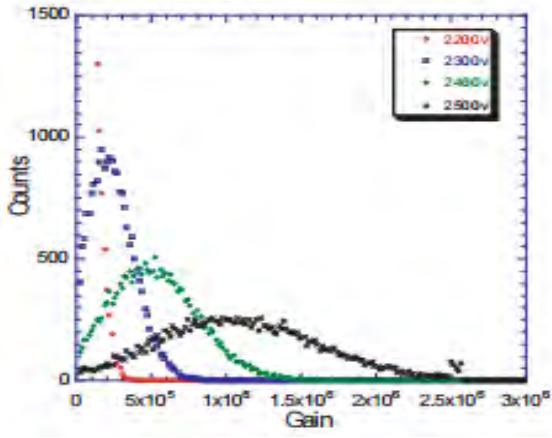


Figure 59 : Distribution du gain des MCP en chevron pour différentes valeurs de haute tension [15]

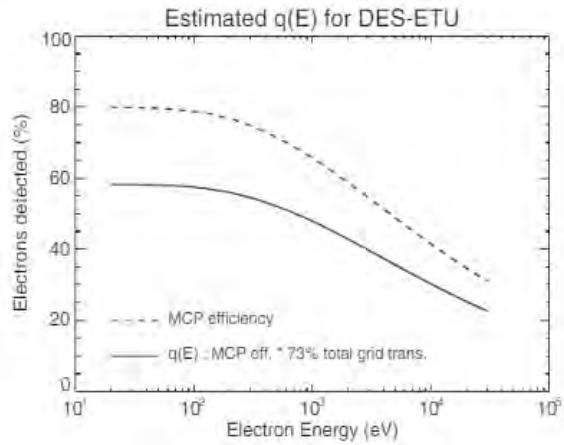


Figure 60 : Efficacité des MCP estimée en fonction de l'énergie des électrons reçus [10]

Enfin, le dernier paramètre à étudier pour les MCP est leur efficacité qui caractérise le ratio du nombre de particules détectées par rapport au nombre de particules reçues par les détecteurs. Ce paramètre varie avec l'énergie, l'angle et la masse des particules frappant les parois des MCP [15]. La dépendance avec l'énergie est tracée sur la Figure 60 pour des électrons détectés par des MCP polarisées de façon à accélérer les particules en amont des canaux avec une énergie de 200 eV – 300 eV, correspondant au point où l'efficacité des détecteurs est maximale [10]. On peut voir sur cette figure que l'efficacité des détecteurs diminue avec l'énergie des électrons, passant de 80 % à une valeur autour de 40 % pour les particules ayant une énergie autour de 30 keV. On peut noter que l'efficacité n'est jamais égale à un, à cause des zones mortes présentes entre les canaux des détecteurs.

La dépendance de l'efficacité avec l'angle incident des particules mesurées peut être limitée en s'assurant que l'angle de biais des MCP est adapté à la trajectoire des particules sortant de l'analyseur, pour les cas où la plage d'azimut est inférieure à 360°. Dans le cas contraire, comme c'est le cas pour AMBRE 2, les calibrations auront pour but de mesurer les variations de l'efficacité des détecteurs en fonction de l'azimut, afin de le prendre en compte lors des mesures. Cependant il y aura toujours une dépendance entre la masse des particules et l'efficacité, ce qui a peu d'impact sur les mesures d'AMBRE puisque 90 % des particules mesurées seront des protons et des électrons [3].

La détermination en pratique de l'efficacité des détecteurs se fait en comparant le facteur de géométrie (taux de transmission) de l'instrument obtenue après calibration sous vide avec le facteur de transmission déterminé par simulation [10].

### III-2) Principe de l'électronique front end

A présent que les détecteurs ont été introduits, ce chapitre se poursuit avec la présentation du fonctionnement de l'électronique front end avant de s'intéresser au design de la carte d'acquisition complète.

### III-2-1. Principe de fonctionnement

L'objectif de l'électronique front end est de convertir la charge électrique produite par les MCP en une impulsion de tension qui indiquera à la partie numérique qu'une particule a été détectée. Ces détecteurs peuvent être modélisés par une source de courant négatif en parallèle avec une capacité parasite [17], comme visible sur la Figure 61. La forme du courant délivré par les MCP est présentée sur la Figure 62, où l'impulsion a une largeur totale autour de la nanoseconde avec une amplitude qui donne une intégrale moyenne autour de 160 fC.

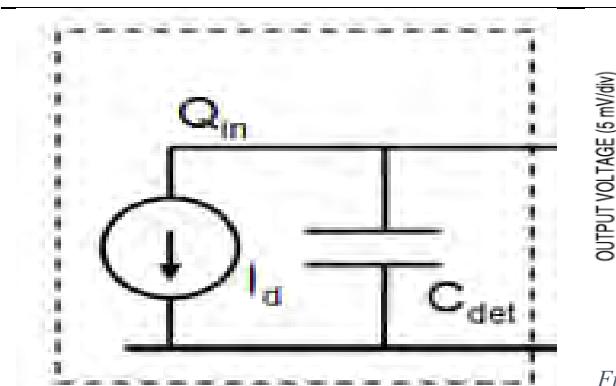


Figure 61 : Modèle électrique des MCP [17]

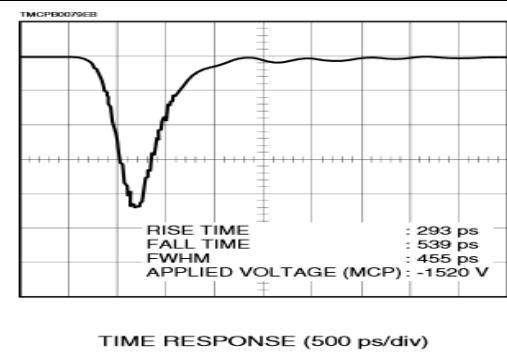


Figure 62 : Chronogramme de l'image du courant délivré en sortie des MCP [16]

Le schéma de principe de l'électronique front end est présenté sur la Figure 63. La chaîne de mesure est composée d'un préamplificateur de charge (CSA). Il a pour rôle d'intégrer le courant délivré par la MCP sur l'anode afin d'avoir en sortie une tension analogique dont l'amplitude est proportionnelle à la charge délivrée par les détecteurs. Un compromis est cependant à faire sur l'intégrateur afin qu'il puisse se décharger avec une constante de temps suffisamment grande pour intégrer toute la charge délivrée sans pour autant dégrader la dynamique du système de détection et avoir un taux de comptage maximal qui soit limité uniquement par les détecteurs [17]. La tension en sortie du préamplificateur de charge est ensuite comparée à une tension de référence externe choisie de manière à détecter tous les coups tout en supprimant d'éventuelles diaphonies entre les voies de l'électronique front end, pour fournir en sortie un signal carré qui sera envoyé à la partie traitement numérique.

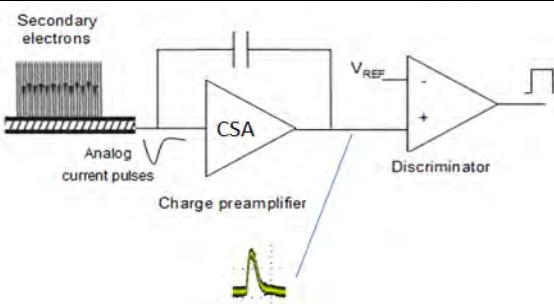


Figure 63 : Schéma de principe de l'électronique front end [17]

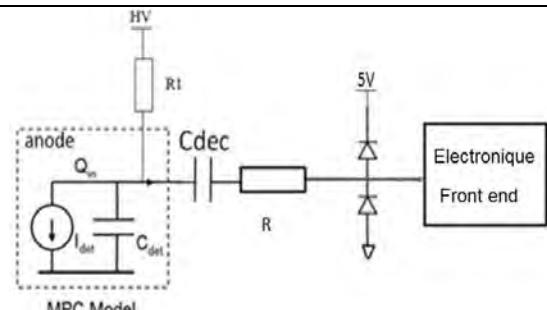


Figure 64 : Schéma réel du couplage entre les anodes et l'électronique front end

Un dernier point important pour le design de la carte de détection est l'interface entre l'anode des MCP et l'électronique front end. Comme présenté sur la Figure 64, l'anode est polarisée à une haute tension à travers une résistance de valeur élevée, autour de  $1\text{M}\Omega$ . La grille du transistor d'entrée du front end étant polarisée à une tension d'environ 1 volt, une capacité de découplage est insérée entre les deux sous-systèmes. Afin de protéger l'électronique des décharges électrostatiques, une résistance R ainsi que des diodes de protection sont insérées en amont. Cependant, ces composants entraînent des modifications sur le signal fourni par les MCP, comme une augmentation de la durée d'impulsion à cause de la résistance R, mais aussi la présence d'oscillations à cause des capacités parasites induites par les diodes qu'il faut considérer (comme présenté dans l'étude de l'annexe 2).

Pour AMBRE 2, l'électronique utilisée est un ASIC qui est un circuit intégré incluant seize voies d'intégration de charge avec les discriminateurs. Ce composant permet de réduire la consommation et l'encombrement de l'électronique front end, par rapport au cas où des amplificateurs discrets seraient utilisés, comme c'était le cas pour AMBRE 1 avec des AMPTEK [28].

### III-2-2. Présentation de l'ASIC du LPP

L'ASIC utilisé pour l'instrument AMBRE 2 est celui qui a été développé par le Laboratoire de Physique des Plasmas (LPP ; Paris) pour l'instrument EAS (Electron Analyser Sensor) de la mission Solar Orbiter, qui utilise des MCP. Cet ASIC est composé de 16 chaines de mesure qui sont reliées aux 16 anodes d'AMBRE 2. Chacune de ces chaines est composée d'un préamplificateur de charge suivi d'un comparateur comme visible sur le synopsis de la Figure 65. Le principe utilisé pour cet ASIC est identique à celui présenté sur la Figure 63. Cependant, une partie numérique a aussi été implémentée ici. La partie numérique comprend deux fonctions, comme visible sur la Figure 63. Elle permet d'une part de générer les tensions de seuil de chaque voie en interne avec des DAC (Digital to Analog Circuit : convertisseur numérique analogique), mais aussi de tester l'ASIC en interne en simulant l'arrivée d'une charge en entrée du préamplificateur de charge (CSA).

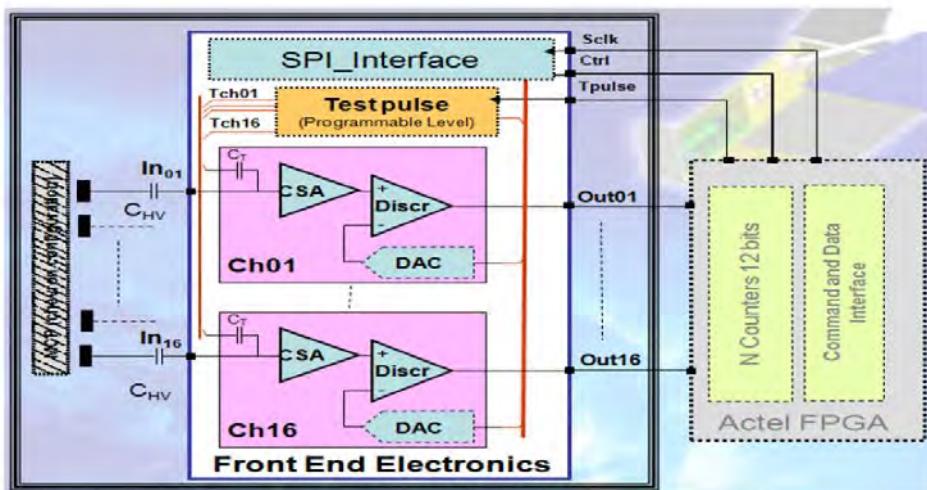


Figure 65 : synopsis de l'EASIC 001 développé par le LPP [18]

La configuration de l'ASIC, qui comprend les différentes tensions de seuil ainsi que le test interne, se fait par liaison SPI. La liaison SPI (Serial Peripheral Interface) est une liaison série bidirectionnelle synchrone qui est composée de trois E/S : une pour l'horloge, une pour les données entrantes et une pour les données sortantes. Le message à envoyer à l'ASIC est un mot de 16 bits qui permet soit de configurer

les tensions de seuil avec des DAC 10 bits, soit de configurer le test interne avec une charge variable contrôlable via un dac 8 bits, comme illustré sur la Figure 66.

Serial bit number	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<b>Thresholds DACs</b>	<b>ADDRESS 0 to 15</b>				<b>DATA (10 bit)</b>										<b>1</b>	<b>X</b>
<b>Test Pulse DAC</b>	X	X	X	X	<b>DATA (8 bit)</b>										X	X
Command bit value	a0	a1	a2	a3	b0	b1	b2	b3	b4	b5	b6	b7	b8	b9	a4	
LSB	-	-	MSB	LSB	-	-	-	-	-	-	-	-	-	MSB	-	

Figure 66 : format des messages de commande de l'ASIC par liaison SPI [18]

Pour le test de la carte de détection avec les MCP sous vide, il faut veiller à concevoir une partie numérique pour la configuration de l'ASIC de telle sorte que les détecteurs puissent être caractérisés.

### III-2-3. Réalisation de la carte front end

A présent que les détecteurs et l'électronique front end ont été présentés, ce paragraphe traite de la réalisation de la carte de détection qui sera par la suite caractérisée. La carte de détection comprend l'alimentation des MCP, l'électronique front end ainsi que les circuits de protection qui font le couplage entre les anodes et l'ASIC. Le couplage utilisé est présenté sur la Figure 67, où la valeur de la capacité  $C_{det}$  est choisie autour de  $1\text{nF}$  (valeur supérieure aux capacités parasites) de façon à collecter au niveau de l'ASIC toutes les charges délivrées par les détecteurs. La résistance  $R$  est choisie autour de  $300\Omega$  de façon à ne pas trop ralentir l'écoulement des charges tout en limitant la présence d'oscillations dues aux capacités parasites, comme étudié dans l'annexe 2.

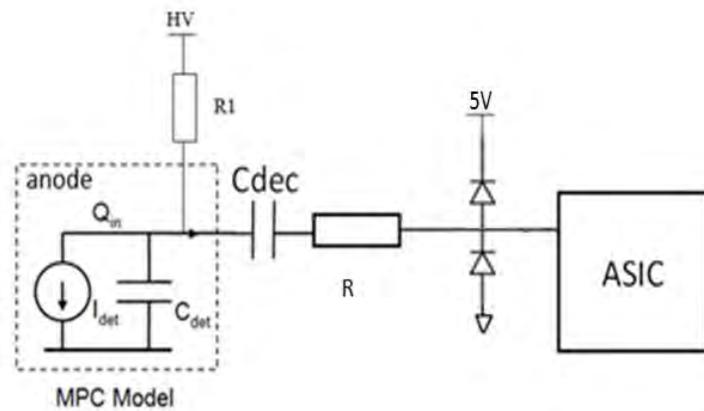


Figure 67 : Schéma réel du couplage entre les anodes et l'ASIC

Le routage de la carte de détection s'est fait avec la supervision du LPP. Le routage de cette carte est assez complexe de par la présence de haute tension autour de  $3\text{kV}$  pour l'alimentation des MCP, qui nécessite une attention particulière pour éviter tout claquage sur la carte. De plus, le routage conditionne les performances de l'ASIC, que ce soit pour éviter la diaphonie (qui apparaît lors d'un couplage capacitif entre l'entrée et la sortie de différentes voies) ou la présence de capacités parasites qui dégraderaient les performances de l'ASIC. Une autre contrainte pour la réalisation de la carte est l'encombrement, qui doit être faible afin de limiter le poids de l'instrument.

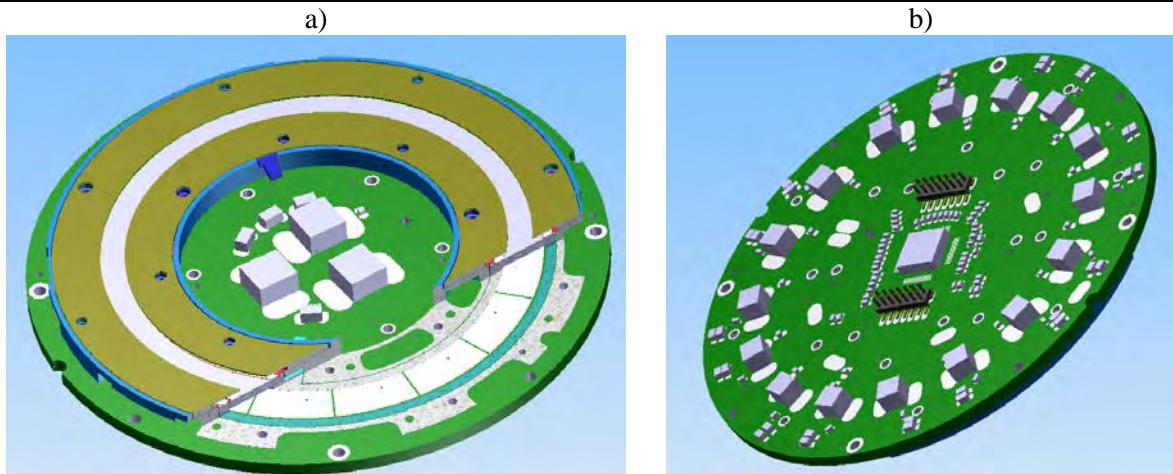


Figure 68 : Vue CAO de la carte de détection réalisée pour AMBRE 2 avec pour a) la vue de dessus et b) vue de dessous

La carte finalement réalisée est présentée sur la Figure 68, où la face supérieure contient les détecteurs composés d'un empilement de MCP au-dessus des seize anodes, et les capacités de filtrage pour l'alimentation des détecteurs (comme visible sur la Figure 68-a). La face inférieure contient l'ASIC. Il se situe au centre de la carte avec les capacités de découplage de la Figure 67 et les connecteurs pour la transmission des signaux (configuration de l'ASIC et mesure des taux de comptage pour les seize anodes, comme visible sur la Figure 68-b).

### III-3) Calibration de la carte front end

A présent que la carte de détection est réalisée, cette partie traite de sa caractérisation avant de valider sa réalisation.

#### III-3-1. Principe de calibration des MCP

L'objectif des calibrations est de déterminer les performances de la carte front end tout en vérifiant le bon fonctionnement de la chaîne de mesure complète, allant des MCP à la mesure des taux de comptage.

Les calibrations se passent en deux temps : des premiers tests sont réalisés sans détecteurs sur paillasse afin de mesurer les gains de conversion de chacune des voies de l'ASIC et de vérifier que le routage et les composants de protection ne perturbent pas les performances théoriques de l'ASIC. Ces tests ont aussi pour but de caractériser la diaphonie entre les voies de l'ASIC due aux différents couplages. Enfin, ces tests permettent aussi de vérifier la bonne configuration numérique de l'ASIC, qui est réalisée par communication SPI. Les seconds tests se font sous vide, et ont pour but de caractériser les MCP. La caractérisation de ces détecteurs passe par la détermination du point de fonctionnement nominal à travers la mesure du taux de comptage pour différentes tensions de polarisation, la mesure du gain (distribution de la charge délivrée par les MCP) et la mesure de la saturation des MCP.

Les résultats obtenus lors de la caractérisation de la carte de détection d'AMBRE 2 seront ensuite comparés avec les résultats obtenus lors de la calibration des détecteurs de MEA de BEPI COLOMBO, qui utilisent les mêmes MCP mais avec une électronique différente puisque pour cet instrument des amplificateurs discrets AMPTEK sont utilisés.

Pour effectuer ces tests, une carte numérique utilisant un microcontrôleur a dû être réalisée, dont le but est de configurer les seuils de l'ASIC par liaison SPI à partir d'une tension DC externe.

### III-3-2. Calibration sur paillasse

#### a) Configuration de l'ASIC

Les tests réalisés sur paillasse consistent dans un premier temps à vérifier que les deux cartes fonctionnent et, dans un deuxième temps, à définir la relation entre la tension de sortie des DAC de l'ASIC (transmis en binaire) et la tension DC externe fournie au microcontrôleur pour le contrôle des seuils.

##### *Configuration des seuils*

Le premier test présenté ici a pour but de contrôler la configuration du seuil. Pour cela, la sortie de l'ASIC « DAC\_TEST » qui est la sortie des DAC générant la tension de seuil est mesurée pour différentes tensions de seuil envoyées au microcontrôleur. La variation de la tension de sortie de l'ASIC en fonction de la tension de seuil envoyée est présentée sur la Figure 69.

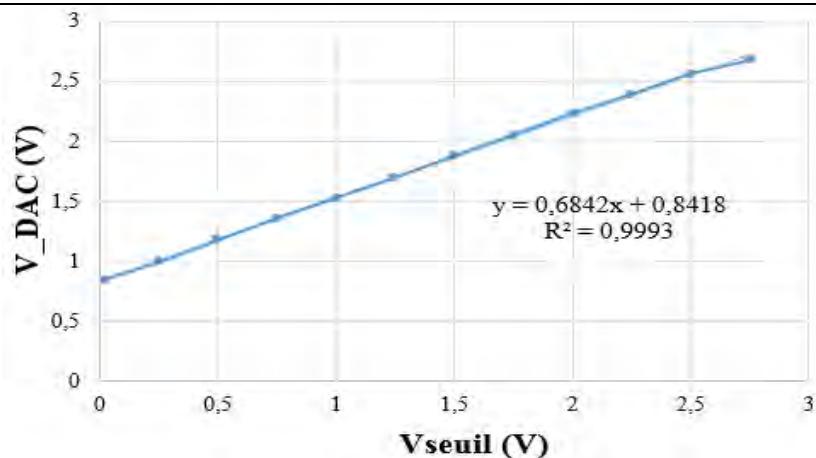


Figure 69 : Variation de la tension de sortie des DAC en fonction de la tension de seuil envoyée au microcontrôleur

La tension des DAC interne de l'ASIC varie bien en fonction de la tension de seuil comme souhaité, la courbe sera réutilisée par la suite pour connaître le gain des MCP.

##### *Fonction de test interne*

Enfin, pour la configuration de l'ASIC il reste à tester la fonction de test interne, ce qui permet en même temps de vérifier que le CSA et le comparateur fonctionnent. Pour cela, les sorties de l'ASIC de test, du CSA et du comparateur sont observées à l'oscilloscope pendant l'envoi d'une consigne de test. Le résultat de la mesure faite lors de ce test est présenté sur la Figure 70. Lorsque le signal de test (jaune) suit un front descendant, le CSA voit une charge entrante négative, ce qui entraîne l'apparition d'un signal positif à sa sortie (bleu). Et lorsque ce signal a une amplitude supérieure à la tension de seuil, le comparateur est activé, entraînant l'apparition d'un pulse de tension en sortie (violet).

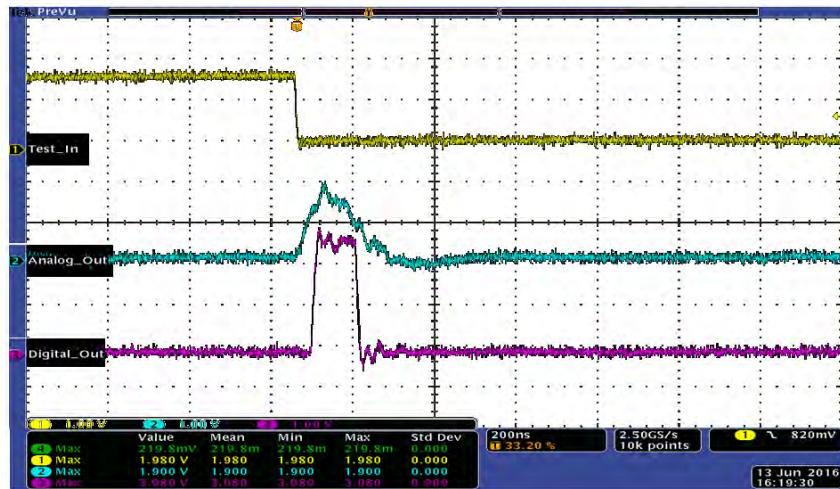


Figure 70 : Chronogramme des signaux de test (jaune), du CSA (bleu) et du comparateur (violet)

Ce dernier test montre, d'une part, que la communication est opérationnelle, mais aussi que l'ASIC fonctionne correctement.

### b) Gain de l'ASIC

La caractérisation de l'ASIC sur paillasse se fait avec un GBF qui simule une charge électrique en entrée de l'ASIC à travers un front descendant d'amplitude  $\Delta V$  appliqué sur l'anode à caractériser via une capacité C, la charge simulée en entrée de l'ASIC vaut :  $\Delta Q = C \cdot \Delta V$ .

Le gain de l'ASIC est déterminé à l'aide des S-curves, qui sont obtenues en traçant le pourcentage de coups détectés en fonction de la tension de seuil pour deux charges différentes (0.2 pC et 0.6 pC) pour chacune des voies. Pour cela, 100 impulsions sont envoyées en entrée de l'ASIC, le nombre d'impulsions détectés par l'ASIC est mesuré sur toute la plage de tensions de seuil. La tension de seuil pour laquelle le nombre de coups mesurés est égal à 50 est associée à la charge injectée.

Avec les mesures faites pour 0.2 pC et 0.6 pC il est possible d'en déduire le gain de conversion pour chacune des voies, comme présenté sur la Figure 71 avec l'équation (III.1), où l'étude a été réalisée pour la voie 0 de l'ASIC.

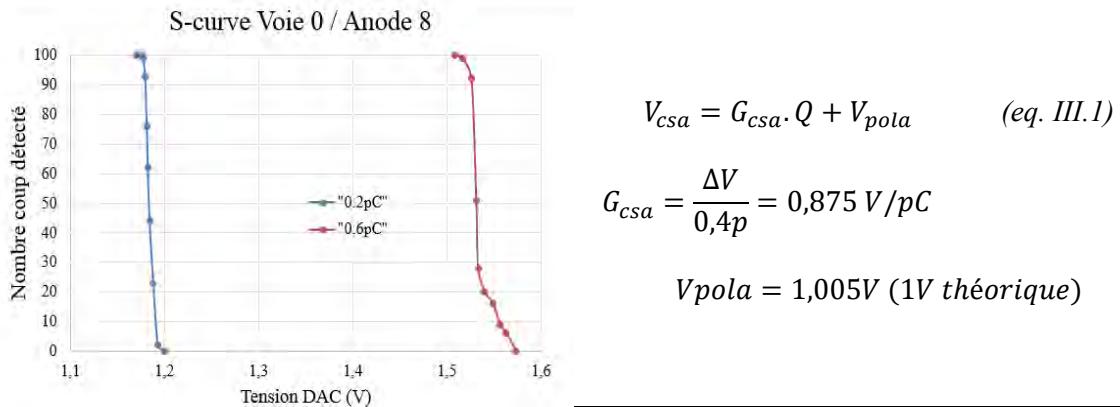


Figure 71 : mesure faite pour la voie 0 de l'ASIC (anode 8)

En répétant ces mesures pour les autres voies de l'ASIC utilisées pour le test sous vide, il est possible de déduire la variation du gain entre les voies, comme présentée sur la Figure 72. Celle-ci montre une dispersion de gain allant de 0.88 V/pC à 0.82 V/pC, ce qui est cohérent avec la datasheet de l'ASIC [18].

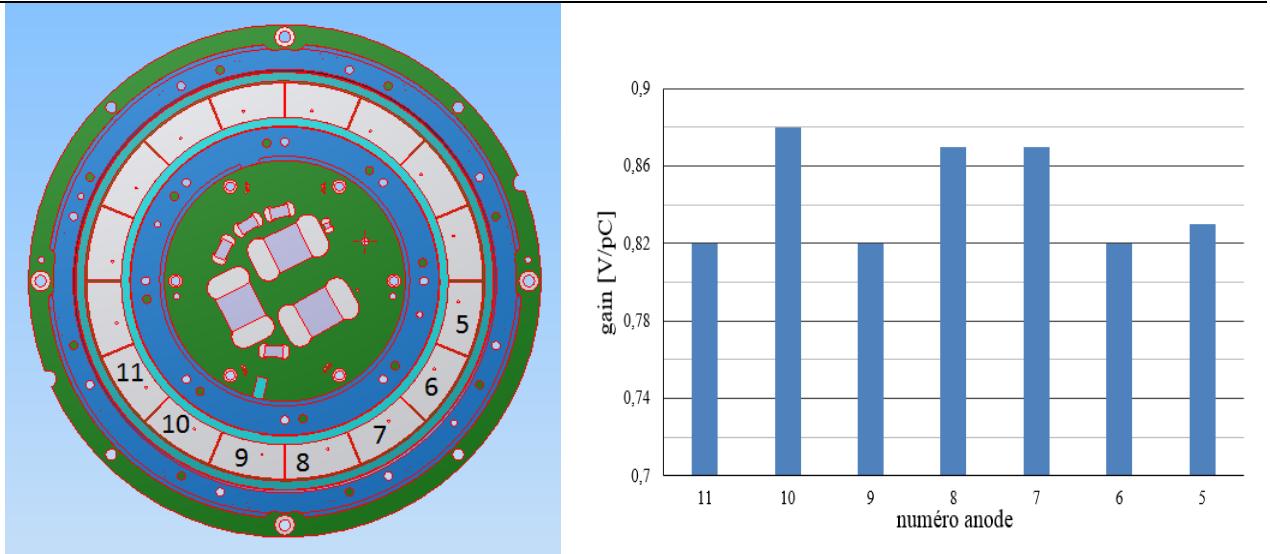


Figure 72 : variation du gain entre les voies de l'ASIC

Pour ces tests, sept voies ont pu être caractérisées uniquement, à cause de l'absence d'un EGSE (Electrical Ground System Equipment). Les tests complets pour les seize voies sont présentés dans le chapitre V avec la caractérisation du prototype complet.

### III-3-3. Calibration sous vide

#### a) Mesure du bruit

Avant la caractérisation des MCP, un premier test est réalisé afin de déterminer la plage de seuil qui permet d'éviter l'oscillation de l'ASIC due au bruit présent sur la carte. Pour cela les MCP sont polarisées avec une tension autour de 2,4 kV et les taux de comptage en sortie de l'ASIC sont mesurés sans activer le canon à électrons. La courbe obtenue est tracée sur la Figure 73, où le seuil minimal qui peut être utilisé est de 1,15 V (ce qui représente une charge équivalente de 0.18 pC). Le bruit au niveau de l'ASIC est important ; 4 fois supérieur à celui visible lors des tests sur paillasse. Ce bruit est dû au banc qui utilise des câbles de longueur supérieure à 8 m pour transmettre les signaux analogiques.

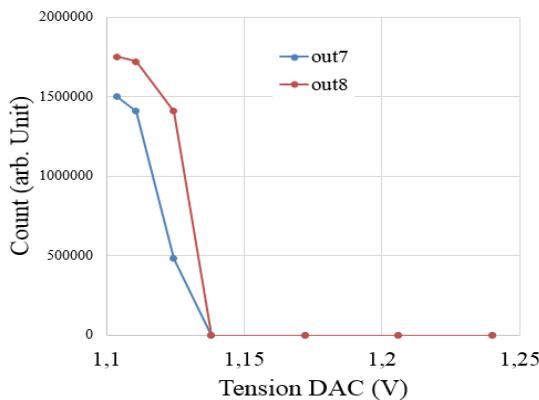


Figure 73 : coups fonction du seuil (Dark count & bruit)

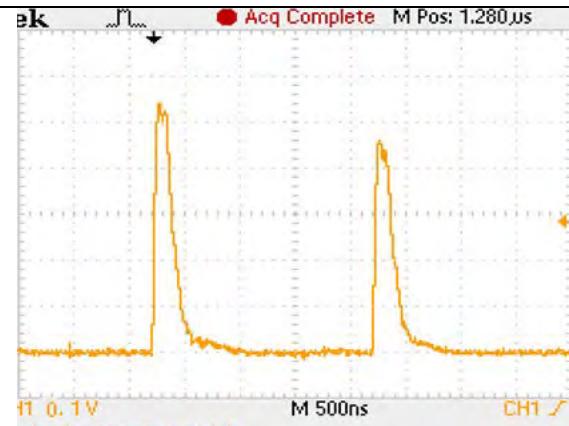


Figure 74 : chronogramme observé en sortie du CSA

Pour la caractérisation de la MCP, la tension de seuil est fixée à une valeur légèrement supérieure de 1,25 V. Lors de l’activation du canon à électrons le préamplificateur se déclenche, comme visible sur la Figure 74, montrant des signaux d’amplitude autour de la centaine de millivolts (ce qui est supérieur au bruit).

### b) Polarisation des MCP

A présent que la plage de seuil disponible est déterminée pour la détection des particules, il reste à caractériser les MCP. La détermination du fonctionnement nominal des MCP se fait par la mesure du taux de comptage en sortie de l’ASIC pour différentes tensions de polarisation. La courbe obtenue est tracée sur la Figure 75, où un coude apparaît pour une valeur de HT autour de 2800 V. Ceci correspond au point de fonctionnement des MCP.

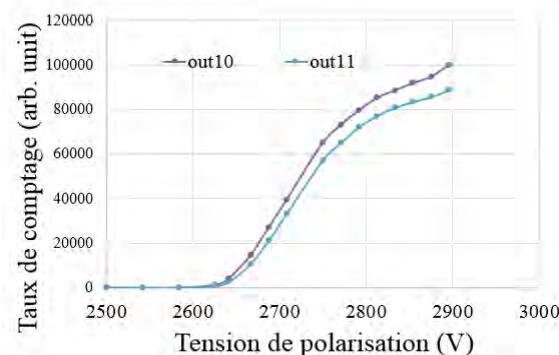


Figure 75 : Taux de comptage fonction de la polarisation pour deux anodes de la MCP

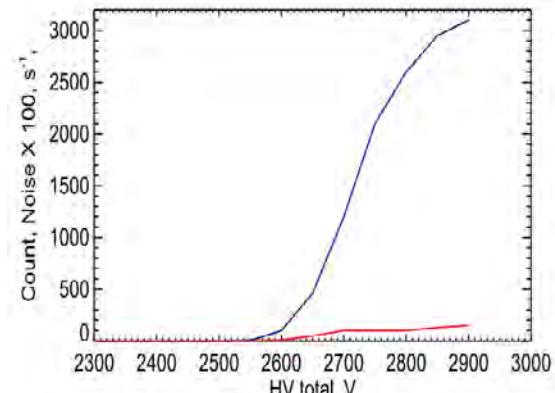


Figure 76 : polarisation mesurée pour BEPI

La Figure 76 présente les mêmes mesures effectuées avec des AMPTEK pour la mission BEPI COLOMBO. Les résultats sont cohérents avec ceux obtenus par l’ASIC, avec une saturation apparaissant pour une alimentation autour de 2800 V.

### c) Gain des détecteurs

A présent que le point nominal de fonctionnement des MCP a été déterminé, cette partie traite de la mesure du gain des MCP. Pour cela, deux méthodes de mesure sont utilisées : une première, déjà utilisée

avec des AMPTEK, se fait en mesurant la distribution de l'amplitude de sortie de la chaîne analogique, et une seconde utilisée pour l'ASIC avec la mesure des S-curves, comme présenté et utilisé lors de la caractérisation de l'ASIC sur paillasse [19].

#### *Mesure à partir de la tension de sortie du CSA*

La première mesure de gain est faite à travers la mesure de la distribution de l'amplitude max du signal en sortie du CSA, obtenue avec un ADC (Analog to Digital Circuit) et le logiciel SpectLab. La courbe obtenue est tracée sur la Figure 77. Le pic obtenu est pour une charge autour de 0.25 pC pour une tension de polarisation appliquée de 2850V.

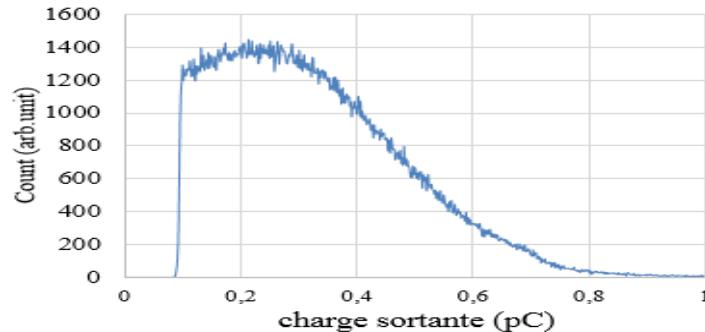


Figure 77 : distribution de la charge en sortie des MCP obtenue avec Spectrlab

La distribution du gain est en théorie centrée sur une valeur autour de 200-300 fC (ce qui correspond à un gain autour de  $2 \cdot 10^6$  d'électrons), ce qui est cohérent avec la théorie et le tracé de la Figure 59.

#### *Mesure à partir du S-curve*

La méthode précédemment utilisée n'est pas adaptée pour des ASIC qui n'ont pas de sortie analogique disponible pour toutes les voies. C'est pour cela qu'une seconde méthode est utilisée à partir des sorties numériques [19]. Cette méthode consiste à mesurer le taux de comptage de chaque voie en fonction de la tension de seuil (mesure des S-curves) puis à dériver ces courbes pour avoir la fonction de distribution du gain de la MCP [19]. Les S-curves mesurées pour les différentes voies sont tracées sur la Figure 78 qui, en les dérivant, donne la distribution du gain des MCPs (en fonction de la tension de DAC qui peut être ramenée à la charge).

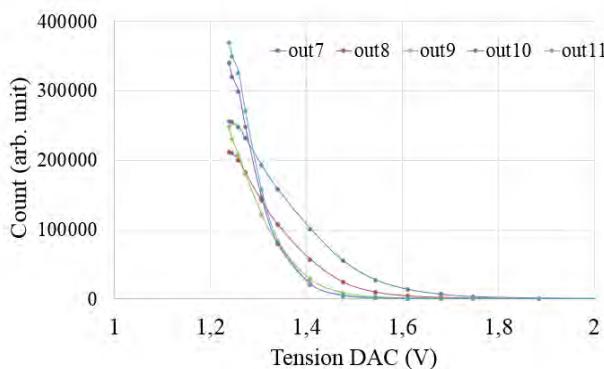


Figure 78 : S-curve mesuré avec MCP

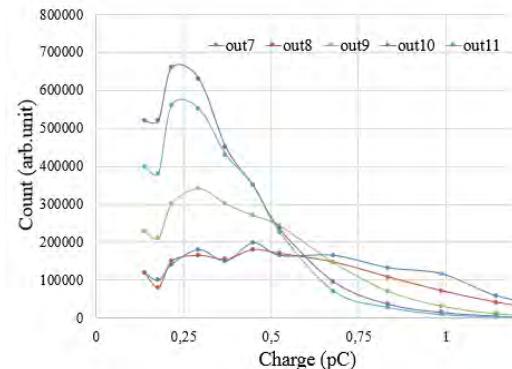


Figure 79 : Distribution de charge produite par la MCP

Les distributions de gain déduites avec cette méthode sont tracées sur la Figure 79. Le maximum est obtenu pour une charge autour de 0.25 pC, ce qui est en accord avec les mesures présentées sur la Figure 77. Cependant, pour que cette méthode permette d'avoir une mesure aussi précise que la précédente il faut pouvoir contrôler la tension de seuil avec une grande précision, ce qui n'est pas le cas lors de ces tests, à cause de la longueur des câbles et du bruit présent.

#### d) Saturation des MCP

Enfin le dernier test qui est présenté ici porte sur la saturation des détecteurs. Pour ce test le taux de comptage est mesuré en fonction du courant du filament du canon à électrons qui contrôle le flux d'électrons émis. La courbe obtenue pour une des voies est tracée sur la Figure 80, où le taux de comptage augmente avec le courant de filament jusqu'à l'apparition d'une saturation autour de 540 000 coups/sec qui entraîne la paralysie du système de mesure.

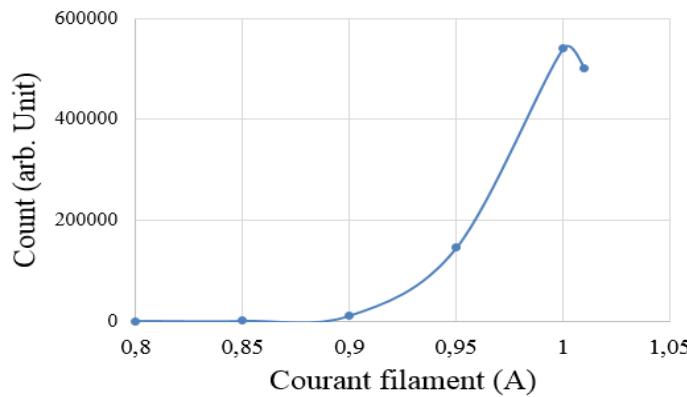


Figure 80 : Taux de comptage fonction du courant de filament

La courbe obtenue sur la Figure 80 est en accord avec le comportement théorique tracé sur la Figure 58, où lorsque le taux de comptage devient trop important, une saturation apparaît. Lors de la détection d'une particule des charges sont extraites de la MCP. Ceci entraîne la modification de la distribution de potentiel dans la MCP, qui se rééquilibre avec le courant de polarisation des détecteurs. Mais lorsque le taux de comptage est trop important le rééquilibrage n'a plus le temps de se faire et la charge extraite diminue jusqu'à ce que les détecteurs ne puissent plus mesurer les particules, entraînant la paralysie du système. En pratique, la saturation apparaît pour des taux de comptage autour de 1 000 000 coups/sec/cm<sup>2</sup>. Ceci correspond pour une anode d'AMBRE 2 à une saturation autour de 330 000 coups/sec, comme présenté sur la Figure 40.

Ici la mesure donne une saturation autour de 540 000 coups/sec, ce qui est du même ordre de grandeur que la saturation théorique. Cependant, les valeurs de la tension de polarisation ainsi que de la tension de seuil modifient le taux de comptage maximal, ce qui peut être à l'origine de l'écart avec la théorie.

#### e) Conclusion & remarques

Les tests sur paillasse ont permis de caractériser l'ASIC avec la carte de détection, ce qui a montré un gain de conversion autour de 0,86 V/pC avec une faible variation sur chacune des 7 voies qui ont été utilisées pour les tests avec les MCP. Les tests avec les détecteurs sous vide ont permis de montrer que l'ASIC et sa configuration par liaison SPI étaient fonctionnels, mais que le bruit présent lors de ces tests était important : supérieur à 3 fois celui visible lors des tests sur paillasse. Malgré le bruit, le gain des

détecteurs a pu être mesuré avec deux méthodes. La première consiste à utiliser la sortie analogique de l'ASIC, ce qui a montré des résultats cohérents avec la théorie. La seconde méthode consiste à utiliser les sorties numériques, ce qui a montré des résultats similaires. Cependant, pour avoir des mesures de qualité avec cette méthode il faut pouvoir contrôler les tensions de seuil de manière précise, ce qui n'était pas le cas lors des tests. Globalement les tests ont permis de montrer que l'ASIC était fonctionnel et que son comportement est similaire à celui des AMPTEK.

Pour les prochains tests il faudra caractériser la diaphonie présente entre les voies, en les excitant individuellement. Pour cela, l'analyseur électrostatique sera utilisé pour ses propriétés de focalisation azimutale avec comme source un plasma froid, comme illustré sur la Figure 138. De plus, afin d'augmenter la précision sur le contrôle des tensions de seuil un composant numérique intégré de type FPGA (Field Programmable Gate Array) devra être utilisé pour configurer l'ASIC numériquement et ainsi diminuer les problèmes de bruit.

