



TE-ABT

CERN TE-Note-2009-006

Antoine.Prost@cern.ch

## Adaptation des fiches HT des Septa électrostatiques du SPS pour les Septa du PS en vue d'utiliser le câble EPR

Antoine Prost / TE-ABT

Mots clés : septa, électrostatique, fluorinert

---

---

### Résumé

Suite à de nombreux problèmes de destruction de câbles PB300b d'alimentation des Septa électrostatiques de l'accélérateur PS, il a été choisi de les remplacer par un câble de type EPR. En effet ces câbles haute tension PB300b devenus trop vieux et installés en milieu radioactif ne tiennent plus la tension nominale requise pour les Septa. De plus ceux-ci ne sont plus fabriqués dans l'industrie ce qui empêche tout échange avec un câble similaire.

Le câble type EPR est basé sur une technologie plus récente et est aussi plus résistant à la radiation. Il a fait ses preuves dans le passé étant utilisé pour l'alimentation des Septa électrostatiques ZS situés sans le SPS. Étant donné que le câble PB300b 300 kV n'a pas les mêmes dimensions que le câble EPR, il a été nécessaire d'adapter une fiche compatible avec ce nouveau câble et la traversée utilisée sur les Septa électrostatiques du PS.

L'ancien câble PB330b est utilisé avec de l'huile comme liquide diélectrique dans la traversée. Tenant compte, en cas de fuite de la traversée des risques de pollution du vide du septum, et de l'accélérateur PS, il a été décidé de remplacer l'huile comme liquide diélectrique par du Fluorinert non polluant si une fuite apparaît dans l'enceinte à vide. L'adaptation des fiches HT pour le câble EPR en tient compte également.

---

### 1. Introduction

Les Septa électrostatiques SEH23 et SEH31 du PS utilisés pour l'éjection vers la zone d'expérience EST et dans la machine SPS sont alimentés avec une tension continue de 180 kV nominal. Cette tension est portée à 250 kV pendant le conditionnement Haute Tension. Lors du fonctionnement et de la formation, des claquages se produisent dans l'enceinte à vide, claquages qui entraînent des réflexions dans le câble provoquant un stress électrique élevé de celui-ci pouvant aller jusqu'à la destruction pour des câbles de fabrication ancienne.

L'utilisation du câble EPR entraîne un changement de fiche haute tension. En effet ce câble ayant un diamètre plus gros, les anciennes fiches ne sont plus compatibles avec ce dernier. Elles seront remplacées par des fiches modifiées utilisées pour les ZS du SPS.

Cette note décrit les modifications apportées à la fiche haute tension de connexion des ZS et à la traversée du type PS. L'étude s'est portée sur la simulation du champ électrique élevé et sur la circulation du Fluorinert isolant.

## 2. Choix du câble EPR

L'ancien câble PB300b utilisé est constitué d'une âme de diamètre 4.9 mm. Son isolation est faite de papier huilé diamètre 9.9 mm et de polyéthylène réticulé de diamètre 25 mm. Un ruban semi-conducteur recouvre l'isolant et un blindage est tressé sur l'ensemble. Le manteau extérieur en polyéthylène basse densité porte le diamètre total du câble à 31 mm (voir Fig.1). Le rayon de courbure minimum de ce câble est de 70 cm.

Ce type de câble 'papier huilé' n'est plus produit dans l'industrie, et les stocks restant sont trop anciens pour être fiables dans les installations.

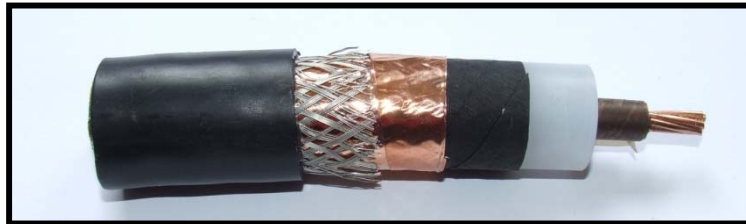


Figure 1 Câble PB300B

Le câble EPR (Ethyène Propylène Rubber) proposé est utilisé dans la machine SPS pour l'alimentation des septa électrostatiques type ZS. Il est conçu pour une utilisation en milieu hautement radioactif et sa tension d'opération maximum est de 250 kV.

De technologie plus récente, sans papier huilé (et encore utilisé dans l'industrie), il est constitué de deux couches semi-conductrices extrudées. Une couche de diamètre 10 mm se trouve sur l'âme et l'autre couche de diamètre 35 mm sur l'isolant EPR (diamètre 30 mm). Il possède lui aussi un blindage et un manteau pour un diamètre extérieur de 40 mm (voir Fig.2). Le rayon de courbure minimum de ce câble est de 50 cm.

Dans l'optique de standardisation des matériels utilisés pour les septa des accélérateurs PS et SPS et d'utiliser du matériel existant (ou plus courant) dans l'industrie, notre choix se porte sur ce câble EPR malgré un diamètre de celui-ci supérieur, ce qui nous oblige à modifier les fiches de connexion haute tension.



Figure 2 Câble EPR

## 3. Modification fiche de traversée et traversée HT

L'utilisation du câble EPR nécessite un changement de fiche de connexion. La fiche utilisée sera celle des ZS, mais, afin de la rendre compatible avec les traversées Haute Tension des septa électrostatiques SEH23 et SEH31, il a fallu apporter des modifications tant au niveau de la fiche (voir Fig.3) que de la traversée (voir Fig.4) existante.

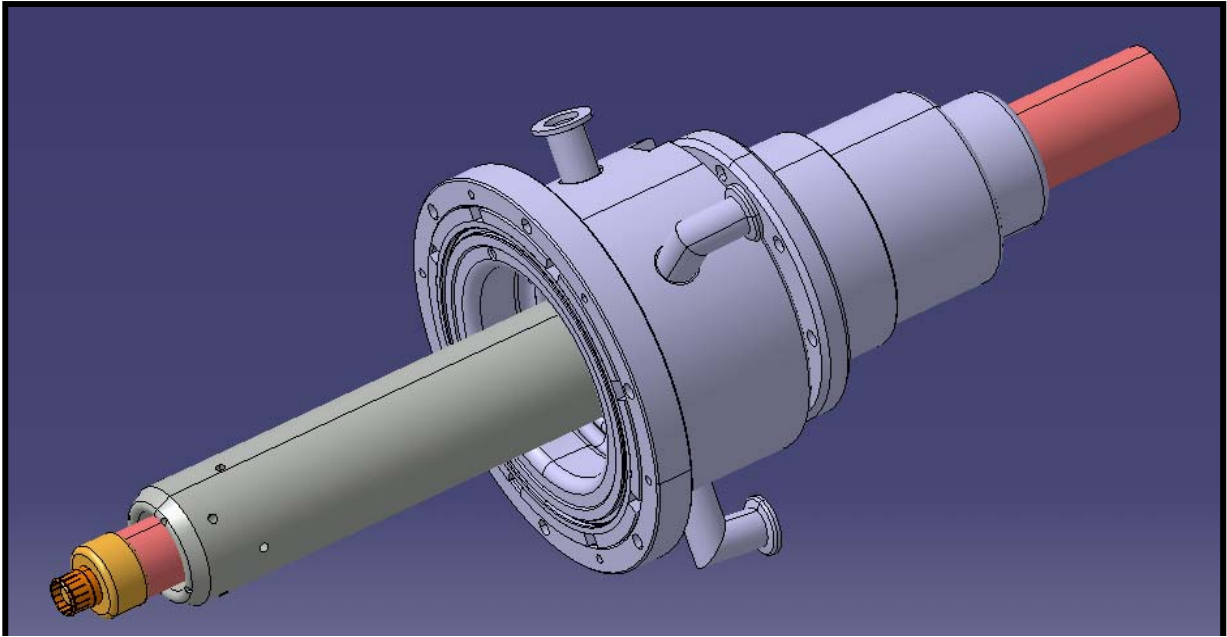


Figure 3 Fiche de traversée HT

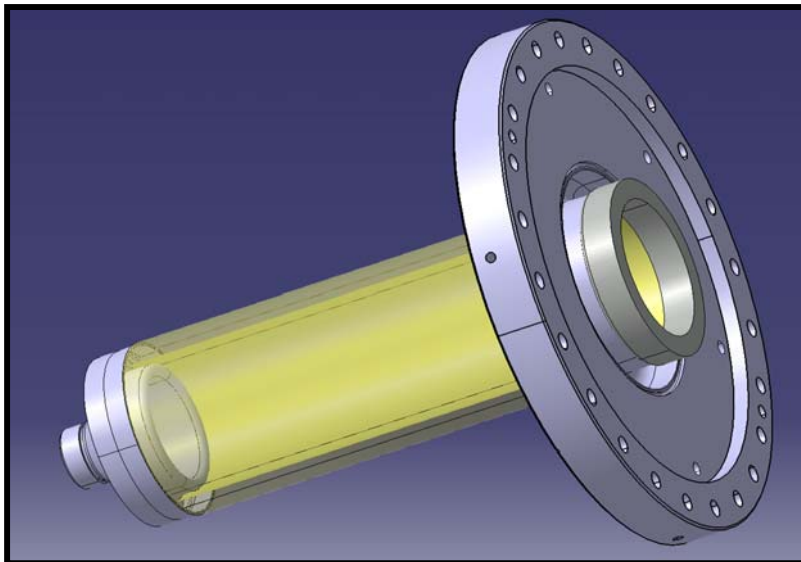


Figure 4 Traversée HT

Ces modifications sont nécessaires pour des questions d'optimisation de champ électrique, de circulation du Fluorinert isolant et d'encombrement mécanique (voir Annexe A).

### 3.1 Champs électrique

Un calcul de champ électrique de l'ensemble fiche plus traversée haute tension des ZS a été réalisé en Flux 2D (voir Fig.5).

Le modèle géométrique créé est un modèle simplifié en 2D de la fiche et de la traversée HT. La modélisation s'effectue sur une demi-symétrie axée sur l'âme du câble portée à une tension de -300 kV. L'on retrouve le contour de la tubulure de traversée et de la fiche connectée à la masse ainsi que le collet en dilver.

Tous les composants sont représentés selon leurs géométries et le calcul de champ électrique est fait suivant les caractéristiques électriques des matériaux.

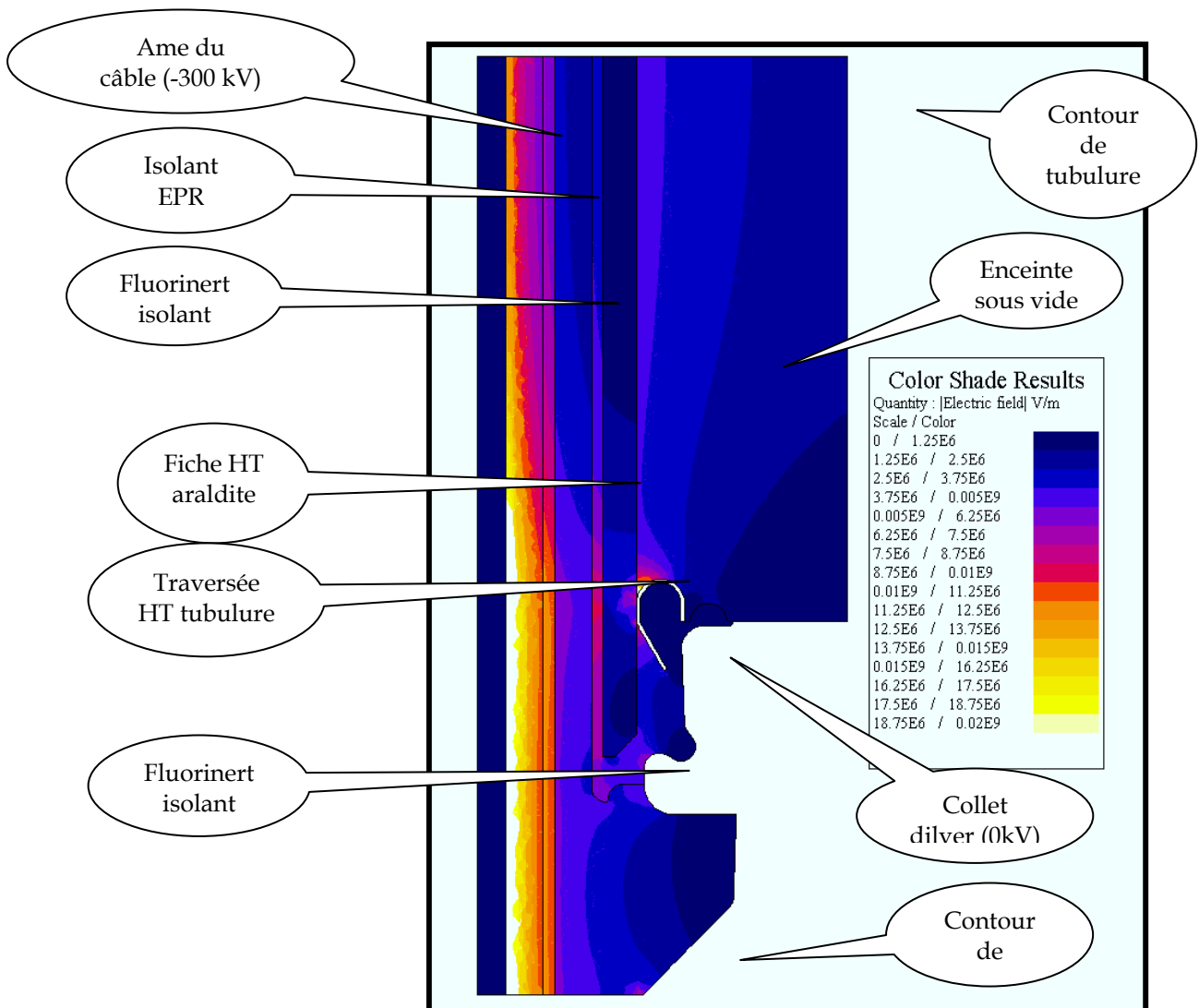


Figure 5 Simulation du champ électrique traversée et fiche HT ZS

Cette simulation nous permet d'avoir une base de comparaison de valeur de champ entre se design et le design proposé pour l'adaptation des fiches des septa électrostatiques du PS.

La traversée haute tension utilisée pour les septa électrostatiques du complexe PS est de conception similaire à celle installée dans les septa du SPS. Elles sont toutes les deux composées d'un tube en céramique (diamètre intérieur : 68 mm / extérieur : 86 mm) brasée en extrémité sur un embout assurant le contact électrique avec le câble HT. L'autre extrémité est brasée sur une bride UHV par l'intermédiaire d'un collet en dilver.

Ce collet ainsi que l'extrémité de la céramique sont de forme différente entre les deux versions de traversées (voir Fig.6 & Fig.7).

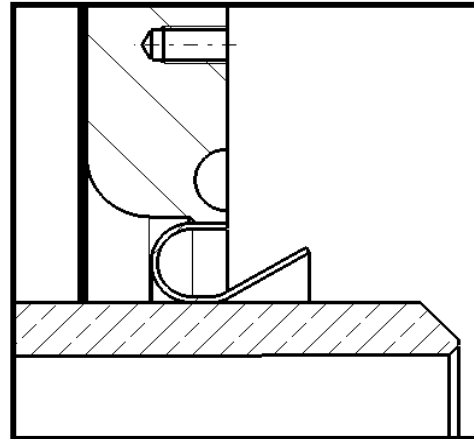
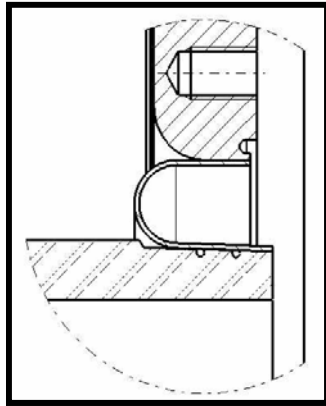


Figure 6 Collet/Céramique version PS Figure 7 Collet/Céramique version SPS

 tant donné la compatibilité des diamètres de tube en céramique, une simulation en Flux 2D de la traversée originale des septa du PS et de la nouvelle fiche proposée du SPS a été faite afin de visualiser les différences de valeur de champ sur les deux ensembles, notamment au niveau des collets (voir Fig.8).

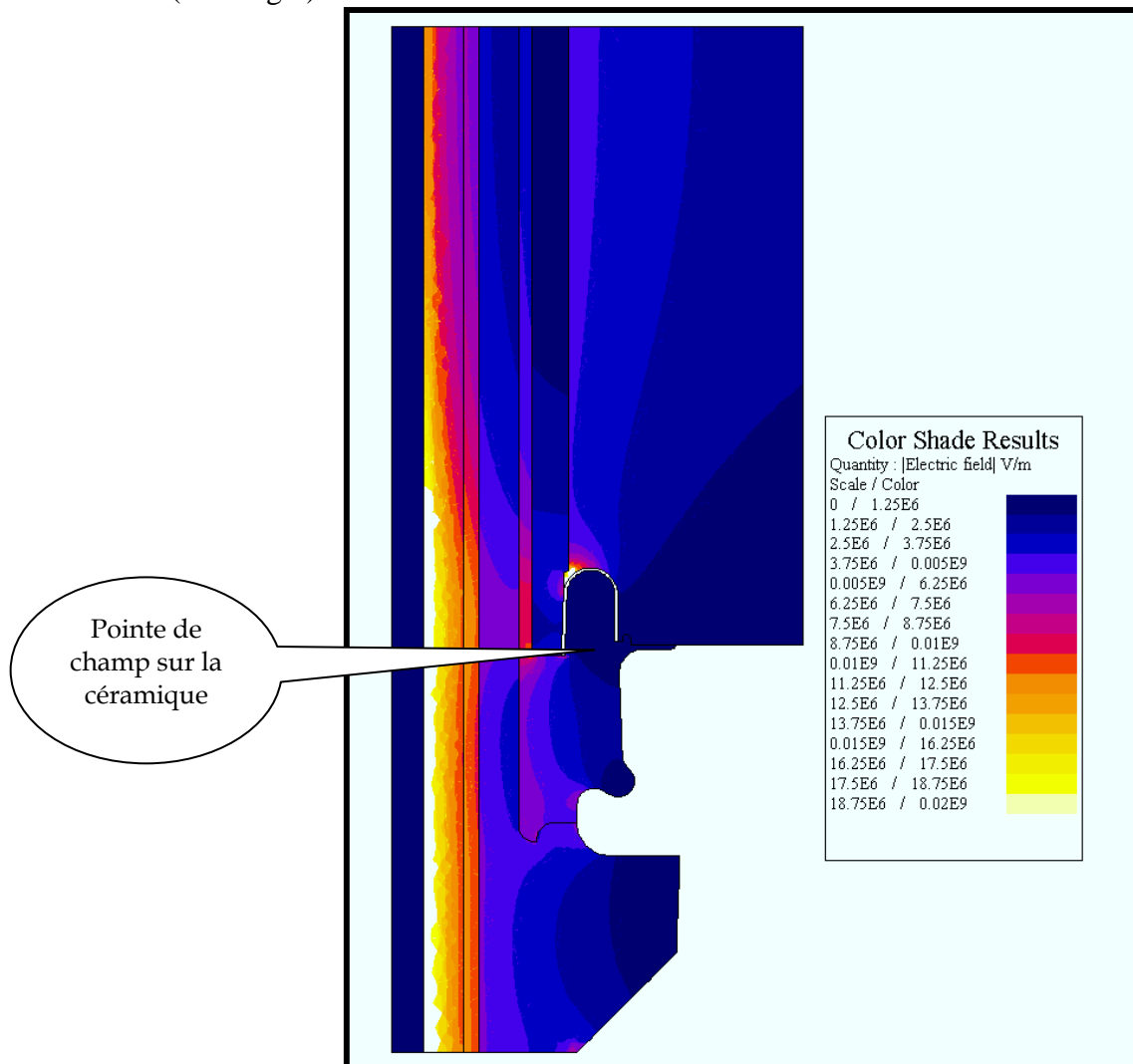


Figure 8 Simulation du champ électrique traversée PS et fiche HT ZS

L'analyse des résultats démontre que la différence de géométrie des deux types de collet dilver n'influence que très peu le champ électrique dans cette zone (7 MV/m), par contre les longueurs de tube en céramique modifient considérablement les résultats.

En ce qui concerne la traversée type PS il y a une élévation importante du champ électrique à l'extrémité de la céramique. Cette pointe de champ située sur l'arête intérieure de la céramique est d'environ 13 MV/m, soit près du double de la valeur du champ en ce point de la fiche et traversée SPS.

La solution proposée afin d'atténuer cette pointe de champ donc le stress électrique, est de coller une bague en araldite chargée à l'extrémité de la céramique (voir Fig.9).

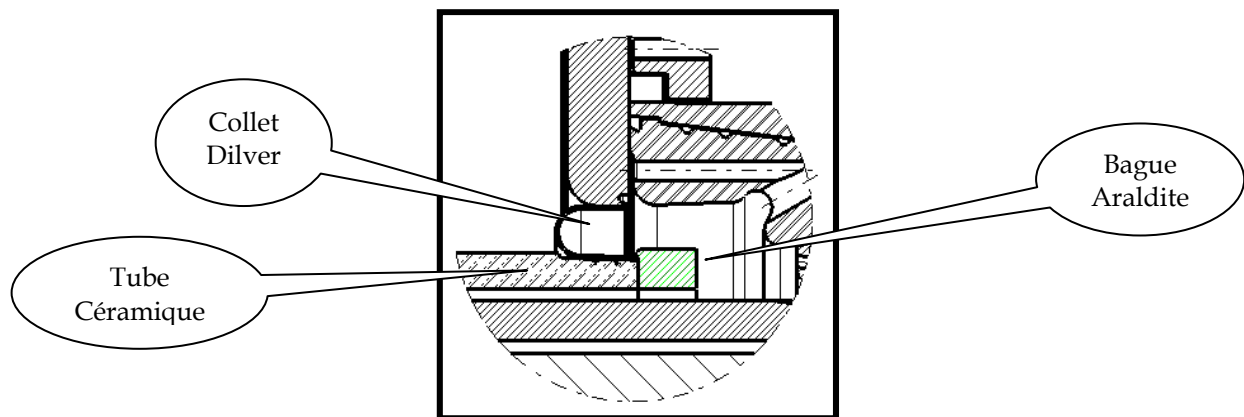


Figure 9 Détail bague araldite

Une nouvelle simulation de cet ensemble confirme l'utilité de la bague araldite (voir Fig.10). En effet les lignes de champ sont repoussées au delà de la zone du collet et la pointe disparaît. Les valeurs sont homogènes sur la longueur du tube et l'on peut considérer la solution acceptable étant donné les valeurs de champs identiques à l'ensemble type ZS du SPS (environ 7 MV/m).

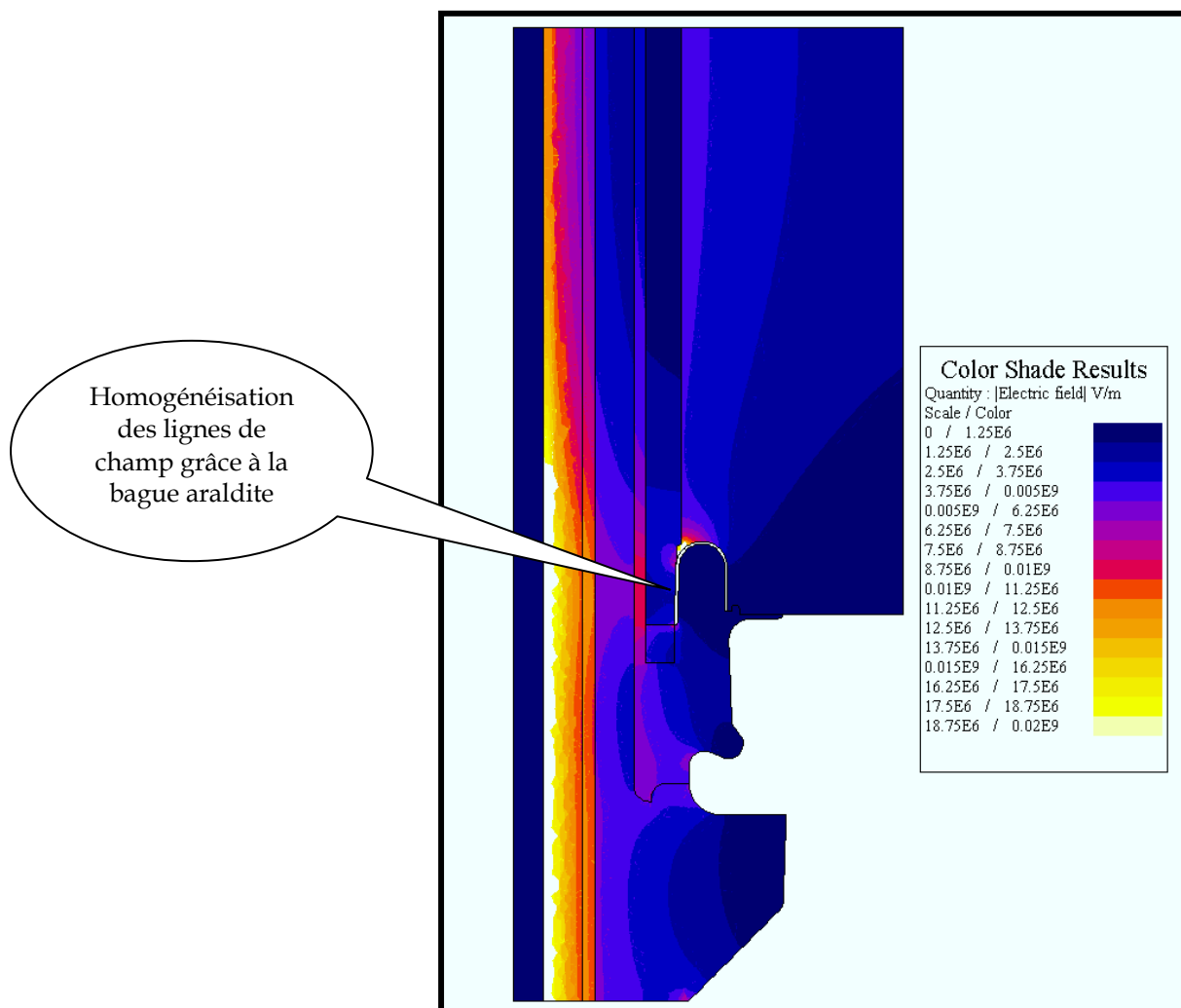


Figure10 Simulation du champ électrique traversée PS et fiche HT ZS avec bague araldite

### 3.2 Circulation Fluorinert

Du fait d'une inclinaison de quatre degrés de la traversée haute tension des septa électrostatiques du PS, des modifications sur la nouvelle fiche proposée sont nécessaires (voir Annexe A).

En effet des petits volumes emprisonnés dans la fiche empêchent une circulation parfaite du Fluorinert, ce qui a pour conséquence de générer des claquages et d'endommager la fiche. Ces volumes parasites sont alors remplis de Fluorinert non régénéré ou de bulle d'air.

Pour remédier à ce problème, les points critiques ont été répertoriés et des usinages exécutés (voir Fig.11).

Les perçages 1 et 2 exécutés à huit degrés permettent une meilleure circulation du Fluorinert dans la fiche. L'angle de huit degrés compense l'inclinaison de la traversée; ainsi le Fluorinert s'évacue naturellement vers le raccord supérieur de sortie.

Le perçage horizontal 3 évite la formation d'une bulle d'air emprisonnée entre la fiche et la bride de traversée. Cette bulle d'air se crée lors du remplissage de la fiche.

L'usinage 1 réalisé à huit degré facilite la circulation du Fluorinert à l'extrémité du bicône d'étanchéité et de la fiche haute tension.

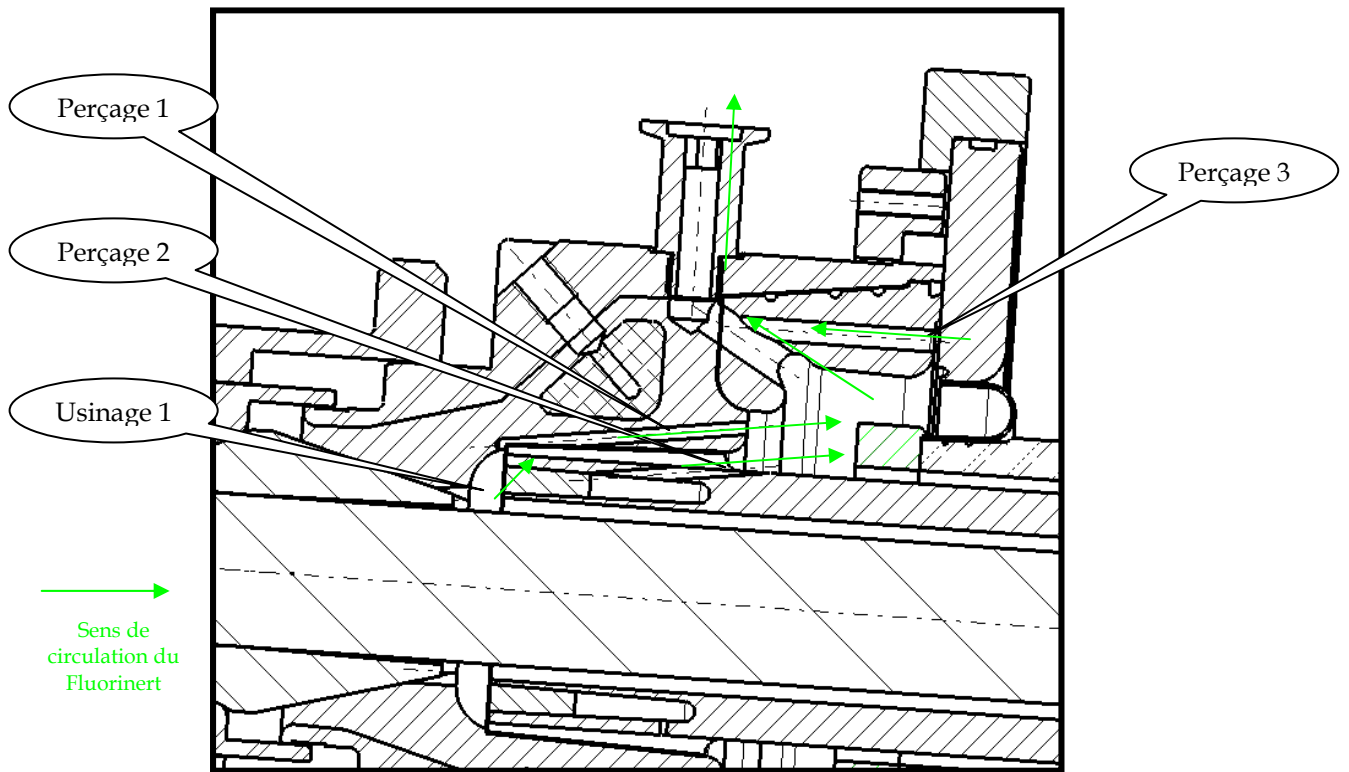


Figure 11 Détail des modifications apportées sur la fiche

Le coude du raccord de fiche inférieur (voir Fig.12) a été soudé à 96 degrés afin d'éviter tout point haut pouvant retenir une bulle d'air.

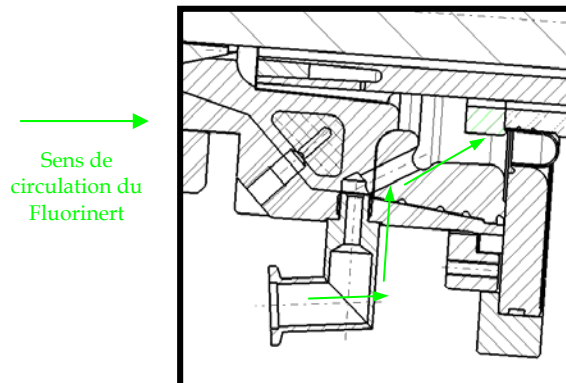


Figure 12 Détail raccord inférieur de fiche

L'ensemble de ces modifications apporté sur la fiche haute tension garantie une bonne circulation du Fluorinert sans formation de volume emprisonné.

De plus lors d'un arrêt de la station de régénération du Fluorinert, les bulles d'air pouvant apparaître dans le circuit ne restent pas coincées dans la fiche, mais sont directement évacuées vers la sortie permettant un redémarrage du septum sécurisé.



### 3.3 Encombrement et fixation

La traversée en céramique du PS étant plus courte de 70 mm, le corps de fiche en araldite sera réduit d'autant et les trous de centrage du câble haute tension refaits à l'identique, de façon à maintenir le câble concentrique à la fiche.

En ce qui concerne la fixation de la fiche sur la traversée, le système de bridage rapide du SPS ne peut être réinstallé. En effet la bride UHV DN250 de la traversée du PS a un diamètre trop petit pour recevoir ce type de verrouillage. Il sera adapté une bride rotative de fixation positionnée en appui sur la fiche et vissée par 3 vis M8 à 120 degrés sur la traversée. La fiche comprime ainsi le joint O-ring d'étanchéité en appui sur la bride de traversée rendant l'ensemble étanche (voir Annexe A).

## 4. Test

Suite aux modifications apportées sur la traversée (collage de la bague en araldite) et sur la fiche (usinage), différents tests ont été réalisés afin de valider l'ensemble.

Le premier test est celui de circulation du Fluorinert. Après fabrication d'un prototype de traversée en plexi-glass, les différents cycles de fonctionnement de la station de régénération ont été simulés : cycle de remplissage fiche, cycle de circulation standard et cycle de vidange fiche.

Les essais ont été réalisés avec du Fluorinert circulant avec le même débit que celui appliqué en machine soit 0.66 l/min. L'on constate que ces trois cycles se réalisent correctement et qu'aucune bulle d'air n'apparaît après la fin du remplissage et pendant la circulation.

Le même test a été refait avec de l'eau colorée. Ce test a pour but de confirmer la bonne circulation du Fluorinert dans toute la fiche afin d'assurer sa régénération. Les conditions de débit restent les mêmes que précédemment. Le remplissage de la fiche est tout d'abord fait avec de l'eau claire. Lorsque celui-ci est terminé, on injecte progressivement du colorant dans le tube d'entrée de la fiche jusqu'à ce que l'eau dans la fiche soit entièrement teintée. Quand la couleur est uniforme dans l'ensemble de la fiche on refait circuler de l'eau claire. Au bout de quelques minutes le colorant a complètement disparu et nous pouvons en conclure que la circulation est efficace dans la fiche haute tension.

Le test suivant est le test de validation de tenue haute tension.

L'ensemble traversée et fiche est installé sur un septum électrostatique SEH23 en vue d'un conditionnement haute tension à 280 kV (conditionnement habituel pour les tests septa). Le septum choisi a déjà été installé durant deux années dans la machine et était stocké hors vide pendant plus d'une année. Le choix s'est porté sur celui-ci afin d'avoir une formation difficile générant de nombreux claquages sous vide.

La formation s'effectue avec un courant de 30  $\mu$ A en position grand gap 30 mm.

Les premiers claquages sous vide apparaissent à une tension de 130 kV, le conditionnement dure environ 1h40 min avec de nombreux claquages stressant la traversée et la fiche haute tension. La tension de 280 kV est atteinte avec succès et un palier de consolidation à cette tension est fait durant une heure (voir Fig.13).

Pour garantir la tenue en haute tension le septum sera porté à 250 kV pendant plusieurs jours.

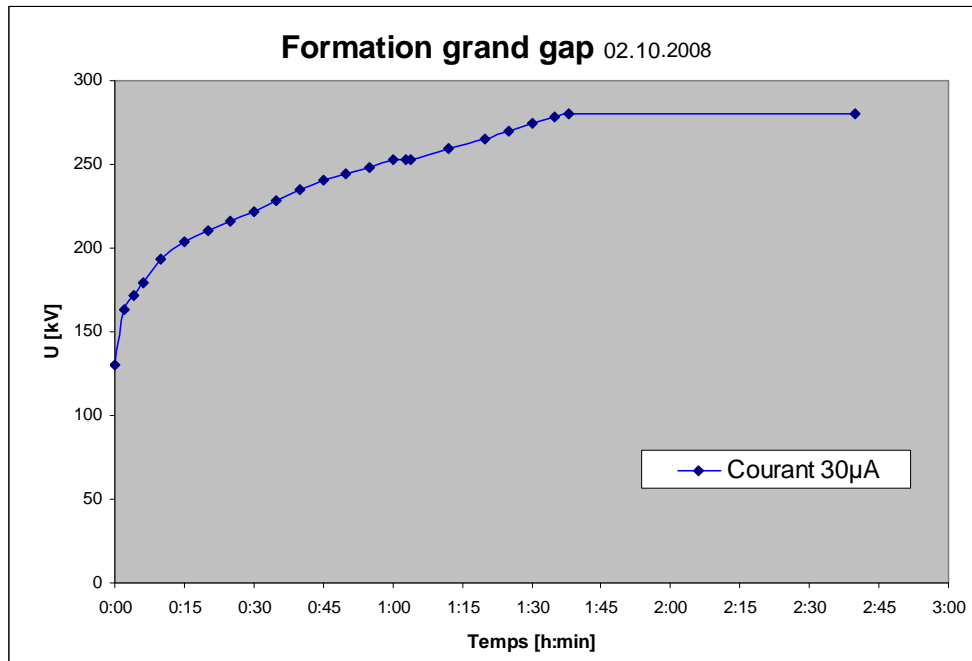


Figure 13 Courbe de conditionnement haute tension

Le dernier test sera effectué dans les conditions d'opération machine. L'ensemble est installé sur le septum SEH31. La station de régénération ainsi que le générateur machine sont connectés (voir Fig.14). Les cycles de remplissage et vidange ainsi que de circulation avec haute tension sont réalisés.

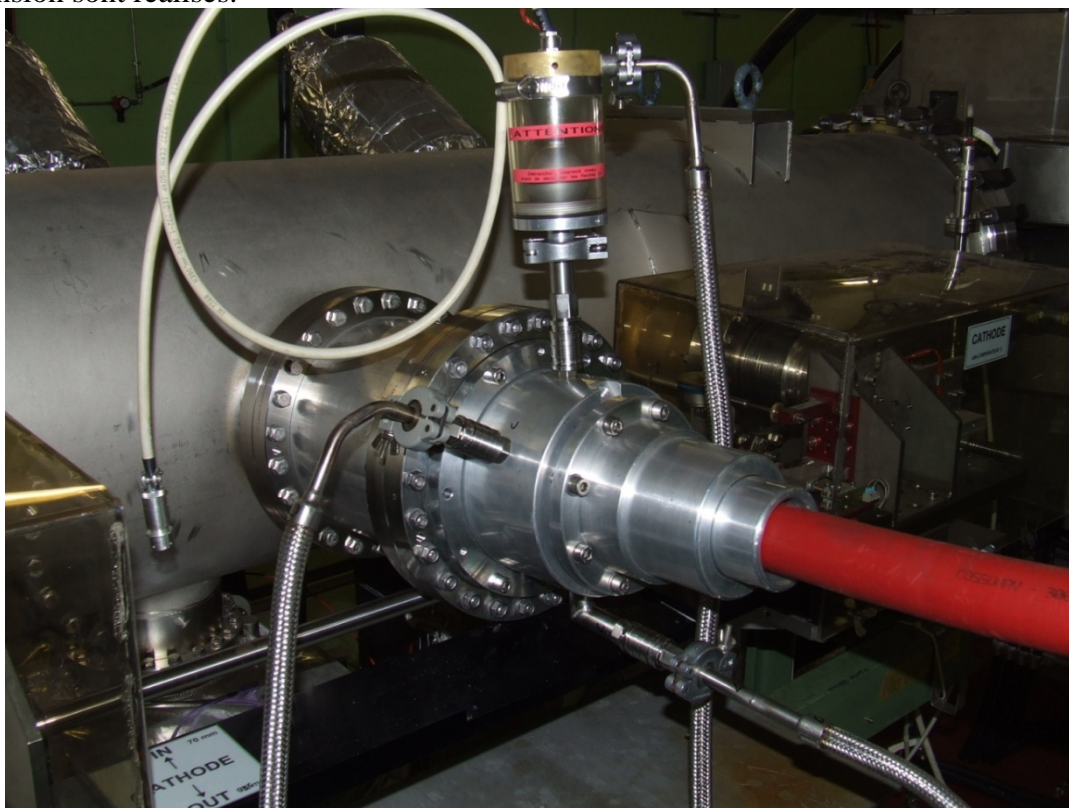


Figure 14 Installation dans la machine

## **5. Conclusion**

Suite aux différents tests réalisés, nous pouvons en conclure que l'utilisation du câble type EPR ainsi que les fiches adaptées du SPS sont envisageables pour les septa électrostatiques du PS.

L'utilisation de ce câble dans les différents accélérateurs nous permet d'avoir un stock suffisant pour plusieurs années. De plus celui-ci étant toujours disponible dans l'industrie une nouvelle commande peut être envisagée.

La standardisation des fiches, malgré les modifications à y apporter pour les rendre compatibles nous garantie des installations plus fiables à moindre coût.

L'ensemble de ces améliorations a pour conséquence directe d'avoir un taux de panne dû à la rupture des anciens câbles plus faibles. Ce qui minimise le temps d'intervention et d'irradiation des personnes intervenantes sur les installations en augmentant la durée de vie des câbles.

## **6. Remerciements**

Cette étude et réalisation n'auraient pas été possibles sans l'appui des ateliers de mécanique et de polymère du CERN. L'auteur tient à remercier les intervenants.

## **References**

[1] J.Borburgh, M.Hourican, A.Prost, "Final Results on the CERN PS Electrostatic Consolidation Program", CERN-AB-2003-041 BT

## **Annexe A**

Dessin d'ensemble de la traversée et de la fiche haute tension connectée (PS\_MSSEA0011).

