



*SPIRAL-2*

*SECTION ACCELERATEUR*

-----

**CONFIGURATION DE BASE**

**DES LIGNES BASSE-ENERGIE**

**VERSION V2**

J-L. Biarrotte, IPN Orsay  
P. Bertrand, GANIL  
D. Uriot, CEA Saclay

31 Janvier 2007

EDMS n°I-009436

## SOMMAIRE

0.	Préambule .....	3
0.1	Spécifications générales.....	3
0.2	Description générale de l'accélérateur.....	4
0.3	Présentation du présent document .....	5
1	Paramètres généraux des lignes basse-énergie.....	7
1.1	Caractéristiques générales.....	7
1.2	Faisceaux produits par la source d'ions $q/A=1/3$ .....	9
1.3	Faisceaux produits par la source de deutons .....	10
1.4	Niveau de vide dans les lignes .....	11
1.5	Structure temporelle du faisceau.....	13
2	Description de la ligne LBE1 ions $q/A=1/3$ .....	15
2.1	Plan de la ligne LBE1 ions $q/A=1/3$ .....	15
2.2	LBE1 – Section de préparation faisceau .....	16
2.3	LBE1 – Section d'analyse et d'achromatisme .....	17
2.4	LBE1 – Section de transport .....	18
3	Description de la ligne LBE2 deutons .....	19
3.1	Plan de la ligne LBE2 deutons.....	19
3.2	LBE2 – Section de préparation faisceau .....	20
3.3	LBE2 – Section de tri et d'achromatisme .....	21
4	Description de la ligne LBEC commune .....	23
4.1	Plan de la ligne LBEC commune.....	23
4.2	LBEC – Section de mise en forme.....	23
4.3	LBEC – Section d'adaptation au RFQ.....	25
5	Optique dans les lignes basse-énergie.....	27
5.1	Hypothèses de calculs .....	27
5.2	Procédures de réglage de la ligne ions $q/A=1/3$ (LBE1 + LBEC) .....	28
5.3	Optique pour les ions $q/A=1/3$ .....	32
5.4	Procédures de réglage de la ligne deutons (LBE2 + LBEC).....	37
5.5	Optique pour les deutons (et les protons).....	38
5.6	Tolérances sur les erreurs d'alignement et de champ.....	44
6	Conclusion .....	47
	Annexe 1 – Plan général des lignes basse-énergie.....	49
	Annexe 2 – Matrices de conformité des lignes basse-énergie .....	51
	Annexe 3 – Paramètres de fonctionnement des lignes basse-énergie .....	61
	Annexe 4 – Spécifications des aimants des lignes basse-énergie .....	75
	Annexe 5 – liste des recommandations émises par les experts .....	85
	Références .....	89

## 0. PREAMBULE

Le projet SPIRAL-2 consiste à construire à GANIL (Caen) un nouveau complexe de type ISOL (« Isotope Separation On Line ») visant à produire des faisceaux d'ions radioactifs exotiques de forte intensité. Le projet, qui est entré dans sa phase de construction en 2005, prévoit :

- un premier test faisceau de la source d'ions  $q/A=1/3$  et de sa ligne de tri au LPSC Grenoble en Mars 2008 ;
- un premier test faisceau de l'injecteur complet au CEA Saclay en Novembre 2009 ;
- un premier faisceau stable d'énergie nominale produit au GANIL en Septembre 2011 ;
- un premier faisceau radioactif produit au GANIL en Juillet 2012.

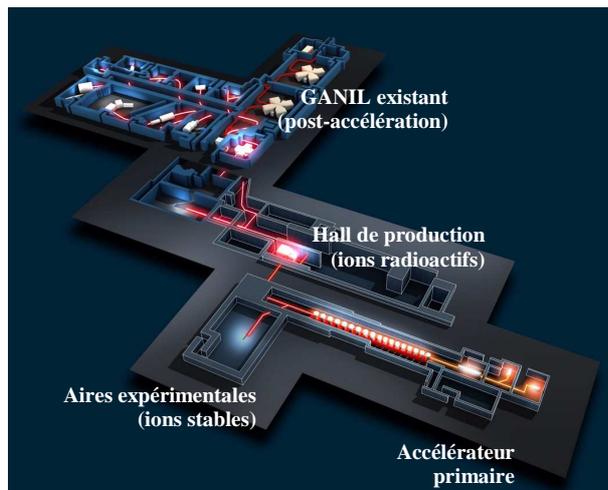


Figure 1 : Implantation générale de l'installation SPIRAL-2 (schéma de principe).

### 0.1 Spécifications générales

#### → Spécifications « de base »

L'accélérateur primaire est conçu pour produire les faisceaux principaux suivants :

- des faisceaux continus de deutons, d'intensité maximale 5 mA, et d'énergie finale 40 MeV ;
- des faisceaux continus d'ions de rapport masse sur charge  $A/q \leq 3$ , d'intensité maximale 1 mA, et d'énergie finale 14.5 A.MeV pour les  $A/q=3$ .

#### → Spécifications additionnelles

L'accélérateur doit également avoir la capacité :

- de produire un faisceau de  $H_2^+$  pour le faciliter le « commissioning » du linac en optique deutons ;
- de produire un faisceau continu de protons, d'intensité maximale 5 mA, et d'énergie finale 33 MeV (spécification « post-APD ») ;
- de produire, dans une future phase prévoyant un second injecteur dédié, des faisceaux d'ions de rapport masse sur charge  $A/q \leq 6$ , d'intensité maximale 1 mA, et d'énergie finale 7 A.MeV pour les  $A/q=6$  ;
- de faire varier l'énergie finale de tous les faisceaux produits, jusqu'à une énergie minimale de 2 A.MeV.

## 0.2 Description générale de l'accélérateur

La phase APD du projet a établi la configuration générale de l'accélérateur : il s'agit d'un accélérateur linéaire (linac) essentiellement constitué de 3 parties principales : l'injecteur (sources ECR + LBEs + RFQ + LME), le linac supraconducteur, et les lignes de transport finales (LHEs). Le linac hors LHEs est schématisé ci-après.

### → Injecteur

L'injecteur comprend deux sources d'ions distinctes, une pour produire les faisceaux de deutons (et de protons), l'autre pour produire les faisceaux d'ions plus lourds avec  $A/q \leq 3$ . A chacune de ces sources est associée une ligne de transport basse énergie (LBE). Ces deux lignes LBEs fusionnent avant de mener au RFQ, dont le rôle est de créer la structure temporelle du faisceau à 88.05 MHz, et de l'accélérer jusqu'à 0.75 A.MeV. La ligne de transport moyenne-énergie (LME) injecte alors le faisceau dans le linac supraconducteur ; cette LME inclut un suppresseur de paquets, et prévoit le raccordement futur de l'injecteur pour les ions  $A/q=6$ .

### → Linac supraconducteur

Le linac principal est constitué de cavités accélératrices supraconductrices alimentées de façon indépendante. Une telle solution permet d'assurer une flexibilité maximale en termes d'espèces d'ions à accélérer et d'énergies finales à atteindre. Ce linac supraconducteur se compose de cavités « quart d'onde » résonnant à 88.05 MHz. Deux types de résonateurs sont utilisés : les résonateurs « bêta 0.07 » couvrent la partie basse-énergie du linac (12 cavités, 1 cavité par cryostat), tandis que les résonateurs « bêta 0.12 » (14 cavités, 2 cavités par cryostat, + 2 cryostats supplémentaires « spare » prévus) couvrent la partie haute-énergie. La focalisation est assurée par des doublets de quadrupôles fonctionnant à température ambiante, intercalés entre chaque cryostat. La longueur totale du linac supraconducteur est d'environ 25 mètres.

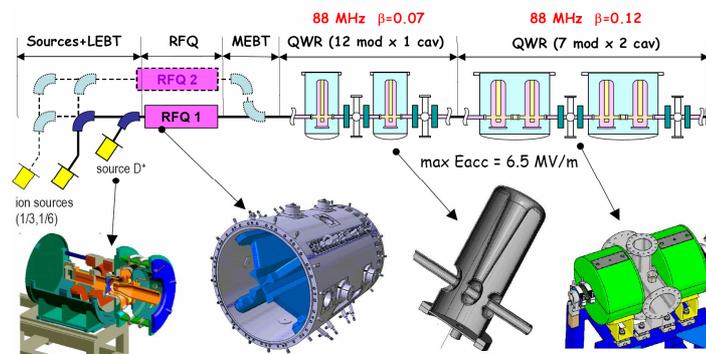


Figure 2 : Schéma de principe du linac SPIRAL-2.

### → Lignes haute-énergie

A la sortie du linac, le faisceau peut être distribué à trois endroits différents. Une première ligne de transport haute énergie (LHE) conduit à un arrêt faisceau. Une seconde ligne LHE transporte le faisceau à la casemate contenant l'ensemble cible-source produisant les ions radioactifs, et le focalise afin d'obtenir une distribution de puissance uniforme ( $P_{\text{faisceau}} \leq 200 \text{ kW}$ ) sur le convertisseur de neutrons (ou directement sur la cible). Enfin, une troisième ligne LHE transporte et adapte le faisceau jusqu'aux aires expérimentales pour ions stables.

### 0.3 *Présentation du présent document*

#### → *Historique du document*

Partant de l'étude APD [1,2,3], l'équipe « dynamique faisceau » est entrée dans la phase de consolidation, et a produit un certain nombre de notes et communications [4,5,6,7,8,9,10,11,12]. Concernant les lignes LBEs proprement dites, certaines modifications ont été proposées, en particulier pour la ligne d'ions  $q/A=1/3$ , afin de prendre en compte les incertitudes concernant les conditions initiales des sources ECR, le taux de compensation de charge d'espace, les pertes des polluants, etc..

Ces études ont donné lieu à la rédaction d'un ensemble de documents (EDMS n°I-008027 [13]), diffusé auprès d'une vingtaine de spécialistes que nous tenons à remercier ici. Leurs remarques et suggestions ont été regroupées dans le document EDMS n°I-008062 [14], puis prises en compte pour l'élaboration du présent document dans sa version V1.0 [15]. En parallèle, et de façon interactive, une étude a été menée par le responsable des éléments magnétiques, et dans une moindre mesure par le responsable des diagnostics faisceau, afin de vérifier que les spécifications demandées n'étaient pas irréalistes, et anticiper la rédaction du cahier des charges des principaux éléments. Cela concerne en particulier les éléments magnétiques de la première partie de la ligne d'ions  $q/A=1/3$ , première à devoir être construite et testée ; l'objectif est en effet de commander ces premiers objets aussi rapidement que possible.

Enfin, la version finale 2.0 du présent document prend en compte les recommandations des experts exprimées lors de la revue technique de Septembre 2006, ainsi que la finalisation d'un certain nombre d'études de détail ; les principales modifications entre les versions V1.0 et V2.0 sont listées ci-dessous.

- Ajout d'un sous-chapitre qui reprend et modifie les spécifications du vide dans les lignes, et décrit ses conséquences sur la structure temporelle du faisceau de réglage et le rôle du hacheur. Indication de la nécessité de pulser le RFQ.
- Ajout d'un paragraphe sur les anneaux de pertes et les EIS.
- Allongement de la longueur active des solénoïdes LBE2 et LBEC de 410 à 600 mm.
- Ajout d'un DCCT dans la ligne LBE2, et suppression de l'ACCT associé au DCCT de la ligne LBEC.
- Prise en compte des 35 mm correspondant à l'épaisseur de la plaque d'entrée RFQ.
- Durcissement du critère de stabilité des tensions source à  $10^{-4}$ .
- Reprise d'un certain nombre d'éléments mécaniques, et des distances associées.
- Finalisation du plan des lignes V2.0 (Annexe 1).
- Reprise des 3 optiques de référence en utilisant l'implantation des lignes V2.0, et en utilisant des cartes de champ 3D pour tous les éléments magnétiques hors dipôles.
- Ajout de figures précisant davantage l'emplacement « global » des pertes faisceau.
- Indication de la nécessité d'étuvage pour certains tubes à vide.
- Insertion du document de recommandations des experts (+ réponses) en Annexe 5.
- Mise à jour des nouvelles références, postérieures à la revue.

#### → *Objectif du document*

Le présent document « Configuration de base des lignes basse-énergie » a donc pour objectif de décrire en détail les lignes LBEs de l'injecteur avant leur lancement en construction. Il est l'aboutissement du processus suivant :

- étude APD (mars 2003 – février 2005) ;
- études complémentaires post-APD (mars 2005 – janvier 2006) ;
- consolidation des lignes LBEs (février 2006 – mai 2006) ;
- remarques des acteurs concernés (mai & juin 2006) ;
- validation EDMS des documents de consolidation (juin & juillet 2006) ;
- élaboration du présent document dans sa version V1.0 (juillet 2006) ;
- revue technique des lignes basse-énergie (septembre 2006) ;
- révision du présent document dans sa version V2.0 (novembre 2006), suite aux recommandations des experts lors de la revue technique et aux études complémentaires induites (cf. Annexe 5).

### → *Structure du document*

Le présent document est structuré de manière suivante :

- le Chapitre 1 présente les paramètres généraux des lignes basse-énergie, et détaille les caractéristiques et spécifications des faisceaux d'entrée produits par les sources ;
- les Chapitres 2 à 4 décrivent en détail la structure de ces lignes (la ligne ions  $q/A=1/3$  LBE1, la ligne deutons LBE2, et la ligne commune LBEC)
- le Chapitre 5 traite des résultats de simulation de l'optique de ces lignes, et décrit leurs procédures de réglage.

### → *Annexes*

Plusieurs annexes d'importance permettent d'accéder à certaines données de façon plus précise :

- l'Annexe 1 contient le plan des lignes (imprimable en format A0) ;
- l'Annexe 2 est la « Liste des paramètres » de l'accélérateur, pour la partie lignes basse-énergie ; cette liste « officielle » est le résumé des spécifications requises pour chaque élément ; à noter que les informations qu'elle contient seront reprises dans le document « Matrice de conformité » ;
- l'Annexe 3 liste les champs électromagnétiques requis et les tailles de faisceau dans chaque élément pour les différentes optiques nominales ; elle contient aussi pour mémoire les fichiers de données TRACEWIN ;
- l'Annexe 4 regroupe des fiches de spécifications détaillées disponibles à ce jour pour les principaux aimants de la ligne ;
- l'Annexe 5 reprend la liste des recommandations émises par les experts à la suite de la revue technique des lignes basse-énergie (6 Septembre 2006) ; les réponses apportées à ces recommandations sont également succinctement décrites.

### → *Accès aux références*

Les documents cités en référence sont pour la plupart accessibles sur le serveur EDMS de l'IN2P3, à l'adresse suivante : <https://edms.in2p3.fr/edms/cedarw.home?cookie=2039894&project=SPIRAL>. Les personnes n'ayant pas accès à ce serveur peuvent s'adresser à l'équipe consolidation ([bertrand@ganil.fr](mailto:bertrand@ganil.fr), [biarrott@ipno.in2p3.fr](mailto:biarrott@ipno.in2p3.fr), [uriot@cea.fr](mailto:uriot@cea.fr)) pour se les procurer.

### → *Remerciements*

Nous tenons à remercier vivement Patrick Ausset, François Daudin, Marco Di Giacomo, Romual Duperrier, Maurice Duval, Raphaël Gobin, Christophe Jamet, Thomas Thuillier et toutes les autres personnes qui ont participé à l'élaboration du présent document, en particulier toutes celles qui ne font pas partie du projet SPIRAL-2.

# 1 PARAMETRES GENERAUX DES LIGNES BASSE-ENERGIE

## 1.1 Caractéristiques générales

### → Fonction des lignes

Les lignes basse-énergie (LBEs) de l'injecteur ont pour rôle de recueillir les faisceaux d'ions produits par les 2 sources ECR, de sélectionner les ions désirés (résolution en  $q/A$  requise :  $\geq 100$ ), et de les transporter dans les meilleures conditions jusqu'à l'entrée du RFQ.

### → Implantation générale des lignes et longueurs

Ces lignes peuvent être décomposées en 3 parties distinctes (cf. Figure 3) :

- la ligne associée à la source d'ions  $q/A=1/3$  (LBE1),
- la ligne associée à la source de deutons, qui fournira également les protons (LBE2),
- la ligne commune injectant directement dans le RFQ (LBEC).

Un plan de référence détaillé est disponible en Annexe 1. Les longueurs associées sont données ci-dessous, depuis l'électrode d'extraction de la source jusqu'au point d'intersection des lignes LBE1 et LBE2 pour les lignes LBE1 et LBE2, et depuis ce même point d'intersection jusqu'à la face externe de la bride d'entrée du RFQ pour la ligne LBEC :

- longueur LBE1 : 15 920 mm (4120.5 + 5243 + 6556.5) ;
- longueur LBE2 : 5 962 mm (3062 + 2900) ;
- longueur LBEC : 5 250 mm.

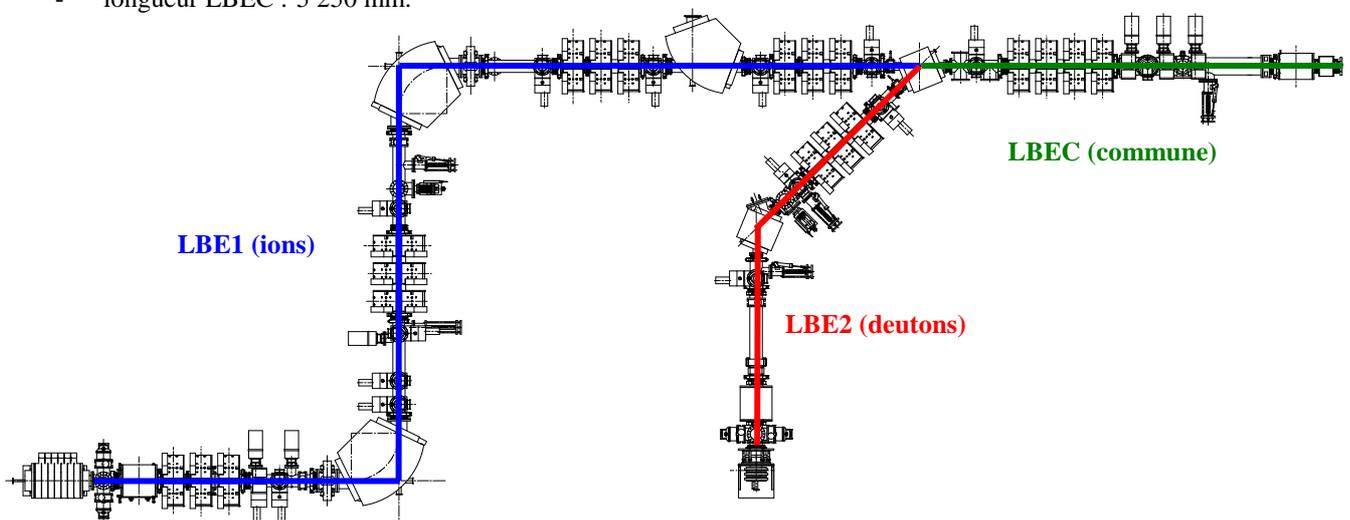


Figure 3: Schéma de principe des lignes LBE de l'accélérateur SPIRAL-2.

### → Hauteur de l'axe faisceau, supports mécaniques et alignement

Les différents composants qui constituent ces lignes sont à considérer, sur le plan mécanique, comme des avant-projets. Chaque élément (aimants, diagnostics, chambres à vide...) nécessite une étude mécanique détaillée pour aboutir à des dossiers de fabrication. Pour ces études, outre la conception et le dessin, liés à la fonction de l'objet, il faut prendre en compte 3 fonctions complémentaires qui sont : le supportage, le réglage et l'alignement.

Le supportage est défini pour assurer une hauteur de l'axe faisceau de 1500 mm. Les dipôles, qui sont des éléments d'aiguillage pour le faisceau, comportent un support qui leur est propre, tandis qu'entre chaque dipôle, les éléments sont montés sur des profilés (type « Technal »), soutenus au sol par des entretoises mécano-soudées.

Pour réaliser l'alignement des équipements, chacun doit comporter un système de réglage selon les trois directions X, Y et Z. Ces réglages sont assurés par des systèmes à vis permettant le déplacement de plus ou moins un centimètre. Pour les éléments magnétiques, afin d'assurer le positionnement correct des équipements sur l'axe du faisceau, il faut disposer de références externes. Ce sont des platines situées au-dessus des aimants qui sont usinées avec précision ; le type d'usinage doit être défini avec le géomètre. Les boîtes diagnostics sont elles alignées avec un diagnostic monté : c'est ce dernier qui est aligné directement sur l'axe faisceau. Les lignes de faisceau doivent donc permettre cette visée directe de l'axe faisceau. Les boîtes diagnostics doivent aussi assurer le montage des équipements pour le vide. Elles doivent donc comporter des ouvertures pour les pompes à vide ainsi que pour les différents équipements nécessaires à la gestion du vide (jauges, vannes etc.).

### → *Diamètre des tubes faisceau*

Le diamètre nominal des tubes faisceau est fixé à  $\varnothing$  164.3 mm interne. Les études de dynamique faisceau montrent en effet qu'un tel choix de tube « standard » permet de conserver, pour les différentes optiques considérées, une transmission hors fentes raisonnablement proche de 100 % dans toutes les lignes. Quelques exceptions sont cependant à prévoir, avec notamment : chambre à vide des dipôles, tubes à vide en entrée et sortie des dipôles de la ligne LBE1 qui devront être plus larges dans le plan horizontal ( $\varnothing$  200 mm environ), autres endroits spécifiques devant être élargis pour des raisons mécaniques (hacheur, système à 3 fentes...).

### → *Sécurité, sûreté et radioprotection*

Les aspects sécurité/sûreté/radioprotection font l'objet d'une étude spécifique, en particulier pour l'élaboration du document RPRS. Une étude préalable a été effectuée par l'équipe accélérateur [16]. Hormis les risques classiques, le risque principal pour les lignes basse-énergie est lié à la production de neutrons par le faisceau de deutons, en particulier sur l'arrêt faisceau de la ligne LBE2.

Un point important est de décider si la source  $q/A = 1/3$  devra produire des deutons (par exemple si la source de deutons est en panne). Dans un tel cas, ceci a une incidence sur la définition de la casemate entourant la ligne LBE1, et sur les procédures d'accès. Par ailleurs, il faut signaler que des arrêts faisceau sont prévus avant les derniers dipôles des lignes LBE1 et LBE2, ce qui évitera les flux de neutrons dans la salle RFQ à travers le tube faisceau et devrait permettre une intervention sans arrêter la source.

D'autre part, l'on prévoit l'installation d'anneaux de pertes le long des lignes LBE, permettant d'arrêter la fourniture de faisceau en cas de pertes trop élevées, les seuils restant à définir. Ce type de protection est utilisé au GANIL. Des études spécifiques restent à mener sur ce thème.

### → *Gestion des accès*

La gestion des accès dans les différentes salles de l'accélérateur est une question importante.

Il faut identifier les sécurités faisceau (SF) qui seront des « éléments importants pour la sûreté » (EIS), et qui permettront d'autoriser l'accès aux diverses salles de l'accélérateur quand nécessaire.

Nous proposons les SF suivantes, sachant que cela doit être discuté. Il s'agit ici de montrer que la prise en compte de la gestion des accès ne générera pas de remise en cause de la consolidation des lignes LBE (changement de longueur par exemple).

- Sécurités faisceau situées dans la salle deutons :
  - SF1 = LBE2-AF2
  - SF2 = LBE2-CF12
  - SF3 = HF source
  - SF4 = tension source
- Sécurités faisceau situées dans la salle ions 1/3 :
  - SF5 = LBE1-AF1
  - SF6 = LBE1-CF13

### **1er cas : accès dans la salle deutons**

La source deutons doit être arrêtée, compte tenu du fait que le faisceau de deutons peut générer des neutrons par réaction deutons-deutons sur les éléments interceptifs de la ligne. Donc : SF3 et SF4 « OFF ».

On note que le faisceau d'ions 1/3 peut être délivré vers le RFQ (via LBEC), bien qu'un accès soit en cours dans la salle deutons.

### **2ème cas : accès dans la salle ions**

La ligne deutons ne transitant pas par la salle ions, l'énergie des ions étant en dessous de la barrière coulombienne, et dans l'hypothèse où nous ne produisons pas de faisceau de deutons avec la source d'ions, aucune SF active n'est exigée. Par contre, des précautions doivent être prises au niveau HF et HT source, qui doivent être arrêtées pour accéder dans la salle. (Sécurité liée au risques X et électrique, et non pas à la présence du faisceau d'ions).

Si les deutons doivent pouvoir être produits à partir de la source d'ions, il faudra déclarer et utiliser la HF et la HT source comme SF, pour accès dans cette salle.

### **3ème cas : accès dans la salle RFQ/LINAC :**

SF1, SF2, SF5 et SFS6 doivent être mises « EN ».

On peut remarquer que SF1 et SF2 sont disposées de telle sorte que le flux de neutrons généré n'est pas dirigé vers la salle RFQ.

En cas de détection d'un événement redouté (présence potentielle simultanée du faisceau et d'une personne détectée, par exemple suite à un mauvais retour d'état d'une SF), 2 sécurités faisceau redondantes supplémentaires doivent être mises en œuvre : la coupure des deux sources ( HF et HT) peut être une solution.

## **1.2 Faisceaux produits par la source d'ions $q/A=1/3$**

### **→ Ions produits et tensions source**

La source d'ions  $q/A=1/3$  est une source ECR qui fonctionnera à une fréquence de 18 GHz (type Phoenix V2) ou 28 GHz (type A-Phoenix). Cette source produira une large gamme d'ions, dont le rapport  $A/q$  pourra être compris entre 1 et 3 au maximum. La tension de la source  $V_s$  est ajustée de manière à produire un faisceau de vitesse réduite adaptée à l'entrée du RFQ, soit  $\beta \approx 6.553 \times 10^{-3}$ . Elle devra donc pouvoir varier entre 20 kV (cas  $A/q=1$ ) et 60 kV (cas  $A/q=3$ ), avec une stabilité d'au moins  $10^{-4}$  afin de minimiser les fluctuations de courant en entrée de RFQ (cf. Annexe 5) ;  $V_s$  est donnée en fonction de l'ion par :

$$V_s \cong \frac{1}{2} \frac{m_0 c^2}{q} \beta^2$$

### **→ Courants requis**

Selon le type d'ion produit, l'intensité du faisceau extrait pourra être très différente : plus la masse de l'ion est lourde, plus le courant est faible [17]\*. Le courant maximum considéré pour l'ion « d'intérêt » est ici de 1.3 mA, afin d'obtenir les 1 mA requis en fin de linac. Le courant minimum de fonctionnement sera à définir par rapport à la sensibilité des diagnostics, la source elle-même étant capable de produire des courants stables à moins d'1  $\mu$ A.

### **→ Polluants**

A la sortie de la source ECR, le faisceau « d'intérêt » est extrait en compagnie d'un certain nombre d'ions indésirables (les « polluants »), qui devront être interceptés par le système de tri de la ligne LBE1. On estime que

\* La source Phoenix-V2 fournit typiquement 1 mA jusqu'à la masse  $A=16$  (O), et environ, hors « métalliques » : 0.1 mA pour la masse  $A=50$ , 10  $\mu$ A pour la masse  $A=80$ , 1  $\mu$ A pour la masse  $A=110$  et 0.1  $\mu$ A pour la masse  $A=140$  (Xe). La source A-Phoenix devrait pouvoir permettre de fournir 1 mA jusqu'à la masse  $A=40$  (Ar), et gagner un facteur  $\times 4$  sur toutes les intensités pour toutes les masses plus lourdes (soit environ : 0.1 mA pour la masse  $A=65$ , 10  $\mu$ A pour la masse  $A=95$ , 1  $\mu$ A pour la masse  $A=125$ ).

pour produire 1.3 mA d'ions d'intérêt, la source pourrait produire jusqu'à 10 mA d'intensité totale. Ce chiffre s'appuie notamment sur les mesures effectuées sur la source Phoenix V2 en oxygène, où le courant total extrait est de presque 5 mA pour 1 mA de  $^{16}\text{O}^{6+}$  produits. L'analyse de ces mesures [18] permet de dresser le tableau suivant (Table 1), qui a notamment servi de référence durant l'étude du comportement des polluants dans les lignes.

Table 1 : Faisceaux produits par la source q/A=1/3 type Phoenix V2 pour un fonctionnement en oxygène.

Ion	I ( $\mu\text{A}$ )	Pourcentage	Emittance rms x et y ( $\pi.\text{mm.mrad norm}$ )	$\alpha_x$ et $\alpha_y$	$\beta_x$ et $\beta_y$ ( $\text{mm}/\pi.\text{mrad}$ )
$^{16}\text{O}^{1+}$	120	2 %	0.17	-3	1
$^{16}\text{O}^{2+}$	300	6 %	0.25	-3	1
$^{16}\text{O}^{3+}$	450	9 %	0.28	-3	1
$^{16}\text{O}^{4+}$ et $^4\text{He}^{1+}$	1600	33 %	0.31	-3	1
$^{16}\text{O}^{5+}$	800	16 %	0.24	-3	1
$^{16}\text{O}^{6+}$	<b>1000</b>	<b>21 %</b>	<b>0.22</b>	<b>-3</b>	<b>1</b>
$^{16}\text{O}^{7+}$	135	3 %	0.21	-3	1
$^{16}\text{O}^{8+}$ et $^4\text{He}^{2+}$	225	5 %	0.39	-3	1
$\text{H}^+$	245	5 %	0.66	-6	1.7

Les émittances et les paramètres de Twiss  $\alpha$  et  $\beta$  sont donnés à 350 mm de l'électrode d'extraction

#### → Emittances de sortie source

Sur la base des mesures précédentes, l'émittance normalisée en sortie de source est considérée comme égale à  $0.2 \pi.\text{mm.mrad rms}$ . Cependant, étant données les incertitudes liées à la grande diversité des faisceaux à produire, au fait que la future source A-Phoenix n'est à ce jour pas encore construite, et aux possibles effets de corrélations croisées dues au champ magnétique de la source (cf. Chapitre 5), nous avons choisi de dimensionner la ligne pour des émittances normalisées pouvant atteindre jusqu'à  $0.4 \pi.\text{mm.mrad rms}$ . Cette dernière valeur « pessimiste » était celle considérée lors de l'étude APD. On peut remarquer que pour une distribution gaussienne tronquée à  $4\sigma$ , ceci correspond à une émittance géométrique non normalisée marginale de  $960 \pi.\text{mm.mrad}$ .

### 1.3 Faisceaux produits par la source de deutons

#### → Ions produits et tensions source

La source de deutons est une source ECR de type SILHI qui fonctionnera à une fréquence de 2.45 GHz [19]. Cette source produira des deutons, des ions  $\text{H}_2^+$ , utiles pour le réglage de l'accélérateur, mais aussi des protons. Les tensions source correspondantes sont de 40.27 kV (cas  $\text{D}^+$ ), 40.30 kV (cas  $\text{H}_2^+$ ), et 20.15 kV (cas  $\text{H}^+$ ), avec une stabilité d'au moins  $10^{-4}$  afin de minimiser les fluctuations de courant en entrée de RFQ (cf. Annexe 5).

#### → Courants requis

Le courant maximum considéré pour l'ion d'intérêt est ici de 6.5 mA, afin d'obtenir les 5 mA requis en fin de linac. Cela est valable pour les deutons, les protons, et pour les  $\text{H}_2^+$  dans la mesure du possible (on n'atteint pas encore un tel courant aujourd'hui, cf. Table 2, mais cela est envisageable en agrandissant le trou d'extraction, ce qui nécessite une intervention sur la source). Il est à noter que pour obtenir un faisceau de 5 mA le plus propre possible en entrée du linac supraconducteur, il serait préférable de pouvoir augmenter le courant de sortie source jusqu'à 8 ou 9 mA ; ceci permettrait de mieux nettoyer le halo à l'aide du système à 3 fentes, tout en fournissant les 5 mA nominaux en sortie de l'injecteur (cf. Chapitre 5). Le courant minimum de fonctionnement de la source est lui fixé à 100  $\mu\text{A}$ .

#### → Polluants

A la sortie de la source ECR, le faisceau d'intérêt est également extrait en compagnie d'un certain nombre d'ions indésirables, qui seront perdus le long de la ligne LBE2. On s'attend ici aussi à ce que la source puisse produire

jusqu'à 10 mA d'intensité totale en fonctionnement nominal deutons ou protons (cf. Table 2). Cette valeur pourrait même atteindre jusqu'à 50 mA total dans l'éventualité d'un fonctionnement  $H_2^+$  6.5 mA pendant les phases de réglage. Le tableau ci-dessous, sur la base de mesures effectuées sur la source prototype [19], liste les différents ions extraits pour un fonctionnement en deutons, et en protons /  $H_2^+$ . A noter que, dans le cas spécifique d'un fonctionnement deutons à faible courant (0.1 mA), le courant extrait de  $N^+$  atteindra 4 ou 5 mA.

Table 2 : Faisceaux produits par la source de type SILHI pour un fonctionnement en  $D^+$ ,  $H_2^+$  et  $H^+$ .

<b>Fonctionnement en <math>D^+</math> : 6.9 mA deutons extraits</b>				
$D^+$	$D_2^+$	$D_3^+$	Ions lourds*	Courant total extrait
77 %	9 %	1 %	13 %	9 mA
<b>Fonctionnement en <math>H^+</math> et <math>H_2^+</math> : 6.5 mA protons extraits, 1.1 mA <math>H_2^+</math> extraits</b>				
$H^+$	$H_2^+$	$H_3^+$	Ions lourds*	Courant total extrait
71 %	12 %	2 %	15 %	9.2 mA

\* Les ions lourds sont du type  $1+$ ,  $A=14$  à  $20$

#### → *Emittances de sortie source*

Les valeurs d'émittance ( $r,r'$ ) mesurées sur la source de type SILHI en fonctionnement deutons sont comprises entre 0.07 et 0.09  $\pi$ .mm.mrad norm rms. Sur la base de ces valeurs, on considère que l'émittance de sortie source vaut 0.1  $\pi$ .mm.mrad norm rms dans les 2 plans pour les deutons. En ce qui concerne les autres faisceaux produits (protons,  $H_2^+$ ,  $H_3^+$ ,  $D_2^+$ ,  $D_3^+$ , ions lourds), d'après les mesures préliminaires réalisées pour les protons et les simulations effectuées à Saclay avec le code AXEL [20], nous avons choisi de considérer une émittance de 0.1  $\pi$ .mm.mrad norm rms dans les 2 plans pour tous ces différents faisceaux [5,11].

## 1.4 Niveau de vide dans les lignes

#### → *Phénomène d'échange de charge avec le gaz résiduel*

L'échange de charge est le phénomène dimensionnant pour le vide dans les lignes basse-énergie de Spiral-2 [21]. Au regard des gaz en présence dans le tube à vide, nous estimons la section efficace de capture électronique  $\sigma_c$  par un proton à environ  $10^{-19}$  m<sup>2</sup> d'après [22]. De plus, d'après le modèle de Schlachter, valable aux très basses énergies, cette section efficace varie essentiellement avec la charge de l'ion projectile en  $q^{1.17}$  [23]. Les valeurs de section efficace prises en compte dans l'estimation suivante sont ainsi :

- protons et deutons :  $\sigma_c = 10^{-19}$  m<sup>2</sup> ;
- $^{40}\text{Ar}^{14+}$  :  $\sigma_c = 2.2 \cdot 10^{-18}$  m<sup>2</sup> ;
- $^{140}\text{Xe}^{47+}$  :  $\sigma_c = 9 \cdot 10^{-18}$  m<sup>2</sup>.

#### → *Dégradation de la transmission par échange de charge*

La Figure 4 représente l'évolution de la transmission de la ligne en fonction de la pression résiduelle, en ne tenant compte que des phénomènes d'échange de charge (i.e. 100% transmission à pression nulle). Ces courbes sont issues de calculs multi-particulaires Partran. On considère ici que dès qu'une particule capture un électron, elle est perdue instantanément ; cela est assez fidèle pour les ions très légers, mais beaucoup moins vrai pour les ions lourds, qui sont perdus beaucoup plus loin, possiblement dans le RFQ ou même la suite du linac pour les plus lourds.

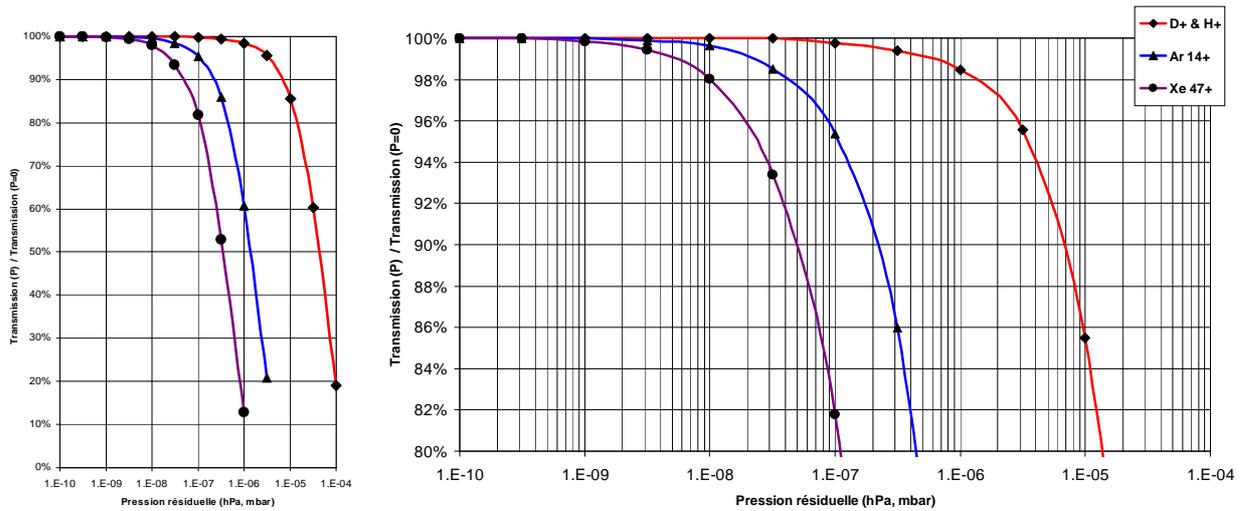


Figure 4 : Transmission de la ligne basse-énergie en fonction du vide résiduel.

→ **Influence du niveau de vide sur le temps de neutralisation du faisceau**

Le temps d'établissement du taux de compensation de charge d'espace est mal connu, mais devrait être, pour un faisceau de  $\beta=6.553 \times 10^{-3}$ , de l'ordre de quelques  $\tau$  [24,32], avec :

$$\tau = \frac{2.11 \times 10^{-27}}{\sigma P}, \text{ où } P \text{ (Pa) est la pression et } \sigma \text{ la section efficace d'ionisation du gaz résiduel par le faisceau.}$$

Pour des protons de 20 keV,  $\sigma$  est de l'ordre de  $4 \times 10^{-20} \text{ m}^2$  [22,24] ; ce chiffre reste valable pour des deutons de 20 keV/u, mais augmente pour des ions plus lourds multi-chargés. En supposant la même variation en  $q^{1.17}$  que précédemment (pour avoir l'ordre de grandeur), et en considérant les valeurs de pression résiduelle de respectivement  $10^{-6}$  et  $10^{-8}$  mbar pour les protons + deutons et les ions, nous obtenons les valeurs suivantes pour le temps d'établissement du taux de neutralisation dans le faisceau :

- protons et deutons :  $\tau \sim 0.5 \text{ ms}$  ;
- $^{16}\text{O}^{6+}$  :  $\tau \sim 6.5 \text{ ms}$  ;
- $^{40}\text{Ar}^{14+}$  :  $\tau \sim 2.4 \text{ ms}$ .

Plus les ions sont lourds et fortement chargés, plus le temps de compensation diminue à pression égale. Il sera donc intéressant d'ajuster la pression de la ligne ( $1 \times 10^{-8}$  mbar pour les plus lourds, quelques  $10^{-8}$  mbar pour les légers) pour garantir un temps de compensation de quelques ms au maximum dans tous les cas tout en conservant de faibles pertes par échange de charge (cf. Figure 4).

→ **Niveau de vide requis dans les lignes**

D'après les résultats précédents, le niveau de vide requis dans les lignes, permettant de limiter les pertes par échange de charge à au plus 2% tout en est limitant à quelques ms le temps de neutralisation du faisceau, est fixé à :

- $1 \times 10^{-8}$  mbar dans la ligne LBE1 (fonctionnement en ions  $q/A = 1/3$ ), ajustable jusqu'à quelques  $10^{-8}$  mbar (voire jusqu'à quelques  $10^{-7}$  mbar si l'on doit produire des deutons et protons avec la source  $q/A=1/3$ ) ;
- $1 \times 10^{-6}$  mbar dans la ligne LBE2 (fonctionnement en deutons ou protons) ;
- $1 \times 10^{-8}$  mbar dans la ligne LBEC commune (fonctionnement en ions  $q/A = 1/3$ ), ajustable jusqu'à  $10^{-6}$  mbar (fonctionnement en deutons ou protons).

## 1.5 Structure temporelle du faisceau

### → *Fonctionnement nominal*

Le fonctionnement nominal du linac Spiral-2 est un fonctionnement en faisceau « continu ». Ce faisceau continu n'a aucune structure temporelle dans les lignes basse-énergie, mais est en fait, en aval du RFQ, formé de paquets à une fréquence de répétition de 88.05 MHz.

De plus, un fonctionnement spécifique « mono-paquet » prévoit de produire des paquets de faisceau à des fréquences comprises entre 8.8 kHz (1 paquet sur 10 000) et 880 kHz (1 paquet sur 100). Cela ne peut a priori être réalisé qu'en utilisant le hacheur rapide de la ligne LME sur un faisceau continu. La ligne basse-énergie n'a donc aucun rôle à jouer dans ce type de fonctionnement.

### → *Cycle utile pendant les procédures de réglage*

Pour les procédures de réglage, il sera nécessaire de fonctionner avec un faisceau d'intensité crête nominale (pour avoir des effets de charge d'espace corrects) mais à faible cycle utile. Le cycle utile doit ainsi pouvoir varier entre 100% et 0.5%.

La valeur inférieure de 0.5% sera utilisée pour le réglage du linac supraconducteur. Elle correspond à une puissance faisceau maximale (deutons, 5 mA) en fin de linac de 1 kW, valeur à valider, mais qui semble raisonnable pour une perte éventuelle du faisceau dans les derniers cryomodules pendant le réglage [25].

Pour le réglage des lignes basse-énergie, le cycle utile pourra être plus élevé (quelques %) ; sa valeur maximale sera définie par la tenue des profileurs au niveau thermique.

### → *Longueur des pulses pendant les procédures de réglage*

La pulsation faisceau utilisée pour les procédures de réglage de la ligne basse-énergie doit pouvoir permettre de diagnostiquer et régler un faisceau stabilisé. Pour cela, la longueur des pulses à produire doit être à la fois beaucoup plus longue que le temps du front de montée du pulse, et que le temps d'établissement du taux de neutralisation du faisceau. Dans la ligne basse-énergie, cette pulsation peut être effectuée en utilisant le hacheur situé dans la ligne basse-énergie commune, dont le temps de montée est de l'ordre de 0.1  $\mu$ s (1  $\mu$ s dans le pire des cas), et le mode pulsé des sources ECR (indispensable puisque plusieurs profileurs se trouvent en amont du hacheur), dont le temps de montée est de l'ordre de 1 ms (3 à 4 ms dans le pire des cas [24]).

Etant donnés les temps de compensation de charge d'espace évoqués auparavant, et en considérant que l'on peut effectuer une prise de données déclenchée uniquement en fin de pulse, on obtient la longueur minimum des pulses à utiliser dans la ligne basse-énergie, soit :

- protons et deutons : pulses de 5 ms au minimum ;
- ions lourds : pulses d'environ 10 ms au minimum.

### → *Conclusions sur les équipements à utiliser pour pulser le faisceau*

Des considérations précédentes peuvent être tirées 2 conclusions.

- La longueur minimum des pulses dans les lignes basse-énergie (5 et 10 ms) est totalement incompatible avec un cycle utile de 0.5%. La pulsation nécessaire au réglage du linac supraconducteur devra donc être effectuée en aval des lignes basse-énergie, en pulsant la RF du RFQ.
- Les pulses nécessaires au réglage des lignes basse-énergie peuvent être créés uniquement par la source, sans besoin d'utiliser le hacheur. A remarquer cependant que pour les faisceaux de très faible courant, où les effets de charge d'espace deviennent négligeables, les limitations sur la longueur des pulses ne sont plus valides ; dans ce cas, le hacheur peut à nouveau jouer son rôle pour produire les pulses courts compatibles avec le cycle utile minimal.

→ *Premières réflexions sur le « commissioning » de la machine*

Le réglage des lignes basse-énergie commencerait donc a priori avec des pulses de 5 ms (ou 10 ms), créés par la source ECR deutons (ou  $q/A=1/3$ ) à une fréquence de par exemple 5 Hz (cycle utile de 2.5% ou 5%). La pulsation du RFQ serait utilisée en aval pour y découper proprement les pulses de 1 ms à 5 Hz (cycle utile de 0.5%) utiles pour le réglage du linac supraconducteur. Cela est a priori compatible avec le temps de montée des champs dans le RFQ qui est de l'ordre de la centaine de  $\mu$ s.

La montée en puissance pourrait ensuite se faire de la façon suivante :

- augmenter d'abord le cycle utile de 0.5% à 2.5% (ou 5%) en augmentant la longueur des pulses produits par le RFQ de 1 ms à 5 ms (ou 10 ms) ;
- couper la pulsation du RFQ ;
- augmenter le cycle utile de 2.5% (ou 5%) à 100% en jouant sur la fréquence et/ou la longueur des pulses créés par la source ; le hacheur pourrait être utile durant cette phase.

A noter que ces réflexions restent très préliminaires et sont à approfondir, notamment en fonction des contraintes liées aux appareillages de diagnostic faisceau, du temps de montée des champs dans le RFQ, du temps de réponse de la mesure des pertes faisceau dans le linac supraconducteur ou des impératifs de protection de la machine.

## 2 DESCRIPTION DE LA LIGNE LBE1 IONS $q/A=1/3$

### 2.1 Plan de la ligne LBE1 ions $q/A=1/3$

La ligne LBE1 transporte les ions  $q/A \geq 1/3$  produits par la source LBE1-SI1. Elle peut être décomposée en 3 parties principales de fonctions différentes : la section de préparation faisceau, la section d'analyse et d'achromatisme, et la section de transport. Ces 3 sections sont illustrées sur les 2 figures suivantes.

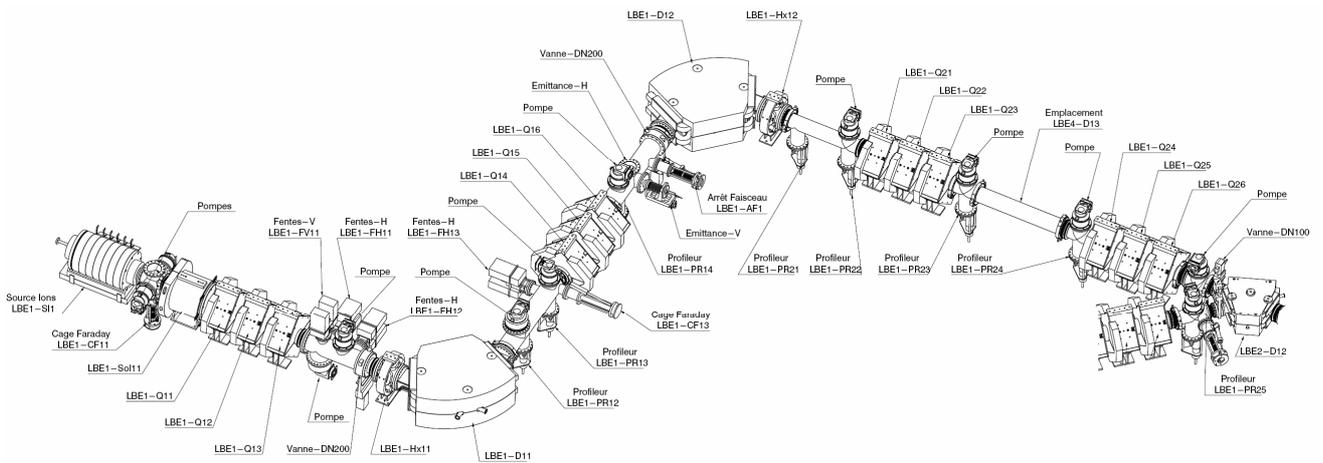


Figure 5 : Vue en perspective de la ligne LBE1 et nomenclature des éléments.

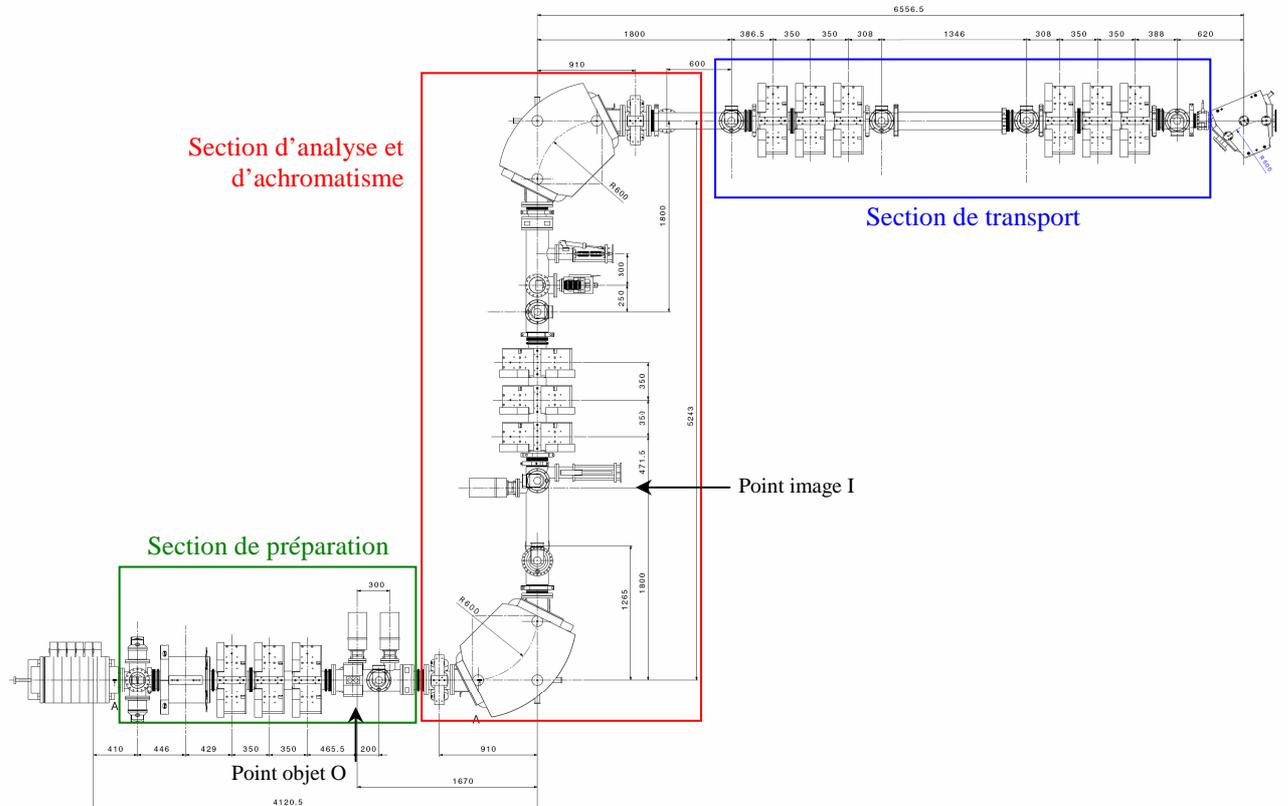


Figure 6 : Plan détaillé de la ligne LBE1.

## 2.2 LBE1 – Section de préparation faisceau

### → Principe

La section de préparation faisceau, située en sortie de la source d'ions, vise essentiellement à refocaliser le faisceau sortant de la source, et à l'adapter au dipôle d'analyse pour obtenir la résolution désirée ( $\geq 100$  en  $q/A$ ).

### → Eléments magnétiques

Un solénoïde (LBE1-Sol11) et un triplet de quadrupôles (LBE1-Q11, LBE1-Q12, LBE1-Q13) sont utilisés, ce qui permet de contrôler totalement les paramètres du faisceau ( $\alpha_x, \beta_x, \alpha_y, \beta_y$ )\* et créer le point objet O requis pour la section d'analyse. Chacun des quadrupôles est équipé d'un déflecteur intégré (« steerer ») permettant de dévier le faisceau dans une seule direction, ceci pour compenser les possibles désalignements dans la ligne (cf. Chapitre 5). Tous les quadrupôles des lignes LBE1, LBE2 et LBEC sont ainsi équipés.

A noter que tous les éléments magnétiques de cette section sont dimensionnés pour atteindre des champs jusqu'à 2.7 fois supérieurs aux valeurs nominales, cela afin de pouvoir réaliser dans les meilleures conditions le spectre des ions issus de la source jusqu'au  $q/A=1/20$  ( $^{20}\text{Ne}^+$ ).

### → Fentes de nettoyage

Un jeu de fentes (1 horizontale LBE1-FH11 et 1 verticale LBE1-FV11) est placé en aval du triplet afin d'intercepter une partie des polluants près du point objet (ceux qui sont les plus éloignés en  $q/A$  du faisceau d'intérêt). De plus, une fente horizontale supplémentaire (LBE1-FH12) placée un peu plus loin, où le faisceau est très divergent, est utilisée pour faciliter la séparation avale, en coupant le halo qui subirait les aberrations d'ordre  $n \geq 2$  du dipôle d'analyse. Toutes ces fentes devront sans doute être refroidies.

### → Diagnostics

Une cage de Faraday (LBE1-CF11) est disponible en sortie de source pour mesurer le courant total extrait. Elle peut également être utile pour interrompre le faisceau dans certaines circonstances spécifiques. Aucun autre diagnostic n'est prévu dans cette section du fait du grand nombre de polluants présents : le faisceau d'intérêt sera en effet dans la plupart des cas « invisible » [6].

### → Refroidissement nécessaire

Les études de comportement des polluants [11] montrent que l'on s'attend, pour un faisceau d'oxygène de 1.3 mA, à des pertes de l'ordre de : 15 à 20 W sur chacune des 3 fentes de nettoyage, environ 10 W dans le triplet, de 5 à 10 W dans les tubes situés entre le triplet et l'hexapôle LBE1-Hx11, et moins de 1 W dans le solénoïde. A partir de ces résultats, et afin d'anticiper les divers types de faisceaux d'ions susceptibles d'être produits par la source ainsi que les pertes maximales envisageables lors des phases de réglage, les spécifications sur les puissances à évacuer sont fixés à au moins (cf. Chapitre 5) : 60 W sur chacune des 3 fentes de nettoyage, et 30 W dans tous les autres éléments de la ligne. Un refroidissement devra être prévu là où nécessaire.

### → Vide

Le niveau de vide requis dans la ligne est de  $10^{-8}$  mbar pour limiter l'interaction des ions avec le gaz résiduel (cf. Chapitre 1). Il devra cependant pouvoir être dégradé jusqu'à quelques  $10^{-7}$  mbar environ. Quatre piquages dédiés ont pour l'instant été prévus : 2 en sortie de source, et 2 entre le triplet et les fentes de nettoyage. Une vanne d'isolation est placée avant l'hexapôle LBE1-Hx11. Pour information, le niveau de vide dans la source d'ions sera de  $10^{-6}$  mbar. Il est recommandé d'évacuer les tubes à vide au préalable pour minimiser le dégazage en opération.

---

\* Ce choix permet notamment de pouvoir réadapter correctement quasiment n'importe quel type de faisceau issu de la source.

## 2.3 LBE1 – Section d'analyse et d'achromatisme

### → Principe

Le rôle principal de la ligne LBE1 est de séparer efficacement en masse et charge les différents ions provenant de la source afin de ne conserver que l'ion d'intérêt. Ceci est réalisé dans la section d'analyse, en utilisant un dipôle d'indice nul à double focalisation, et en positionnant une fente de tri horizontale au niveau du point image I que doit créer le système optique. Comparée à la solution proposée lors de l'APD, un tel système permet notamment, du fait de l'augmentation des distances, de relâcher les contraintes au niveau du « waist » du point image qui est beaucoup moins prononcé qu'avant ; il y a ainsi moins d'effets de charge d'espace, et des aberrations dues au passage dans le dipôle moins prononcées.

Après l'analyse, une focalisation et une nouvelle déviation sont réalisées de façon à obtenir une ligne symétrique (réglage facilité) et doublement achromatique (en angle et position). Ceci permet de se prémunir contre toute fluctuation du centroïde du faisceau en angle et en position (à laquelle le RFQ est assez sensible) en cas de variation de la tension source ou de dérive des champs des dipôles (qui seront alimentés en série). L'achromat rend également l'utilisation des profileurs beaucoup plus facile pour le réglage, en minimisant le « jitter » horizontal du faisceau tout le long de la région non-dispersive de la ligne.

### → Eléments magnétiques

Les conditions à remplir par le dipôle d'analyse pour réaliser un tel système d'analyse sont données par :

- $\tan \theta = 4 t / (1 - 4 t^2)$ , où  $\theta$  est l'angle de déviation du dipôle, et  $t = \tan \alpha$ , où  $\alpha$  est l'angle du coin du dipôle;
- $L t = \rho$ , où  $\rho$  est le rayon de courbure du dipôle, et  $L$  la longueur O / entrée dipôle et sortie dipôle / I.

Après une étude dédiée du système de tri [6,7], les paramètres principaux de ce système ont été figés afin d'obtenir le meilleur compromis résolution/longueur [9]. Nous optons pour un dipôle de  $\theta = 90^\circ$ , avec des coins en entrée et sortie de  $\alpha = 26.565^\circ$ , et un rayon de courbure  $\rho = 600$  mm. La longueur dipôle / point image est de  $L = 1.2$  m.

Après ce dipôle d'analyse LBE1-D11 déviant le faisceau vers la gauche, un triplet de quadropôles (LBE1-Q14, LBE1-Q15, LBE1-Q16) est utilisé. Puis un second dipôle à  $90^\circ$  (LBE1-D12), strictement identique au premier mais déviant le faisceau vers la droite, complète la double-déviation achromatique. Chaque dipôle sera doté de bobines de corrections et de sondes RMN pour égalité parfaite des champs magnétiques.

Enfin, 2 hexapôles (LBE1-Hx11 et LBE1-Hx12), placés symétriquement avant LBE1-D11 et après LBE1-D12, sont utilisés pour compenser les effets non-linéaires (aberrations d'ordre 2) induits par le passage dans les dipôles d'un faisceau de si grande extension radiale. De ce fait, le premier hexapôle permet de faciliter la séparation, et d'augmenter ainsi la résolution pratique de la ligne.

A noter enfin que le dipôle de tri (LBE1-DIP11) et son hexapôle associé (LBE1-Hx11) sont dimensionnés pour atteindre des champs jusqu'à 2.7 fois supérieurs aux valeurs nominales, cela afin de pouvoir réaliser dans les meilleures conditions le spectre des ions issus de la source jusqu'au  $q/A=1/20$  ( $^{20}\text{Ne}^+$ ).

### → Fente de tri

Une fente horizontale refroidie LBE1-FH13 est positionnée au niveau de point image I afin d'intercepter les polluants n'ayant pas encore été perdus en amont, et ne laisser passer que le faisceau d'intérêt.

### → Diagnostics

Cinq profileurs sont prévus dans cette section. Le profileur LBE1-PR13, situé derrière la fente de tri, est utilisé pour régler le point image. Les 2 profileurs LBE1-PR14 et LBE1-PR22 sont utilisés pour régler l'optique de la double-déviation de façon symétrique. Les 2 profileurs LBE1-PR12 et LBE1-PR21 sont uniquement utilisés pour l'alignement. Enfin, un jeu d'émittance-mètres (1 horizontal, 1 vertical) est placé après le triplet de l'achromat pour réaliser les mesures d'émittances, et une cage de Faraday (LBE1-CF13) est positionnée derrière le profileur LBE1-PR13 pour mesure d'intensité. Un arrêt faisceau (LBE1-AF1) est également présent derrière les émittance-mètres afin d'arrêter le faisceau lors du réglage (ou en cas d'urgence).

### → *Refroidissement nécessaire*

Les études de comportement des polluants [11] montrent que l'on s'attend, pour un faisceau d'oxygène de 1.3 mA, à des pertes de l'ordre de : environ 15 W dans l'hexapôle LBE1-Hx11, environ 150 W dans la chambre du dipôle, près de 40 W sur le tube en aval du dipôle, et quelques W sur la fente de tri. A partir de ces résultats, et estimant que dans le cas de polluants avec des q/A très proches, ces dernières valeurs (tube, fente) pourraient peut-être atteindre jusqu'à quelques centaines de W, les spécifications sur les puissances à évacuer sont fixés à au moins : 500 W sur la chambre du dipôle, 300 W sur le tube en aval du dipôle, 300 W sur la fente de tri, et 50 W sur l'hexapôle. Tous ces éléments (sauf peut-être l'hexapôle) devront donc a priori être refroidis. Concernant les éléments situés en aval de la fente de tri, les pertes maximales envisageables sont de l'ordre de quelques W au maximum. Aucun refroidissement n'est donc a priori nécessaire.

### → *Vide*

Le niveau de vide requis dans la ligne est de  $10^{-8}$  mbar, et devra pouvoir être dégradé jusqu'à quelques  $10^{-7}$  mbar environ. Pour cela, 4 piquages dédiés ont été prévus : 1 en sortie de dipôle LBE1-D11, 1 au niveau du profileur LBE1-PR13, 1 au niveau du profileur LBE1-PR14, et 1 au niveau du profileur LBE1-PR22. Une vanne d'isolation est placée avant le dipôle LBE1-D12. Il est recommandé d'étuver les tubes à vide au préalable pour minimiser le dégazage en opération.

## 2.4 LBE1 – Section de transport

### → *Principe*

Après la double-déviation achromatique de la section d'analyse, une section de transport fait la jonction avec la ligne commune LBEC en prenant soin de minimiser l'extension radiale du faisceau sur tout le parcours, et en particulier au passage des dipôles LBE4.D13 (prévu pour une connexion à la future ligne q/A=1/6) et LBE2-D12 (jonction avec la ligne deutons LBE2).

### → *Eléments magnétiques*

Deux triplets de quadrupôles sont utilisés pour réaliser le transport, le premier (LBE1-Q21, LBE1-Q22, LBE1-Q23) en amont du futur dipôle LBE4.D13, le second (LBE1-Q24, LBE1-Q25, LBE1-Q26) en aval de celui-ci.

### → *Diagnostics*

Trois profileurs sont prévus dans cette section pour régler l'optique. Les profileurs LBE1-PR23 et LBE1-PR24 de part et d'autre du futur dipôle LBE4.D13, et le profileur LBE1-PR23 avant le dipôle deutons LBE2-D12.

### → *Refroidissement nécessaire*

Les pertes maximales envisageables dans les éléments de cette section sont de l'ordre de quelques W au maximum. Aucun refroidissement n'est donc a priori nécessaire.

### → *Vide*

Le niveau de vide requis dans la ligne est de  $10^{-8}$  mbar, et devra pouvoir être dégradé jusqu'à quelques  $10^{-7}$  mbar environ. Pour cela, 3 piquages dédiés ont été prévus, sur les boîtes diagnostics associées aux 3 profileurs. Une vanne d'isolation est placée avant le dipôle deutons LBE2-D12.

### 3 DESCRIPTION DE LA LIGNE LBE2 DEUTONS

#### 3.1 Plan de la ligne LBE2 deutons

La ligne LBE2 transporte les deutons (ou  $H_2^+$ ) et les protons issus de la source LBE2-SI1. Elle peut être décomposée en 2 parties principales de fonctions différentes : la section de préparation faisceau, et la section de tri et d'achromatisme. Ces 2 sections sont illustrées sur les 2 figures suivantes.

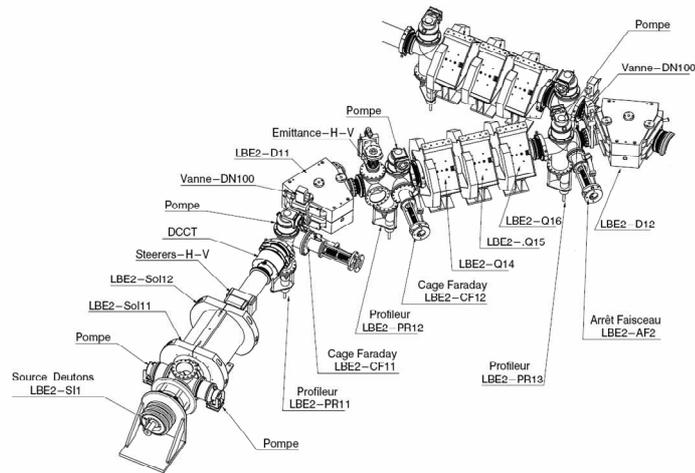


Figure 7: Vue en perspective de la ligne LBE2 et nomenclature des éléments.

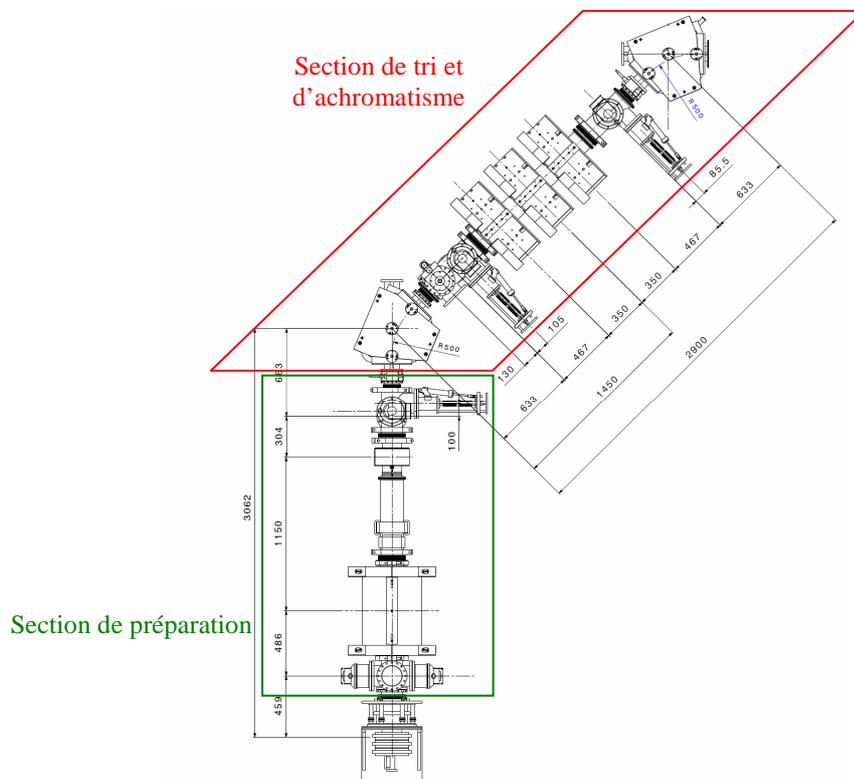


Figure 8 : Plan détaillé de la ligne LBE2.

### 3.2 LBE2 – Section de préparation faisceau

#### → Principe

La section de préparation faisceau vise essentiellement à refocaliser le faisceau sortant de la source deutons.

#### → Eléments magnétiques

Un solénoïde avec deux bobinages successifs alimentés séparément (LBE2-Sol11 et LBE2-Sol12) est utilisé. Le choix d'utiliser deux bobinages indépendants (c'est-à-dire délivrant 2 zones de champs  $B_1$  et  $B_2$  réglables) améliore la souplesse du réglage ; ceci peut en effet s'avérer utile en cas de surprise sur les valeurs de taux de compensation de charge d'espace dans la ligne (cf. Chapitre 5) ou de désadaptation du faisceau issu de la source. Dans le même ordre d'idée, la longueur de l'espace de glissement entre ce double-solénoïde et le dipôle LBE2-D11 a été optimisée afin de pouvoir assurer une optique satisfaisante pour des taux de compensation compris entre 50% à 100%. Enfin, 2 défecteurs magnétiques (« steerers ») sont localisés en aval du solénoïde pour l'alignement du faisceau.

A noter que le solénoïde à double bobinage est dimensionné pour atteindre des champs jusqu'à 1.8 fois supérieurs aux valeurs nominales, cela afin de pouvoir réaliser dans les meilleures conditions le spectre des ions issus de la source jusqu'au  $q/A=1/6$  ( $D_3^+$ ).

#### → Diagnostics

Un DCCT blindé est disponible en aval des « steerers » pour mesure du courant faisceau, et un profileur (LBE2-PR11) est positionné avant le premier dipôle pour le pré-réglage du double-solénoïde. Une cage de Faraday (LBE2-CF11) est disponible derrière le profileur, utile pendant le réglage. Il doit pouvoir être prévu de déplacer cette cage de Faraday au niveau du piquage de sortie source si nécessaire. A noter que, dans certains cas, l'utilisation du profileur pourra être rendue difficile du fait de la présence d'un halo important de polluants.

#### → Refroidissement nécessaire

Les études de comportement des polluants [11] montrent que l'on s'attend, pour un faisceau de deutons de 6.5 mA, à des pertes de l'ordre de : 40 W dans l'espace de glissement solénoïde / dipôle, et moins de 1 W dans le solénoïde. Cependant, considérant les pertes maximales envisageables dans tous les modes de fonctionnement (cf. Chapitre 5), les spécifications sur les puissances à évacuer sont fixées à au moins : 100 W dans le solénoïde, et 150 W le long du tube à vide reliant le solénoïde au dipôle. Un refroidissement devra être prévu ; l'idée de l'ajout d'un diaphragme refroidi après les 2 « steerers » pourraient permettre de rendre les « pertes tube » mieux localisées.

A noter que dans le cas où l'on veuille fonctionner en  $H_2^+$  6.5 mA et faisceau continu, ces spécifications doivent être revues à la hausse (cf. Chapitre 5) avec au moins : 100 W dans le solénoïde, et 750 W le long du tube à vide reliant le solénoïde au dipôle.

#### → Vide

Le niveau de vide requis dans la ligne est de  $10^{-6}$  mbar pour limiter l'interaction des ions avec le gaz résiduel (cf. Chapitre 1). Pour cela, 3 piquages dédiés ont été prévus : 2 en sortie de source, et 1 au niveau du profileur LBE2-PR11. Une vanne d'isolation est placée entre la cage de Faraday LBE2-CF11 et le dipôle. Pour information, le niveau de vide dans la source d'ions sera de l'ordre de  $10^{-3}$  mbar. Il est recommandé d'étuver les tubes à vide au préalable pour minimiser le dégazage en opération.

### 3.3 LBE2 – Section de tri et d'achromatisme

#### → Principe

La section de tri et d'achromatisme a pour objectif, via une double-déviations, de séparer le faisceau d'intérêt de ses polluants associés tout en conservant une ligne de transport symétrique, pour faciliter le réglage, et achromatique en angle et position, pour éviter toute fluctuation du centroïde du faisceau le long de la ligne commune LBEC en cas de variation de la tension source ou de dérive des champs des dipôles, qui seront alimentés en série.

#### → Eléments magnétiques

Cette double-déviations achromatique est effectuée en utilisant les dipôles secteurs d'indice nul LBE2-D11 et LBE2-D12, d'angle  $\theta = 45^\circ$  et de rayon de courbure  $\rho = 500$  mm. Une telle déviations permet en effet de réaliser sans difficulté le tri désiré. De plus, le choix de dipôles secteurs (sans coin) permet de mieux équilibrer les excursions radiales du faisceau dans chaque plan. Enfin, comme dans la ligne LBE1, ces dipôles sont dotés de bobines de correction pour équilibrage mutuel. Entre ces 2 dipôles déviant le faisceau vers la droite, un triplet de quadripôles (LBE2-Q14, LBE2-Q15, LBE2-Q16) est utilisé pour focaliser le faisceau et ajuster l'achromaticité de la ligne. Aucun hexapôle n'est par contre utilisé compte tenu de la faible extension radiale du faisceau dans les dipôles.

A noter que le premier dipôle LBE2-D11 est dimensionné pour atteindre un champ jusqu'à 1.8 fois supérieur à la valeur nominale, cela afin de pouvoir réaliser dans les meilleures conditions le spectre des ions issus de la source jusqu'au  $q/A=1/6$  ( $D_3^+$ ).

#### → Diagnostics

2 profileurs, LBE2-PR12 et LBE2-PR13, sont positionnés de part et d'autre du triplet pour régler l'optique de la double-déviations achromatique de façon aussi symétrique que possible. Un jeu d'émission-mètres (1 horizontal, 1 vertical) est placé juste avant le profileur LBE2-PR12 pour réaliser les mesures d'émission des faisceaux produits. Une cage de Faraday (LBE2-CF12) est placée derrière le profileur LBE2-PR12 pour arrêter le faisceau lors du réglage, et pour mesure d'intensité. Enfin, un arrêt faisceau (LBE2-AF2) est également présent derrière le profileur LBE2-PR13, utile pour arrêter le faisceau à pleine puissance en cas de besoin.

#### → Refroidissement nécessaire

Les études de comportement des polluants [11] montrent que l'on s'attend, pour un faisceau de deutons de 6.5 mA, à des pertes de l'ordre de : 25 W dans la chambre du dipôle LBE2-D11, et 20 W dans l'espace de glissement dipôle / triplet. Cependant, considérant les pertes maximales envisageables dans tous les modes de fonctionnement (cf. Chapitre 5), les spécifications sur les puissances à évacuer sont fixées à au moins : 100 W sur la chambre du dipôle, et 100 W le long du tube en aval du dipôle. Un refroidissement (à évaluer) devra être prévu. Concernant les éléments situés en aval (depuis le triplet jusqu'à la fin de la ligne LBE2), les pertes maximales envisageables sont de l'ordre de 15 W au maximum ; aucun refroidissement n'est donc a priori nécessaire.

A noter que dans le cas où l'on veuille fonctionner en  $H_2^+$  6.5 mA et faisceau continu, les spécifications doivent être revues à la hausse concernant le dipôle et son tube aval (cf. Chapitre 5), avec au moins : 650 W sur la chambre du dipôle, et 400 W le long du tube en aval du dipôle.

#### → Vide

Le niveau de vide requis dans la ligne est de  $10^{-6}$  mbar. Pour cela, 2 piquages dédiés ont été prévus : 1 au niveau du profileur LBE2-PR12, et 1 au niveau du profileur LBE2-PR13. Une vanne d'isolation est placée avant le second dipôle LBE2-D12. Il est recommandé d'éteindre les tubes à vide au préalable pour minimiser le dégazage en opération.



## 4 DESCRIPTION DE LA LIGNE LBEC COMMUNE

### 4.1 Plan de la ligne LBEC commune

La ligne LBEC est commune à tous les ions produits, et est conçue de façon à permettre un réglage analogue pour les ions  $q/A = 1/3$  et les deutons/protons (les quadrupôles sont notamment toujours de même signe). Elle peut être décomposée en 2 parties principales de fonctions différentes : la section de mise en forme du faisceau, et la section d'adaptation au RFQ. Ces 2 sections sont illustrées sur les 2 figures suivantes.

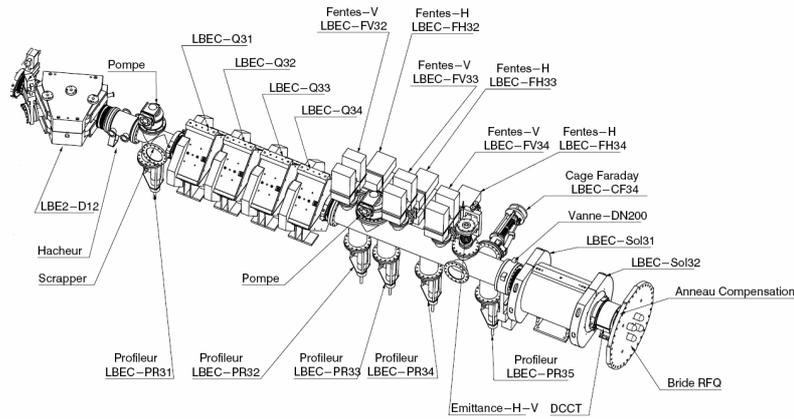


Figure 9 : Vue en perspective de la ligne LBEC et nomenclature des éléments.

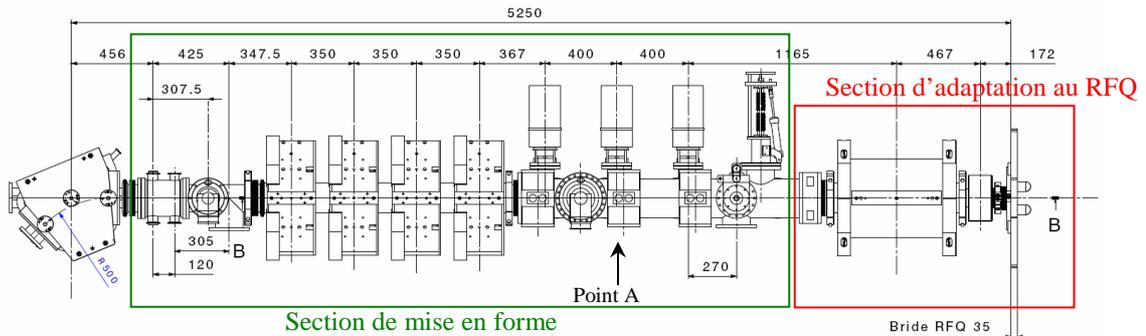


Figure 10 : Plan détaillé de la ligne LBEC.

### 4.2 LBEC – Section de mise en forme

#### → Principe

La section de mise en forme, située en aval du dipôle LBE2-D12, a pour but de créer un faisceau rond à l'entrée du solénoïde d'injection LBEC-Sol31. Deux fonctions supplémentaires de cette section sont : dans le cas d'un fonctionnement en faisceau pulsé, la définition du cycle utile à l'aide d'un hacheur et de son arrêt faisceau (« scrapper ») associé, et de manière plus générale, le nettoyage et la définition de l'émittance du faisceau à l'aide d'un système à 3 fentes. Ces fonctions doivent être valides dans tous les cas de figure (ions  $q/A=1/3$ , deutons, protons).

### → *Hacheur et arrêt faisceau associé*

Un hacheur électrostatique déviant le faisceau horizontalement est placé en sortie du dipôle LBE2-D12. Il est composé de 2 plaques de longueur utile 16 cm, espacées de 9 cm, et pouvant créer une tension inter-plaques de 10 kV au maximum, valeur utilisée pour les ions  $q/A=1/3$  (deutons : 6 kV, protons : 3 kV). Ce hacheur pourra être utilisé pour faire varier le cycle utile du faisceau entre 0.1% et 100% des faisceaux de très faible courant, à des fréquences comprises entre 1 Hz et 100 Hz au minimum ; il pourra éventuellement aussi servir d'élément de sécurité. Le « scrapper » associé, positionné en aval du piquage du hacheur, est décalé par rapport à l'axe faisceau de  $r = 43$  mm afin, dans tous les cas de figure, de pouvoir intercepter le faisceau dévié sans intercepter le faisceau nominal ; il devra être refroidi.

### → *Eléments magnétiques*

Un quadruplet de quadrupoles (LBEC-Q31, LBEC-Q32, LBEC-Q33, LBEC-Q34) est utilisé pour contrôler totalement les paramètres du faisceau et créer un faisceau rond ( $\beta_x=\beta_y$ ) de divergence nulle (« waist »,  $\alpha_x=\alpha_y=0$ ) au centre du système à 3 fentes (point A). La polarité du premier et dernier quadrupole devra pouvoir être changée.

### → *Système à 3 fentes*

Un jeu de 6 fentes, 3 horizontales (LBEC-FH32, LBEC-FH33, LBEC-FH34) et 3 verticales (LBEC-FV32, LBEC-FV33, LBEC-FV34), est placé juste derrière le quadruplet. Les 2 fentes centrales, au niveau desquelles le « waist » du faisceau (point A) est réglé, sont entourées des 2x2 fentes périphériques, d'ouvertures plus larges, positionnées de façon symétrique par rapport aux fentes centrales. Toutes ces fentes devront être refroidies.

Un tel système permet, avant l'injection dans le RFQ, de supprimer le halo qui s'est formé en amont, et de définir les émittances transverses en maintenant un faisceau quasi elliptique dans les deux plans transverses ( $x,x'$ ) et ( $y,y'$ ).

### → *Diagnostics*

Quatre profileurs sont présents dans cette section. Le profileur LBEC-PR31, positionné en début de section, est utilisé pour ajuster les optiques amont. Les 3 profileurs LBEC-PR32, LBEC-PR33 et LBEC-PR34, associés à chacune des 3 paires de fentes, sont utilisés pour le réglage du quadruplet et l'ajustement des fentes. Les 2 profileurs extérieurs (LBEC-PR32 et LBEC-PR34) sont positionnés de façon symétrique par rapport au point A (fente centrale). Derrière le système à 3 fentes sont positionnés un émittance-mètre et une cage de Faraday (LBEC-CF34), utiles pour les réglages et la caractérisation du faisceau sortant des lignes basse-énergie.

### → *Refroidissement nécessaire*

Le « scrapper » associé au hacheur devra pouvoir intercepter la puissance totale du faisceau, soit environ 260 W au maximum (deutons 6.5 mA). Il devra être refroidi. De plus, l'électronique du hacheur devra être protégée contre les neutrons (à 180° environ) qui seront émis au niveau du « scrapper ». Les quadrupôles situés en aval du « scrapper » devront pouvoir supporter une puissance de 50 W au maximum (20% de la puissance faisceau totale), dans le cas d'une optique défavorable qui empêcherait le hacheur de dévier totalement le faisceau sur le « scrapper » (cf. Chapitre 5). Un refroidissement devra être prévu si nécessaire. Concernant les 6 fentes destinées à supprimer le halo du faisceau, les spécifications sur les puissances à évacuer sont fixées à au moins 60 W pour chacune d'entre elles. Un refroidissement devra être prévu si nécessaire. Enfin, pour tous les autres éléments de cette section, les pertes maximales envisageables sont de l'ordre de 15 W au maximum (phases de réglage) ; aucun refroidissement n'est donc a priori nécessaire.

### → *Vide*

Le niveau de vide requis dans la ligne est de  $10^{-8}$  mbar (les ions  $q/A = 1/3$  sont ici dimensionnant), mais devra pouvoir être dégradé jusqu'à  $10^{-6}$  mbar (cas deutons). Pour cela, 2 piquages dédiés ont été prévus : 1 au niveau du profileur LBEC-PR31, et 1 au niveau du système à 3 fentes.

### 4.3 LBEC – Section d'adaptation au RFQ

#### → Principe

Cette section finale permet d'adapter le faisceau au RFQ pour maximiser sa transmission. Il est à noter que le réglage d'une telle injection est traditionnellement difficile.

#### → Éléments magnétiques

L'adaptation est réalisée en utilisant un solénoïde possédant deux bobinages successifs alimentés séparément (LBEC-Sol31 et LBEC-Sol32), ce qui donne la souplesse nécessaire pour adapter de façon adéquate le couple ( $\alpha, \beta$ ) du faisceau rond produit précédemment. La polarité des 2 bobinages devra pouvoir être changée selon les faisceaux à injecter. **De plus, le solénoïde pourrait éventuellement être mis sur roulettes pour donner un degré de liberté supplémentaire si nécessaire (1 ou 2 cm de jeu).** A noter que la position du solénoïde par rapport au système à 3 fentes a été optimisée de façon à pouvoir réaliser l'adaptation dans tous les cas de figure testés.

#### → Diagnostics

Un profileur LBEC-PR35, situé en amont du solénoïde, sera utilisé pour l'alignement. Entre le solénoïde et le RFQ, un DCCT blindé permettra de mesurer en permanence le courant faisceau pénétrant dans le RFQ en régime continu, mais pas en régime pulsé (la partie ACCT est supprimée pour minimiser la longueur solénoïde/RFQ). Ceci sera très utile, notamment pour le réglage du RFQ par optimisation de sa transmission. Nous avons vérifié que le blindage prévu éliminait les effets du champ de fuite magnétique du solénoïde. En cas de problèmes majeurs d'injection au moment du « commissioning », le DCCT pourra être retiré pour laisser place à des diagnostics provisoires (profileur ou émittance-mètre). Enfin, une bague polarisée négativement (anneau de décompensation) positionnée sur la bride d'entrée du RFQ **(ou au niveau du DCCT)** a pour rôle de faciliter l'adaptation du faisceau, en assurant que le faisceau pénétrant le RFQ est un faisceau non-compensé en termes de charge d'espace, et de fiabiliser la mesure d'intensité du DCCT, en minimisant le courant d'électrons qui le traverse.

#### → Refroidissement nécessaire

Pour tous les autres éléments de cette section, les pertes maximales envisageables sont de l'ordre de **15 W au maximum** (phases de réglage) ; aucun refroidissement n'est donc a priori nécessaire. Il peut cependant s'avérer utile de prévoir un refroidissement près de la bride d'entrée du RFQ, de diamètre très étroit, en cas de désalignement imprévu du faisceau.

#### → Vide

Le niveau de vide requis dans la ligne est de  $10^{-8}$  mbar pour des raisons de « stripping » (les ions  $q/A = 1/3$  sont ici dimensionnant). Le pompage s'effectuera via les piquages de la section précédente de mise en forme, et via le RFQ. Une vanne d'isolation est en effet placée avant le solénoïde.



## 5 OPTIQUE DANS LES LIGNES BASSE-ENERGIE

### 5.1 Hypothèses de calculs

#### → Codes utilisés

L'optique des lignes basse-énergie a été simulée en utilisant les codes TRACEWIN et PARTRAN, développés par le CEA Saclay [26]. TRACEWIN permet d'effectuer les calculs d'enveloppe au premier ordre, tandis que PARTRAN traite les simulations multi-particulaires, utiles notamment pour le traitement des aberrations induites par les dipôles. Les effets de charge d'espace sont traités via la routine PICNIC 3D. Les simulations multi-particulaires sont effectuées avec au moins 10 000 particules, et une distribution initiale dans les 2 plans de type gaussienne tronquée à  $\pm 4\sigma$ , hypothèse a priori pessimiste.

Ces codes permettent également de simuler les procédures de démarrage ou de réglage des lignes en incluant les différents diagnostics et leurs correcteurs associés. Simuler les lignes telles qu'elles seront réglées permet ainsi de valider l'ensemble des étapes du « commissioning » ainsi que les choix et emplacements des diagnostics nécessaires. L'ensemble des études d'erreurs réalisées sur le projet intègre ces procédures automatiques de réglage. Les simulations des lignes basse-énergie du driver de SPIRAL-2 étant basées sur ces uniques outils, une attention particulière a été apportée, au cours de l'APD et de la phase de consolidation, à la comparaison avec d'autres codes de simulation tels que LIONS\_LINAC [27], TRANSPORT [28] ou BETA [29]. De plus, PARTRAN a récemment fait l'objet d'une étude comparative [30] incluant la plupart des codes de référence de la communauté dans le cadre du projet HIPPI [31].

Notons enfin que dans un premier temps, les calculs de dynamique des faisceaux ont été effectués en considérant des éléments magnétiques de type créneau. Ils ont ensuite été complétés par de nouveaux calculs\* utilisant des champs réalistes issus de simulations en 3D pour tous les éléments magnétiques hors dipôles.

#### → Compensation de charge d'espace

Un des aspects les plus mal connus dans cette étude concerne la valeur du taux de compensation de charge d'espace dans les lignes. Cette compensation est créée par la production d'électrons due à l'ionisation du gaz résiduel. D'après [32], il est raisonnable de s'attendre, en moyenne le long des lignes basse énergie, à un taux de compensation de l'ordre de 80% pour des protons. Ceci est cohérent avec [4], qui évalue à 70% le taux de compensation dans la ligne Phoenix V2 pour l'oxygène.

La valeur de ce taux de compensation est critique dans le cas de l'optique deutons (et protons), du fait notamment des courants mis en jeu (jusqu'à 6.5 mA) et de la faible masse des ions. Elle l'est par contre beaucoup moins pour l'optique des ions  $q/A=1/3$ . De ce fait, afin de rendre les lignes LBE2 et LBEC les plus acceptantes possibles, nous avons choisi de considérer, dans le cas des deutons, des taux de compensation pouvant être compris entre 50% et 100% (avec une valeur nominale de 80%).

#### → Effet de magnétisation en sortie de source

L'effet de « magnétisation » du faisceau en sortie de source ECR est rarement pris en compte dans les simulations et n'a pas été introduit lors de l'APD SPIRAL-2. Cette magnétisation du faisceau, due au franchissement du champ de fuite solénoïdal de la source [33], peut être important dans le cas des sources d'ions lourds à très hautes fréquences, ce qui sera le cas pour la future source A-Phénix. Du point de vue de la condition initiale pour les études de dynamique faisceau, cela se traduit par une corrélation croisée des 2 plans transverses.

Hors charge d'espace, l'on peut montrer qu'il est légitime de négliger ces corrélations croisées, mais à forte intensité, la conjugaison de la magnétisation du faisceau et des effets de charge d'espace peut se traduire par un transfert d'émittance entre les 2 plans transverses. Après modification de TRACEWIN pour permettre d'introduire

---

\* Tous les résultats présentés dans la version 1.0 du présent document correspondent au cas « aimants créneaux ». Les résultats correspondants au cas « cartes de champs 3D » sont présentés uniquement dans la présente version 2.0.

de telles corrélations croisées, une vérification récente a permis de vérifier que les éléments magnétiques de la ligne LBE1 permettent de gérer convenablement cet effet (cf. ci-après).

### → *Faisceaux d'entrée pour optiques nominales*

Sur la base des mesures de sortie source présentées précédemment (cf. Chapitre 1), nous avons choisi de considérer, à la sortie de l'électrode d'extraction des sources, les 3 faisceaux « d'entrée » nominaux suivants [8,18] pour nos nouveaux calculs d'optique avec cartes de champ 3D :

- un faisceau d'ions  $q/A=1/3$  de 60 keV, d'émittance  $0.2 \pi \cdot \text{mm} \cdot \text{mrad}$  norm rms et de paramètres de Twiss  $\alpha=0.5$  et  $\beta=0.12 \text{ mm}/\pi \cdot \text{mrad}$  dans les 2 plans, avec un taux de compensation de charge d'espace le long de la ligne de 70% ;
- un faisceau de deutons de 40.27 keV, d'émittance  $0.1 \pi \cdot \text{mm} \cdot \text{mrad}$  norm rms et de paramètres de Twiss  $\alpha=-3.4$  et  $\beta=0.32 \text{ mm}/\pi \cdot \text{mrad}$  dans les 2 plans, avec un taux de compensation de charge d'espace le long de la ligne de 80% ;
- un faisceau de protons de 20.15 keV, d'émittance  $0.1 \pi \cdot \text{mm} \cdot \text{mrad}$  norm rms et de paramètres de Twiss  $\alpha=-3.4$  et  $\beta=0.32 \text{ mm}/\pi \cdot \text{mrad}$  dans les 2 plans, avec un taux de compensation de charge d'espace le long de la ligne de 80%.

Les résultats présentés dans ce document considèrent les courants « nominaux » (6.5 mA et 1.3 mA) de sortie source. Les optiques « zéro-courant », également simulées, sont accessibles via les fichiers TRACEWIN disponibles sur EDMS au même endroit que le présent document.

De plus, afin de prendre en compte les différentes incertitudes déjà mentionnées (grande diversité des faisceaux d'ions  $q/A=1/3$  à produire, future source A-Phoenix en construction, possibles effets de corrélations croisées dues au champ magnétique de la source, valeur du taux de compensation de charge d'espace...), les 3 faisceaux « d'entrée » suivants ont également été considérés pour nos optiques de référence :

- un faisceau d'ions  $q/A=1/3$  de 60 keV, d'émittance  $0.4 \pi \cdot \text{mm} \cdot \text{mrad}$  norm rms et de paramètres de Twiss  $\alpha=-1$  et  $\beta=0.2 \text{ mm}/\pi \cdot \text{mrad}$  dans les 2 plans, avec un taux de compensation de charge d'espace le long de la ligne de 70% ;
- un faisceau de deutons de 40.27 keV, d'émittance  $0.1 \pi \cdot \text{mm} \cdot \text{mrad}$  norm rms et de paramètres de Twiss  $\alpha=-3.4$  et  $\beta=0.32 \text{ mm}/\pi \cdot \text{mrad}$  dans les 2 plans, avec un taux de compensation de charge d'espace le long de la ligne de 50% ;
- un faisceau de deutons de 40.27 keV, d'émittance  $0.1 \pi \cdot \text{mm} \cdot \text{mrad}$  norm rms et de paramètres de Twiss  $\alpha=-3.4$  et  $\beta=0.32 \text{ mm}/\pi \cdot \text{mrad}$  dans les 2 plans, avec un taux de compensation de charge d'espace le long de la ligne de 100%.

Ces 3 optiques supplémentaires ont été calculées avec des éléments de type « créneau » uniquement [15].

## 5.2 *Procédures de réglage de la ligne ions $q/A=1/3$ (LBE1 + LBEC)*

Les procédures de réglage de l'optique des lignes on fait l'objet d'une étude préalable, et ont été pour la plupart complètement simulées avec les codes de transport afin de vérifier leurs comportements, à la fois en calcul enveloppe (1<sup>er</sup> ordre) et en calcul multi-particulaire.

La ligne ions  $q/A=1/3$  se règle en plusieurs étapes successives. Toutes se réalisent par l'optimisation d'éléments magnétiques en fonction d'informations issues de diagnostics faisceau. Pour le réglage de l'alignement du centroïde du faisceau, un seul « steerer » par quadrupôle a été considéré. Tous les quadrupôles en sont équipés et par convention, un « steerer » nommé  $B_Y$  donne un « kick » sur  $X'$ , et un « steerer »  $B_X$  un « kick » sur  $Y'$ . Les valeurs mentionnées lors de la description des différentes étapes correspondent au réglage de l'optique nominale pour des ions  $q/A=1/3$  d'émittance initiale  $0.2 \pi \cdot \text{mm} \cdot \text{mrad}$  norm rms.

### → Etape 1

Réglage du premier dipôle (LBE1-D11) à sa valeur nominale (attention à bien sélectionner l'ion d'intérêt), et réglage du solénoïde LBE1-Sol11 et du triplet (LBE1-Q11, LBE1-Q12 & LBE1-Q13, tous indépendants) de manière à obtenir sur le profileur LBE1-PR13 situé juste derrière la fente de séparation (point image), la taille faisceau désirée ( $X_{RMS}=1.6$  mm &  $Y_{RMS}=5.2$  mm). Durant ce réglage, la cage de faraday LBE1-CF13 est en place pour optimiser la transmission.

Le réglage est ici effectué pour atteindre une résolution théorique en  $q/A$  (calcul enveloppe) de  $R=150$  [6,7]. Pour cela, il faut que la tache horizontale marginale du faisceau au point image vérifie  $\Delta x \leq T_{16} / 2 R$ , où  $T_{16}$  est le terme dispersif du système optique qui vaut ici 2.4m. La condition à vérifier est donc ici  $\Delta x \leq 8$  mm. En termes de rayon rms, cela correspond, en considérant un rayon marginal de  $\sqrt{6}$  fois la taille rms, à la condition :  $X_{RMS} \leq 1.6$  mm.

Dans le plan vertical, la taille demandée au point image ( $Y_{RMS}=5.2$  mm) permet de minimiser l'extension verticale du faisceau dans le dipôle.

[Diagnostic\_1 dans le fichier TRACEWIN]

### → Etape 2

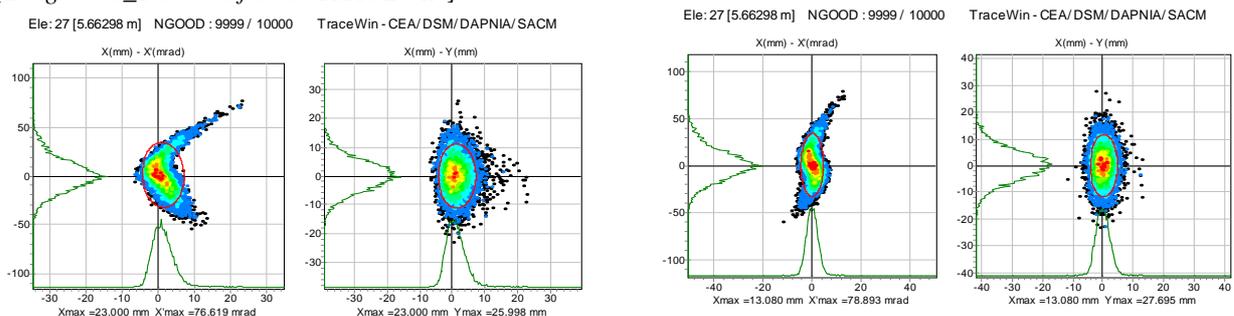
On vérifie la présence d'un « waist » sur le profileur LBE1-PR13 en faisant varier légèrement le gradient du quadrupôle LBE1-Q13 autour de la valeur obtenue à l'étape précédente. On peut s'aider de la cage de faraday LBE1-CF13. Les fentes de nettoyage LBE1-FH11 et LBE1-FV11 pourront aussi éventuellement être utilisées pour vérifier le « waist » du point objet. Elles seront ensuite ajustées pour intercepter une partie des polluants sans dégrader la transmission de l'ion d'intérêt ; leur ouverture sera de l'ordre de  $\varnothing 100$  mm dans chaque plan.

[Diagnostic\_1 dans le fichier TRACEWIN]

### → Etape 3

Ajustement de l'hexapôle LBE1-Hx11 pour compenser les non-linéarités d'ordre 2 du premier dipôle, en s'aidant du profileur LBE1-PR13, voire, ultérieurement, de la mesure d'émittance présente dans l'achromat. L'effet de cet hexapôle est illustré sur la Figure 11. Un réajustement du réglage de l'étape n°1 pourra être éventuellement effectué une fois l'hexapôle réglé pour parfaire la netteté du point image. Une fois le premier hexapôle ajusté, la force du second hexapôle (LBE1-Hx12) sera réglée par symétrie avec une valeur opposée à celle du premier\*.

[Diagnostic\_2 dans le fichier TRACEWIN]



### → Etape 4

Ajustement des steerers  $B_Y$  de LBE1-Q11,  $B_X$  de LBE1-Q12 et  $B_Y$  de LBE1-Q13 afin d'aligner le centroïde du faisceau sur les profileurs LBE1-PR13 et LBE1-PR12. Notons cependant qu'il n'est pas évident que l'on verra quelque chose d'exploitable sur LBE1-PR12 si trop de polluants sortent du dipôle.

[Diagnostic\_3 dans le fichier TRACEWIN]

\* On peut cependant imaginer mieux optimiser la valeur du second hexapôle par la suite, en disposant un émittance-mètre de façon provisoire en place du profileur LBE1-PR22. [Diagnostic\_5 dans le fichier TRACEWIN]

### → Etape 5

Ajustement de la fente horizontale de nettoyage LBE1-FH12 pour couper les queues subsistant les effets non-linéaires d'ordres supérieurs dans le dipôle. On pourra s'aider pour cela du profileur LBE1-PR13 et de la cage de Faraday LBE1-CF13 en dégradant la transmission de l'ion d'intérêt de quelques %. L'ouverture nominale de la fente LBE1-FH12 (placée à 45cm en aval du point objet) est d'environ  $\varnothing$  36 mm (plan horizontal).

### → Etape 6

Ajustement de la fente horizontale de tri LBE1-FH13 en visualisant les faisceaux à séparer sur le profileur LBE1-PR13 et en optimisant la transmission de l'ion d'intérêt sur la cage de Faraday LBE1-CF13. Un ajustement de la fente de tri à  $\varnothing$  10 mm permet d'atteindre une résolution pratique en  $q/A$  (calcul multi-particulaire) de l'ordre de 115 avec une transmission supérieure à 95%. La Figure 12 illustre les performances du système de tri pour des espèces d'ions distantes de +/- 1 % en  $q/A$ .

### → Etape 7

Ajustement du second dipôle et ajustement du triplet (LBE1-Q14, LBE1-Q15 & LBE1-Q16, avec LBE1-Q16 de même gradient que LBE1-Q14) de manière à obtenir un « waist » sur les profileurs LBE1-PR14 et LBE1-PR22 tout en assurant la symétrie de l'optique en égalisant les tailles faisceau dans les profileurs LBE1-PR13 et LBE1-PR14. On devra partir de valeurs calculées vérifiant l'achromaticité de l'ensemble. Cette propriété devra être revérifiée après le réglage des « waists ». Pour ce faire, on fera varier les champs des 2 dipôles et des 3 quadrupôles de manière identique tout en vérifiant que le centroïde du faisceau n'est pas affecté.

[Diagnostic\_4 dans le fichier TRACEWIN]

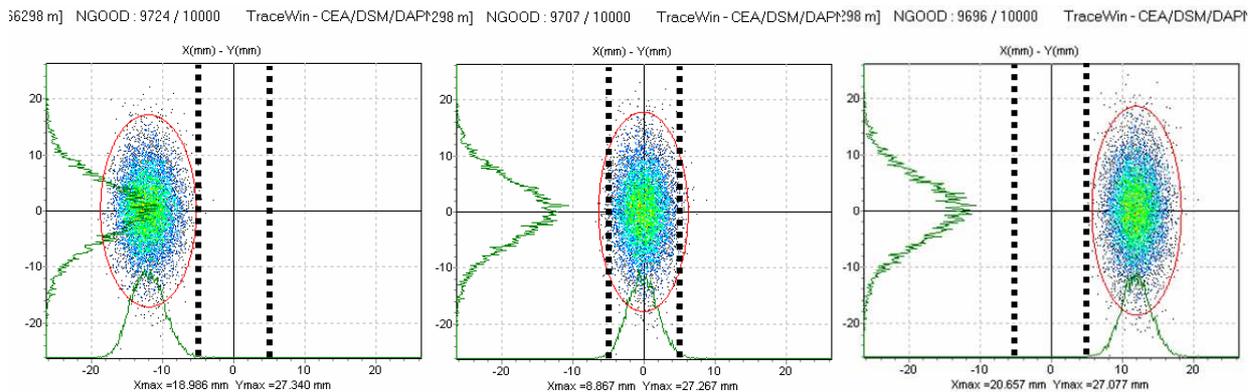


Figure 12: Tache faisceau au niveau de la fente de tri (traits pointillés) pour le faisceau nominal de  $q/A = 1/3$  (centre), et pour des faisceaux de  $q/A = 1/3 - 1/100$  (gauche) et  $q/A = 1/3 + 1/100$  (droite).

Les ellipses rouges représentent 99% du faisceau.

### → Etape 8

Ajustement des steerers  $B_x$  de LBE1-Q14,  $B_y$  de LBE1-Q15 et  $B_x$  de LBE1-Q16 afin d'aligner le centroïde du faisceau sur les profileurs LBE1-PR21 et LBE1-PR22.

[Diagnostic\_6 dans le fichier TRACEWIN]

### → Etape 9

Ajustement du triplet (LBE1-Q21, LBE1-Q22 & LBE1-Q23, tous indépendants) de manière à obtenir un faisceau rond (même taille en X et en Y) de taille proche de 8.5 mm rms, sur les deux profileurs LBE1-PR23 et LBE1-PR24. Ceci permet de minimiser les enveloppes à la traversée du futur dipôle LBE4.D13.

[Diagnostic\_9 dans le fichier TRACEWIN]

### → Etape 10

Ajustement des steerers  $B_X$  de LBE1-Q21,  $B_Y$  de LBE1-Q22 et  $B_X$  de LBE1-Q23 afin d'aligner le centroïde du faisceau sur les profileurs LBE1-PR23 et LBE1-PR24.

[Diagnostic\_10 dans le fichier TRACEWIN]

### → Etape 11

Ajustement du triplet (LBE1-Q24, LBE1-Q25 & LBE1-Q26, tous indépendants) de manière à obtenir un faisceau rond (même taille en X et en Y) de taille proche de 6 mm rms, sur les deux profileurs LBE1-PR25 et LBEC-PR31. Ceci permet de minimiser les enveloppes à la traversée à la fois du dipôle deutons LBE2-D12 et du hacheur de la ligne LBEC.

[Diagnostic\_11 dans le fichier TRACEWIN]

### → Etape 12

Ajustement des steerers  $B_X$  de LBE1-Q24,  $B_Y$  de LBE1-Q25 et  $B_X$  de LBE1-Q26 afin d'aligner le centroïde du faisceau sur les profileurs LBE1-PR25 et LBEC-PR31.

[Diagnostic\_12 dans le fichier TRACEWIN]

### → Etape 13

Ajustement du quadruplet (LBEC-Q31, LBEC-Q32, LBEC-QP33 & LBEC-Q34, tous indépendants) de manière à obtenir un faisceau rond (même taille en X et en Y) de taille de l'ordre de 3.5 à 4 mm rms sur le profileur LBEC-PR33, avec les mêmes profils sur les profileurs LBEC-PR32 & LBEC-PR34 afin de créer un « waist » au niveau des fentes centrales LBEC-FH33 et LBEC-FV33 du système de définition d'émission.

Ce système à 3 (×2) fentes a été dimensionné pour obtenir des tailles faisceau environ  $N=\sqrt{2}$  fois plus grandes au niveau des fentes périphériques qu'au niveau des 2 fentes centrales. La taille du « waist » à créer au centre du système s'exprime donc, en fonction de l'émission normalisée du faisceau  $\epsilon_{\text{norm}}$  et de sa vitesse réduite  $\beta$  :

$$X_{\text{RMS}}^2 = Y_{\text{RMS}}^2 = \frac{L \epsilon_{\text{norm}}}{\beta \sqrt{N^2 - 1}}, \text{ où } L \text{ est la distance inter-fentes (400 mm) ; on a donc ici } X_{\text{RMS}} \approx 7.8 \times \sqrt{\epsilon_{\text{norm}}} \text{ en mm.}$$

[Diagnostic\_14 dans le fichier TRACEWIN]

### → Etape 14

Ajustement des steerers  $B_Y$  de LBEC-Q31,  $B_X$  de LBEC-Q32,  $B_Y$  de LBEC-Q33 et  $B_X$  de LBEC-Q34 afin d'aligner le centroïde du faisceau sur les profileurs LBEC-PR34 et LBEC-PR35. Ici le nombre de steerers est suffisant pour éviter un réglage par itérations successives.

[Diagnostic\_15 dans le fichier TRACEWIN]

### → Etape 15

Ajustement des 6 fentes du système de définition d'émission, de façon à supprimer le halo présent, ou même à redéfinir l'émission (ou/et le courant) si nécessaire en coupant le faisceau de façon plus importante. On utilisera les profileurs associés à chaque paire de fentes pour cela (LBEC-PR31, LBEC-PR32, LBEC-PR33) ainsi que le profileur LBEC-PR34. L'ouverture nominale des fentes pour suppression du halo est de l'ordre  $\varnothing$  20 mm dans chaque plan pour les fentes centrales (LBEC-FH33, LBEC-FV33), et de l'ordre de  $\varnothing$  28 mm dans chaque plan pour les fentes périphériques (LBEC-FH32, LBEC-FV32 et LBEC-FH34, LBEC-FV34). L'émission du faisceau peut être mesurée à l'aide de l'émission-mètre présent en aval des 6 fentes. L'alignement du centroïde (étape 14) devra être vérifié une fois les fentes en place. Durant tous les réglages précédents, la cage de Faraday LBEC-CF34 est utilisée pour vérifier la transmission, et comme arrêt faisceau.

### → *Etape 16*

Ajustement des 2 bobines du solénoïde (LBEC-Sol31, LBEC-Sol32) pour optimiser la transmission du RFQ en utilisant le DCCT d'injection. En cas de problème d'injection dans le RFQ, les étapes n°13 à n°15 pourront être reprises de façon légèrement différente avec l'appui de simulations.

Pour une adaptation au RFQ  $q/A=1/3$ , le faisceau doit avoir une taille d'environ 1.7 mm rms, et une divergence de l'ordre de 25 mrad (cas émittance  $\sim 0.2 \pi$ .mm.mrad norm rms, courant  $\sim 1$  mA).

[Diagnostic\_16 dans le fichier TRACEWIN]

## 5.3 *Optique pour les ions $q/A=1/3$*

### → *Optique nominale ( $q/A = 1/3$ , $0.2 \pi$ mm.mrad norm rms)*

L'optique nominale pour les ions  $q/A=1/3$  est illustrée sur la Figure 13. Les calculs ont été ici effectués avec 100 000 particules en utilisant des cartes de champ 3D pour tous les éléments magnétiques, hors dipôles.

La transmission totale est de l'ordre de 86%, avec environ 7% du faisceau intercepté dans la section de tri (essentiellement sur les fentes de nettoyage et la fente de tri), et environ 7% en fin de ligne dans le système à 3 fentes (cf. Figure 14). Hors fentes, les pertes dans la ligne sont inférieures à 1% ; la transmission du RFQ est elle supérieure à 99.5% (cf. Figure 15).

Les augmentations d'émittance le long de la ligne sont modérées, ne dépassant pas +20% tout le long de la ligne. Le nettoyage du halo (système à 3 fentes) permet au final de retrouver des émittances à peu près égales aux émittances initiales ( $0.2 \pi$ .mm.mrad norm rms), à la fois à l'injection du RFQ et à sa sortie. L'émittance longitudinale créée en sortie de RFQ est de l'ordre de  $0.45 \pi$ .mm.mrad norm rms.

### → *Cas d'une émittance d'entrée plus importante ( $0.4 \pi$ mm.mrad norm rms)*

Dans le cas pessimiste d'une émittance d'entrée de  $0.4 \pi$ .mm.mrad norm. rms, la ligne est réglée strictement de la même façon\*, et l'optique obtenue est similaire, avec un faisceau  $\sqrt{2}$  plus gros en moyenne. Pour cette raison, c'est ce cas qui a été dimensionnant en termes de diamètre des tubes faisceau dans toute la ligne LBE1 (cf. Annexe 3).

---

\* Les différences dans la procédure de réglage se résument principalement (cf. fichier TRACEWIN de l'Annexe 3) à de plus grandes tailles faisceaux requises dans les profileurs (et donc une résolution dégradée de 150 théorique à 100 théorique) ; l'ouverture optimale des différentes fentes est bien sûr aussi plus grande.

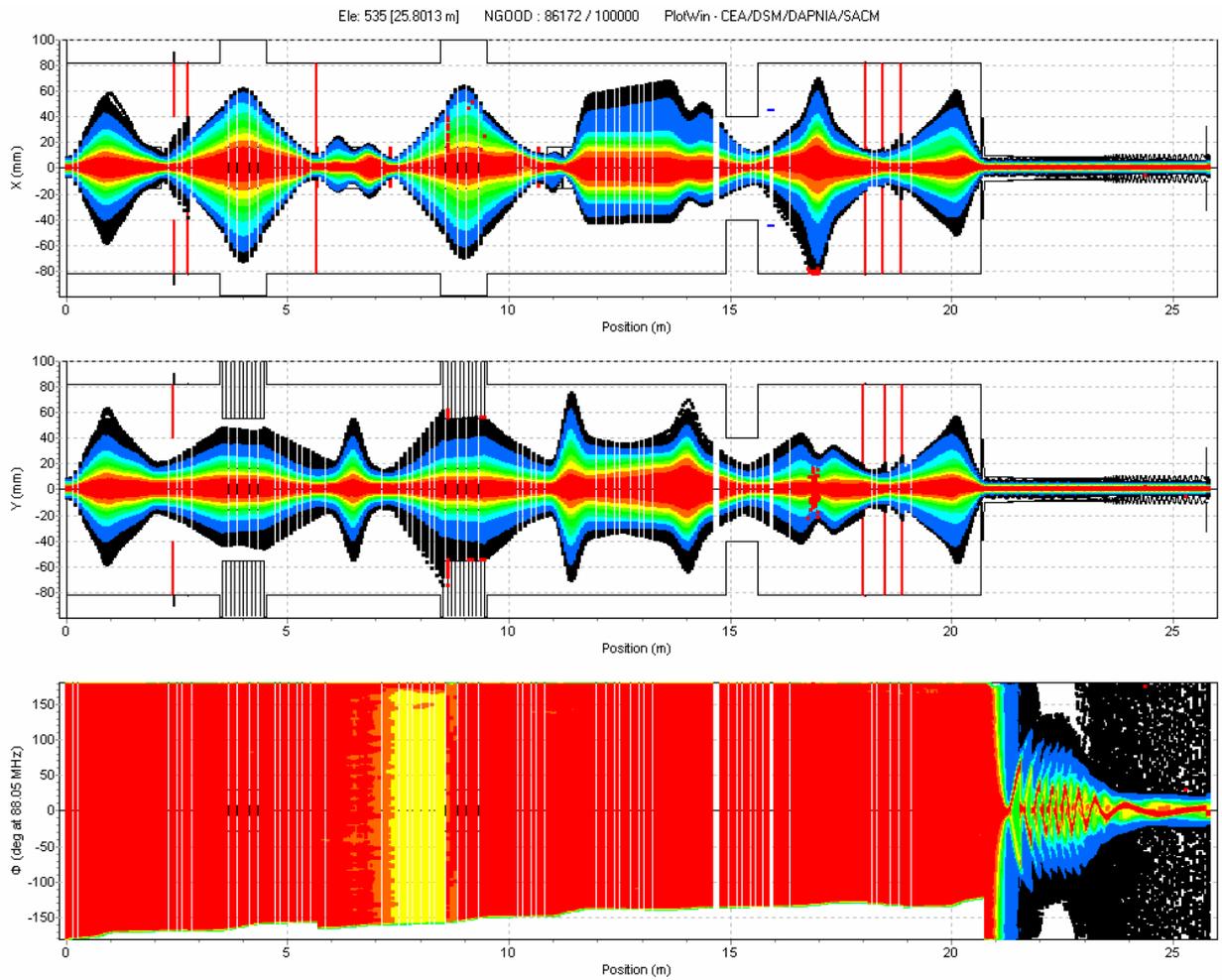


Figure 13 : Optique nominale pour les ions  $q/A = 1/3$ ,  $0.2 \pi \cdot \text{mm} \cdot \text{mrad}$  norm. rms ; calcul multi-particulaire avec cartes de champ 3D, représentant le transport de 100 000 particules.

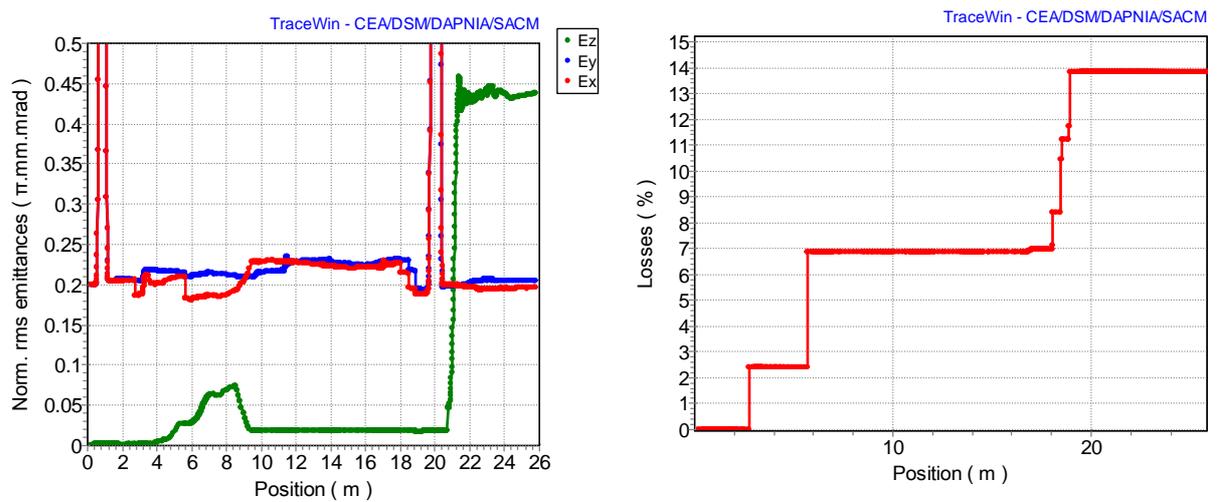


Figure 14 : Optique nominale pour les ions  $q/A = 1/3$  ; évolution des émittances norm. rms (gauche) et pertes faisceau le long de la ligne et du RFQ (droite).

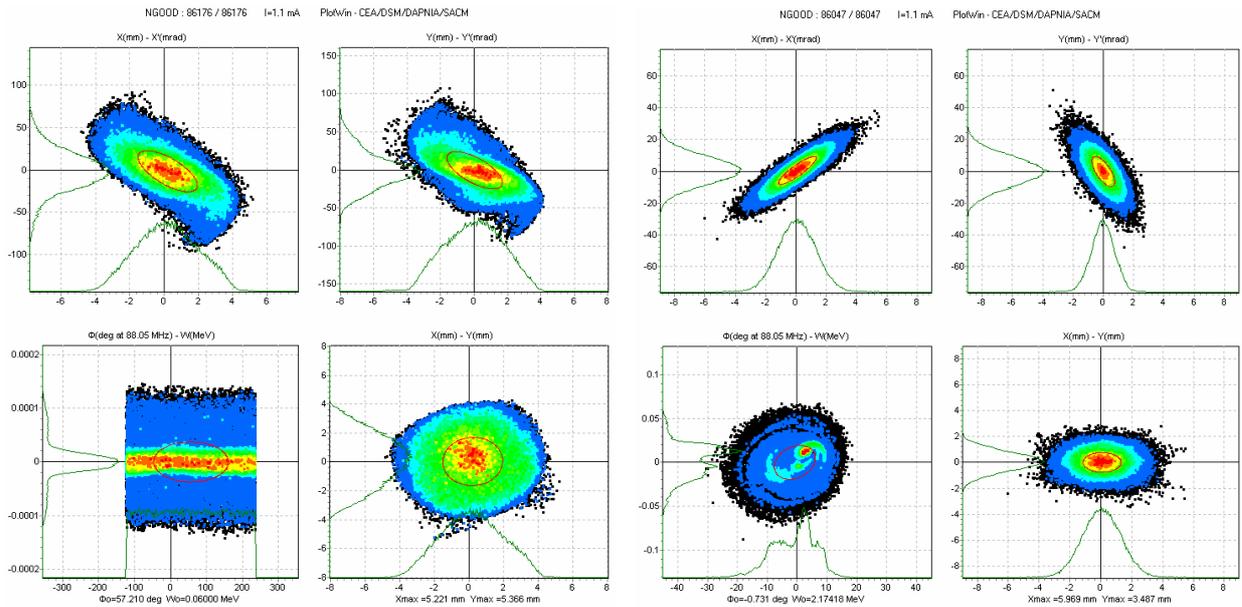


Figure 15: Optique nominale pour les ions  $q/A = 1/3$  ; faisceau à l'entrée (gauche) et à la sortie (droite) du RFQ, côté intérieur des brides de fermeture RFQ ; les ellipses rouges représentent les émittances rms ; pour une meilleure représentation, les particules décrochées longitudinalement sont ici considérées comme perdues dans le RFQ.

### → Optique en mode hacheur

Les caractéristiques du hacheur ont été spécifiées pour pouvoir assurer un fonctionnement dans les 6 optiques de référence étudiées. Ce sont bien sûr les ions les plus lourds (ions  $q/A = 1/3$ ) qui sont dimensionnant, puisqu'ils nécessitent des tensions de l'ordre de 10 kV total (+/- 5 kV).

L'optique en fonctionnement hacheur est illustrée sur la Figure 16, dans le cas d'un faisceau d'ions  $q/A = 1/3$ . Environ 10 à 15% du faisceau n'est pas intercepté par le « scrapper », et se perd totalement dans le premier quadrupôle (qui est divergent dans le plan horizontal pour accentuer la déviation). La plaque du scrapper est positionnée à 43mm de l'axe faisceau. Notons que les simulations sont faites en considérant que les plaques du hacheur sont centrées sur leur piquage dédié ; la situation pourra être améliorée en reculant autant que possible le hacheur vers l'amont (côté dipôle).

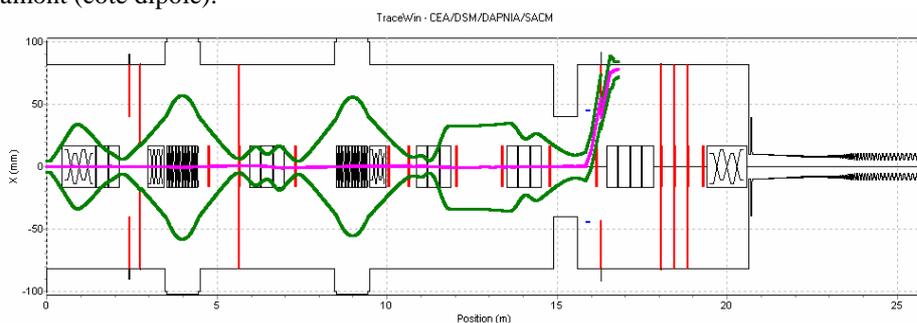


Figure 16 : Enveloppe horizontale hacheur « ON » (+/- 5 kV) pour les ions  $q/A = 1/3$ ,  $0.2 \pi \cdot \text{mm} \cdot \text{mrad}$  norm. rms (enveloppe issue d'un calcul multi-particulaire et donnée à  $\sqrt{6}$  fois la taille rms, soit environ 95% du faisceau total).

### → Comportement des polluants

Les études de comportement des polluants [11] montrent que l'on s'attend, pour un faisceau d'oxygène de 1.3 mA, à des pertes totales de l'ordre de : moins de 1 W dans le solénoïde de sortie source, environ 10 W dans le triplet, de 15 à 20 W sur chacune des 3 fentes de nettoyage, de 5 à 10 W dans les tubes situés entre le triplet et l'hexapôle LBE1-Hx11, environ 15 W sur l'hexapôle, 150 W dans la chambre du dipôle, et près de 40 W sur le tube en aval du dipôle.

A partir de ces résultats, et afin d'anticiper les divers types de faisceaux d'ions susceptibles d'être produits par la source  $q/A = 1/3^*$  ainsi que les pertes maximales envisageables lors des phases de réglage (10 mA total avec un cycle utile de 5%), les spécifications sur les puissances à évacuer sont fixées à au moins : 500 W sur la chambre du dipôle, 300 W sur le tube en aval du dipôle, 300 W sur la fente de tri, 60 W sur chacune des 3 fentes de nettoyage, 50 W sur l'hexapôle et 30 W dans tous les autres éléments de la ligne. La Figure 17 illustre, pour information, le comportement de polluants avec  $q/A = 1$  (protons),  $q/A = 1/2$ ,  $q/A = 1/3 - 1/100$  et  $q/A = 1/14$  ( $N^+$ ) dans le cas d'une optique réglée pour les ions  $q/A = 1/3$ .

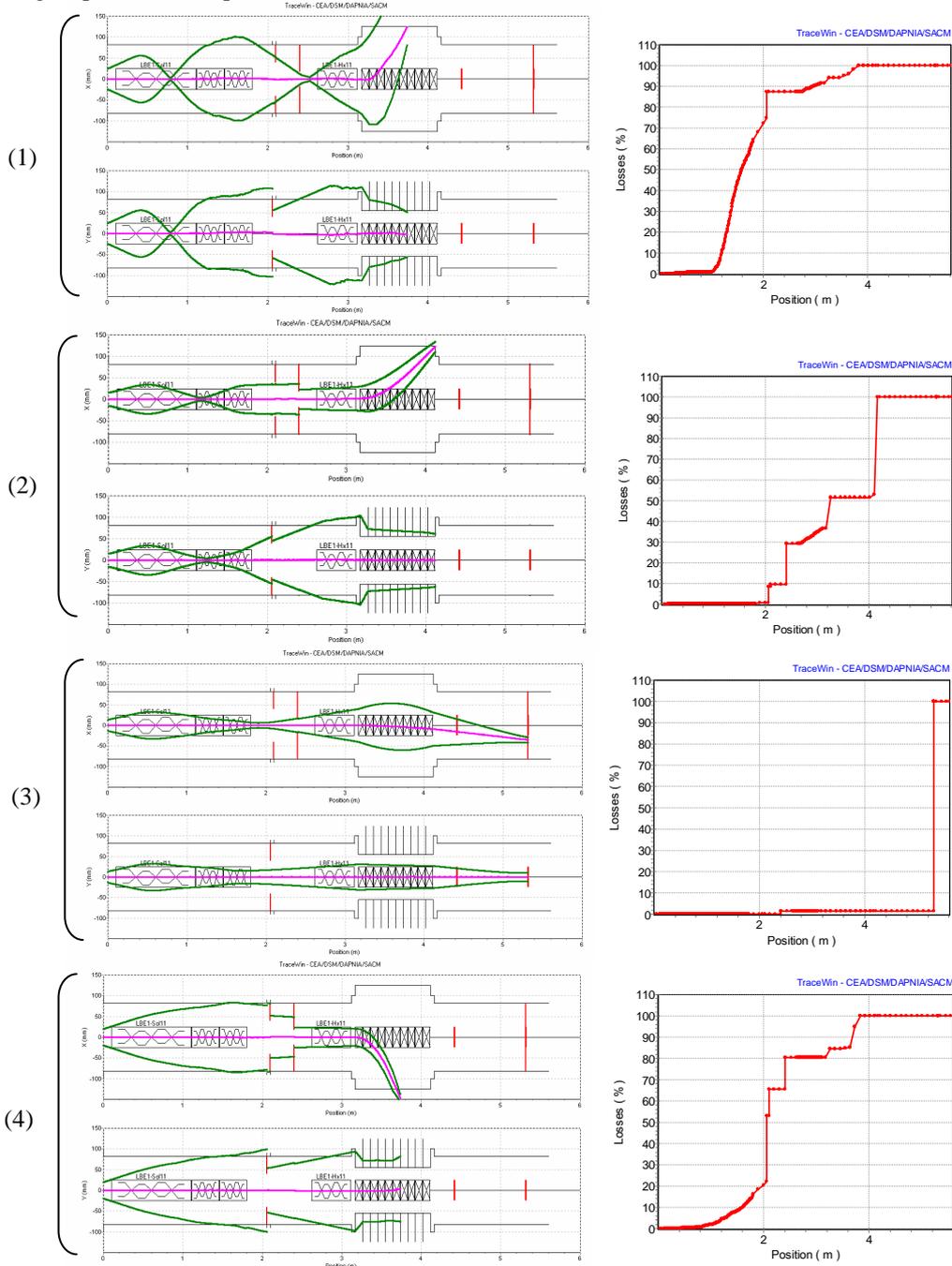


Figure 17 : Comportement des ions  $q/A = 1$  (1),  $q/A = 1/2$  (2),  $q/A = 97/300$  (3), et  $q/A = 1/14$  (4) pour un réglage  $q/A = 1/3$ , et localisation des pertes associées (calculs multi-particules, enveloppes données à  $\sqrt{6}$  fois la taille rms).

\* Un facteur de sécurité de 3 est appliqué aux pertes calculées pour l'élaboration des spécifications afin d'anticiper les divers types de faisceaux d'ions susceptibles d'être produits par la source. De plus, nous estimons que dans le cas de polluants avec des  $q/A$  très proches (de l'ordre de 1%), les puissances perdues sur la fente de tri et le tube amont pourraient peut-être atteindre jusqu'à 2 ou 3 centaines de W au maximum.

→ Effet de la magnétisation de sortie source

Nous avons procédé à plusieurs tests pour évaluer l'effet des corrélations croisées en présence de charge d'espace, dans le cas nominal. La méthode a consisté tout d'abord à modifier la matrice faisceau initiale en introduisant les valeurs de corrélation dans la 2<sup>ème</sup> diagonale, puis à envoyer le faisceau dans la ligne basse-énergie sans en modifier le réglage. La Figure 18 montre l'effet produit sur les 2 émittances transverses et les enveloppes faisceau (cas d'une source fonctionnant à 28 GHz). La Figure 19 montre le portrait du faisceau, sans et avec magnétisation, à l'entrée du RFQ : on observe des profils légèrement modifiés.

Par un nouveau réglage de la ligne peu différent du réglage initial, nous avons vérifié que l'on pouvait rétablir un faisceau à peu près rond en entrée du solénoïde d'injection, et entrer dans le RFQ avec des conditions favorables. Ensuite, dans le RFQ, l'effet des corrélations croisées devient négligeable du fait que le faisceau reste presque rond tout en étant accéléré. De même l'effet sera négligeable à plus haute énergie.

Nous pensons donc que ce problème de magnétisation sera observable dans la ligne basse-énergie (on ne peut l'éviter), et qu'il pourra être maîtrisé. Nous préconisons cependant d'étudier une méthode de mesure au moment des tests à Grenoble, permettant de quantifier cet effet, qui dépend à la fois de la masse de l'ion d'intérêt, de l'intensité du faisceau, du taux de compensation dans la ligne, de la fréquence de la source, du profil axial du champ magnétique de fuite le long de l'extraction, ainsi que du gap accélérateur.

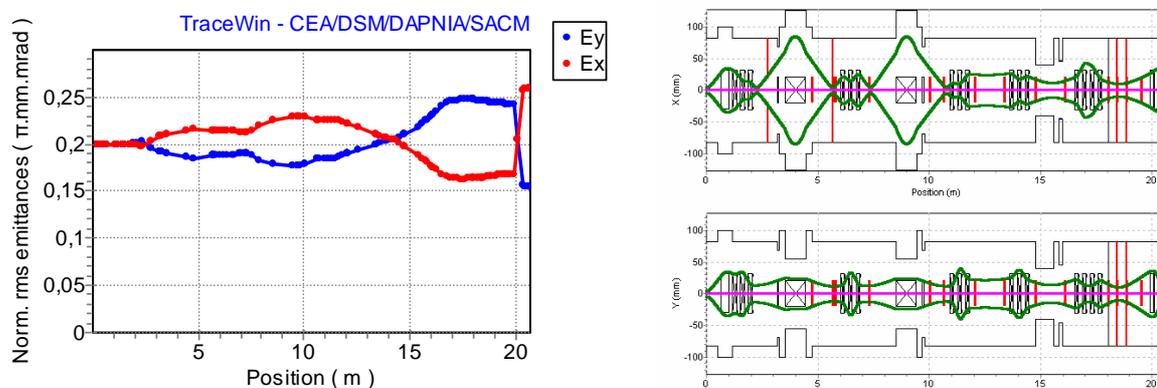


Figure 18 : Effet des corrélations croisées de sortie source (28 GHz) sur les émittances (gauche) et les enveloppes faisceau (droite) ; calculs enveloppe pour le réglage nominal  $q/A = 1/3$ , éléments « créneau ».

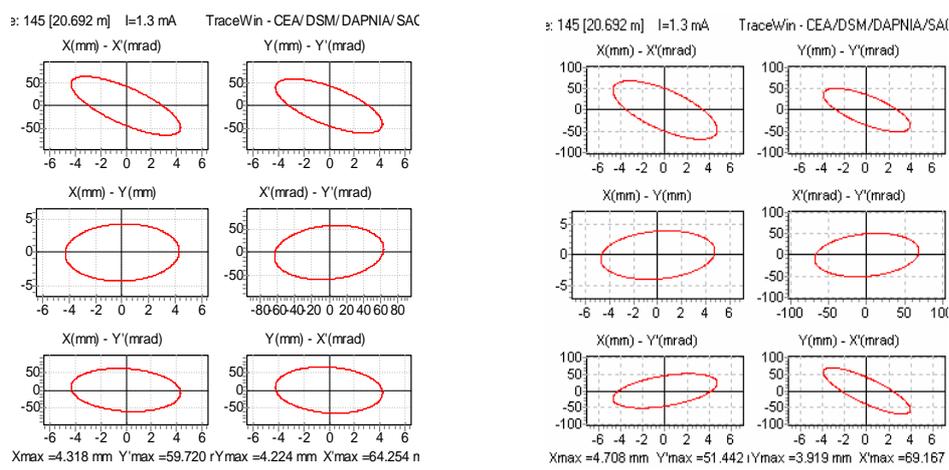


Figure 19 : Portrait du faisceau  $q/A=1/3$  en entrée du RFQ sans (gauche) et avec (droite) effet de magnétisation.

## 5.4 Procédures de réglage de la ligne deutons (LBE2 + LBEC)

La ligne deutons se règle en plusieurs étapes successives. Toutes se réalisent par l'optimisation d'éléments magnétiques en fonction d'informations issues de diagnostics faisceau. Pour le réglage de l'alignement du centroïde du faisceau, un seul « steerer » par quadrupôle a été considéré. Tous les quadrupôles en sont équipés et par convention, un « steerer » nommé  $B_Y$  donne un « kick » sur  $X'$ , et un « steerer »  $B_X$  un « kick » sur  $Y'$ . Les valeurs mentionnées lors de la description des différentes étapes correspondent au réglage de l'optique nominale pour des deutons d'émittance initiale  $0.1 \pi$ .mm.mrad norm rms, avec un taux de compensation de charge d'espace dans les lignes de 80%. Il est important de noter que pour des raisons de radioprotection, la phase préliminaire du réglage de cette ligne sera probablement effectuée en utilisant des ions moléculaires  $H_2^+$ .

### → Etape 1

Réglage du premier dipôle (LBE2-D11) à sa valeur nominale (attention à bien sélectionner l'ion d'intérêt), et ajustement du double solénoïde LBE2-Sol11 / LBE2-Sol12 de manière à obtenir un faisceau rond (même taille en X et en Y) de taille aussi proche que possible sur les deux profileurs LBE2-PR11 et LBE2-PR12 situés de part et d'autre du premier dipôle à  $45^\circ$ . Ceci permet de minimiser la taille du faisceau à la traversée du dipôle. Durant ce réglage, la cage de faraday LBE2-CF12 est en place pour optimiser la transmission. Les 2 champs du solénoïde sont réglés à l'identique, sauf si nécessaire. A noter que, dans certains cas, la visualisation du faisceau dans le premier profileur pourra être rendue difficile du fait de la présence d'un halo important de polluants.

[Diagnostic\_0 dans le fichier TRACEWIN]

### → Etape 2

Ajustement des 2 steerers situés derrière le solénoïde (1 horizontal et 1 vertical) afin d'aligner le centroïde du faisceau sur les profileurs LBE2-PR11 et LBE2-PR12.

[Diagnostic\_1 dans le fichier TRACEWIN]

### → Etape 3

Ajustement du triplet (LBE2-Q14, LBE2-Q15 & LBE2-Q16, avec LBE2-Q14 de même gradient que LBE2-Q16) de manière à obtenir des tailles en X et en Y identiques sur les 2 profileurs LBE2-PR12, LBE2-PR13 et LBEC-PR31. On devra partir de valeurs calculées vérifiant l'achromaticité de l'ensemble.

[Diagnostic\_2 dans le fichier TRACEWIN]

### → Etape 4

Réajustement du triplet (LBE2-Q14, LBE2-Q15 & LBE2-Q16, tous indépendants) de manière à obtenir l'achromaticité. Pour vérifier cette propriété, on bougera les champs des 2 dipôles et des 3 quadrupôles de manière identique tout en vérifiant que le centroïde du faisceau n'est pas affecté. On utilisera notamment pour cela le profileur LBEC-PR31.

[Diagnostic\_3 dans le fichier TRACEWIN]

### → Etape 5

Ajustement des steerers  $B_Y$  de LBE2-QP14,  $B_X$  de LBE2-QP15 et  $B_Y$  de LBE2-QP16 afin d'aligner le centroïde du faisceau sur les profileurs LBE2-PR13 et LBE2-PR31.

[Diagnostic\_6 dans le fichier TRACEWIN]

### → Etape 6

Ajustement du quadruplet (LBEC-Q31, LBEC-Q32, LBEC-QP33 & LBEC-Q34, tous indépendants) de manière à obtenir un faisceau rond (même taille en X et en Y) de taille de l'ordre de 4 à 4.5 mm rms sur le profileur LBEC-PR33, avec les mêmes profils sur les profileurs LBEC-PR32 & LBEC-PR34 afin de créer un « waist » au niveau des fentes centrales LBEC-FH33 et LBEC-FV33 du système de définition d'émittance.

[Diagnostic\_14 dans le fichier TRACEWIN]

### → Etape 7

Ajustement des steerers  $B_Y$  de LBEC-Q31,  $B_X$  de LBEC-Q32,  $B_Y$  de LBEC-Q33 et  $B_X$  de LBEC-Q34 afin d'aligner le centroïde du faisceau sur les profileurs LBEC-PR34 et LBEC-PR35. Ici le nombre de steerers est suffisant pour éviter un réglage par itérations successives.

[Diagnostic\_15 dans le fichier TRACEWIN]

### → Etape 8

Ajustement des 6 fentes du système de définition d'émittance, de façon à supprimer le halo présent, ou même à redéfinir l'émittance (ou/et le courant) si nécessaire en coupant le faisceau de façon plus importante. On utilisera les profileurs associés à chaque paire de fentes pour cela (LBEC-PR31, LBEC-PR32, LBEC-PR33) ainsi que le profileur LBEC-PR34. L'ouverture nominale des fentes pour suppression du halo est de l'ordre  $\varnothing$  20 mm dans chaque plan pour les fentes centrales (LBEC-FH33, LBEC-FV33), et de l'ordre de  $\varnothing$  28 mm dans chaque plan pour les fentes périphériques (LBEC-FH32, LBEC-FV32 et LBEC-FH34, LBEC-FV34). L'émittance du faisceau peut être mesurée à l'aide de l'émittance-mètre présent en aval des 6 fentes. Durant tous les réglages précédents, la cage de Faraday LBEC-CF34 est utilisée pour vérifier la transmission, et comme arrêt faisceau.

### → Etape 9

Ajustement des 2 bobines du solénoïde (LBEC-Sol31, LBEC-Sol32) pour optimiser la transmission du RFQ en utilisant le DCCT d'injection. En cas de problème d'injection dans le RFQ, les étapes n°6 à n°8 pourront être reprises de façon légèrement différente avec l'appui de simulations.

Pour une adaptation au RFQ deutons, le faisceau doit avoir une taille d'environ 1.7 mm rms, et une divergence de l'ordre de 25 mrad (cas émittance  $\sim 0.17 \pi$ .mm.mrad norm rms, courant  $\sim 5.5$  mA).

[Diagnostic\_16 dans le fichier TRACEWIN]

## 5.5 Optique pour les deutons (et les protons)

### → Optique nominale deutons (0.1 $\pi$ .mm.mrad norm. rms, 80% compensation de charge d'espace)

L'optique nominale pour les deutons est illustrée sur la Figure 20. Les calculs ont été ici effectués en utilisant des cartes de champ 3D pour tous les éléments magnétiques, hors dipôles.

La transmission totale est de l'ordre de 85%, avec environ 12% du faisceau intercepté en fin de ligne dans le système à 3 fentes (cf. Figure 21). On enregistre environ 3% de pertes dans la ligne ; ces pertes sont essentiellement localisées dans le quadruplet de la ligne LBEC. De plus, les augmentations d'émittance le long de la ligne sont importantes, atteignant plus de 300% avant le découpage du faisceau par le système à 3 fentes. Tout ceci est dû en grande partie à la création d'un fort halo via les forces de charge d'espace. On peut notamment remarquer que le passage dans les solénoïdes provoque une forte augmentation d'émittance. Le nettoyage du halo (système à 3 fentes) permet cependant de retrouver des niveaux d'émittance acceptables (inférieurs à 0.2  $\pi$ .mm.mrad norm. rms).

La transmission du RFQ est supérieure à 99% (cf. Figure 22). Cette valeur peut être améliorée en mieux nettoyant le halo transverse avec le système à 3 fentes, ceci au prix d'une transmission globale dégradée ; dans ce cas, pour

pouvoir fournir les 5 mA nominaux en sortie de LME, le courant de sortie source doit être augmenté jusqu'à 8 ou 9 mA. L'émittance longitudinale créée en sortie de RFQ est de l'ordre de 0.25 à 0.3  $\pi$ .mm.mrad norm rms.

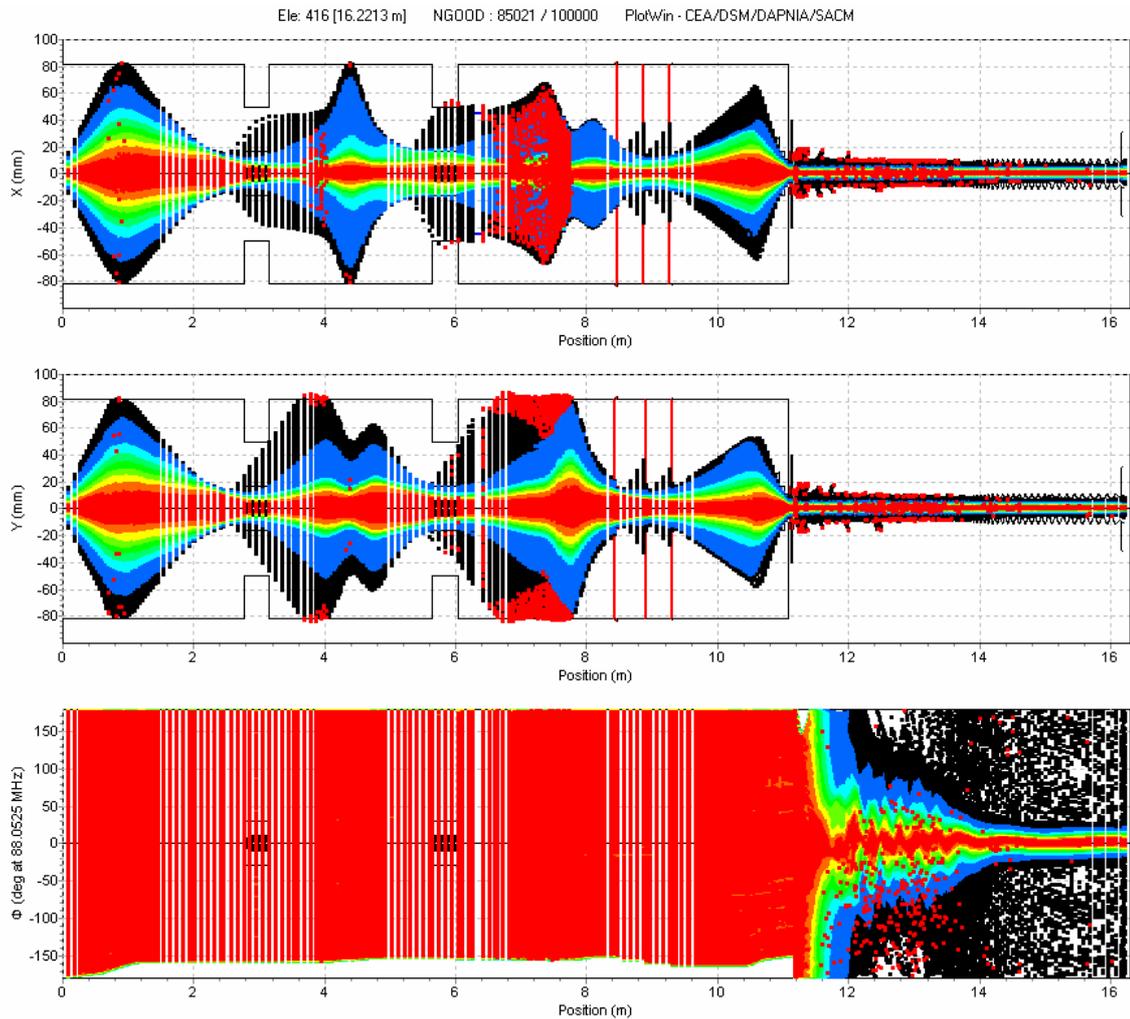


Figure 20 : Optique nominale pour les deutons, 0.1  $\pi$ .mm.mrad norm rms et taux de compensation de 80% ; calcul multi-particulaire avec cartes de champ 3D, représentant le transport de 100 000 particules.

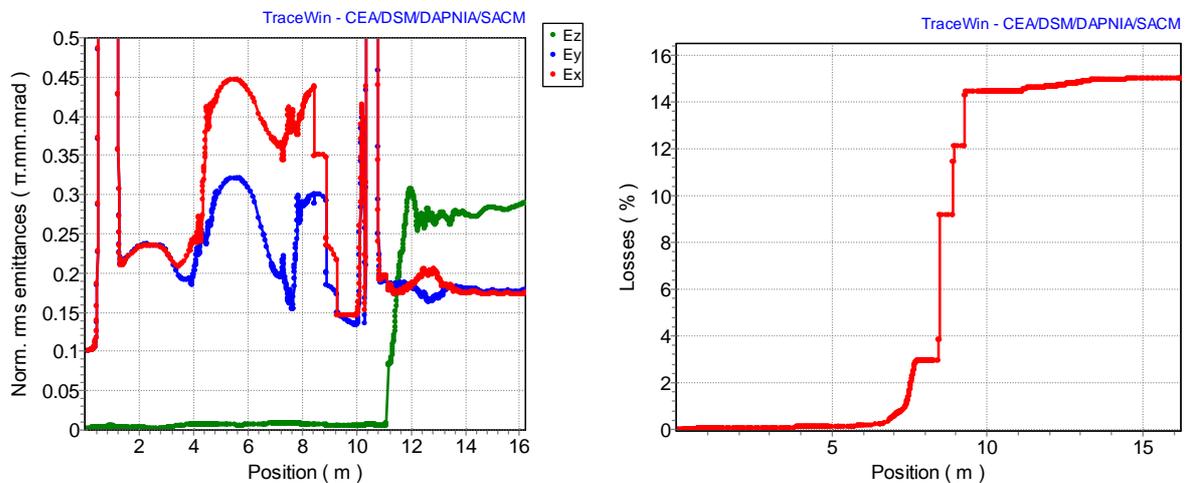


Figure 21 : Optique nominale pour les deutons, 0.1  $\pi$ .mm.mrad norm rms et taux de compensation de 80% ; évolution des émittances norm. rms (gauche) et pertes faisceau le long de la ligne et du RFQ (droite).

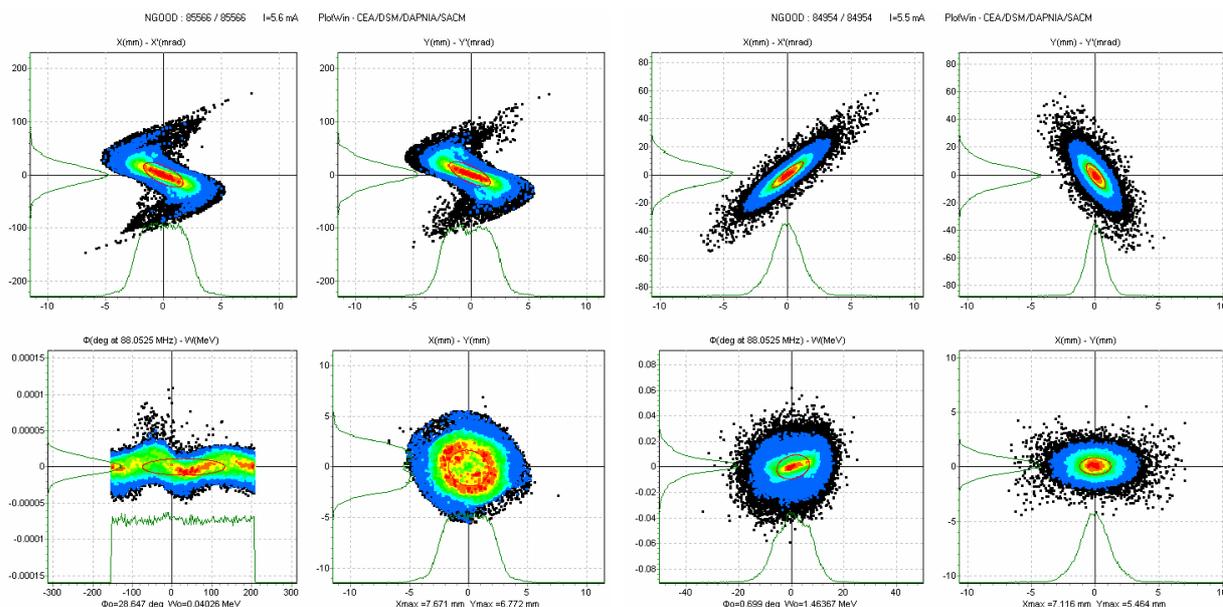


Figure 22: Optique nominale pour les deutons,  $0.1 \pi$ .mm.mrad norm. rms, taux de compensation de 80% ; faisceau à l'entrée (gauche) et à la sortie (droite) du RFQ, côté intérieur des brides de fermeture RFQ. Pour une meilleure représentation, les particules décrochées longitudinalement sont considérées comme perdues dans le RFQ.

### → Tolérance à divers taux de compensation de charge d'espace

Comme déjà indiqué précédemment, un des aspects les plus mal connus dans cette étude concerne la valeur du taux de compensation de charge d'espace dans les lignes. Nous avons donc choisi de considérer, dans le cas des deutons, des taux de compensation pouvant être compris entre 50% et 100% (avec une valeur nominale de 80%). Les procédures de réglages sont strictement identiques, mais les optiques obtenues sont sensiblement différents, comme illustré sur la Figure 23 (optiques obtenues en utilisant des éléments magnétiques de type « créneau »). Il est intéressant de noter que, du fait du fort halo développé, c'est l'optique deutons avec un taux de compensation de 50% qui est le cas dimensionnant en terme de diamètre des tubes faisceau dans les lignes LBE2, mais aussi LBEC (cf. Annexe 3).

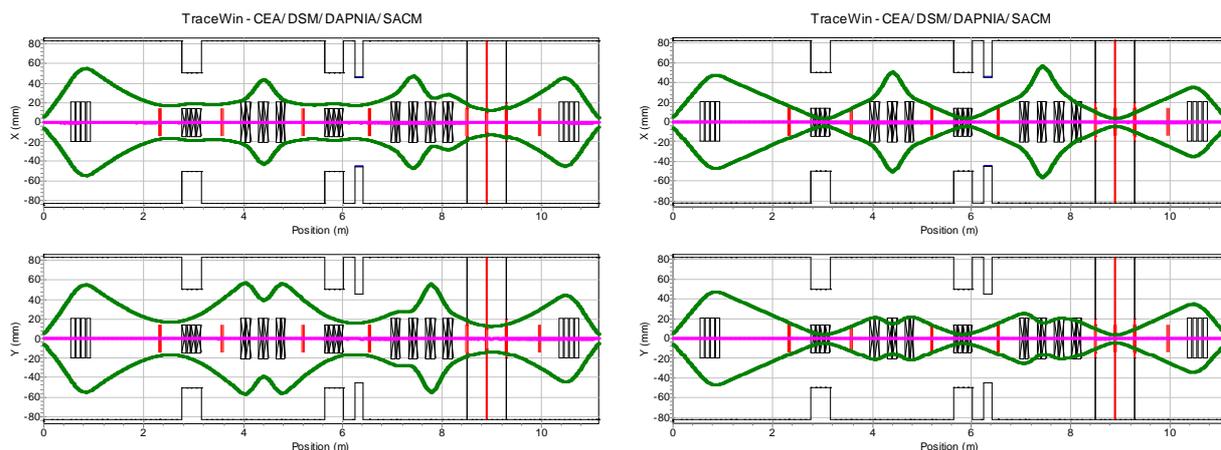


Figure 23 : Optiques pour les deutons,  $0.1 \pi$ .mm.mrad norm. rms, avec des taux de compensation de 50% (gauche) et 100% (droite) (envelopes multi-particulaires données à  $\sqrt{6}$  fois la taille rms, soit environ 95% du faisceau total).

→ *Optique pour les protons*

L'optique pour les protons, calculée en utilisant des cartes de champ 3D pour tous les éléments magnétiques (sauf dipôles), est illustrée sur la Figure 26.

Le halo créé le long de la ligne est ici encore plus important, à compensation de charge d'espace identique, que dans le cas deutons ; les forces de charge d'espace sont en effet 2 fois plus grandes du fait de la faible masse du proton. On observe de ce fait une augmentation d'émission très importante, atteindre 400% en sortie de RFQ malgré le nettoyage du halo par le système à 3 (de l'ordre de  $0.5 \pi \cdot \text{mm} \cdot \text{mrad}$  norm. rms), du fait essentiellement du passage dans le solénoïde d'injection. L'émission longitudinale créée en sortie de RFQ est de l'ordre de  $0.45 \pi \cdot \text{mm} \cdot \text{mrad}$  norm rms (cf. Figure 24).

La transmission de la ligne avec le réglage actuel est de l'ordre de 84%, avec environ 12% du faisceau intercepté en fin de ligne dans le système à 3 fentes, 3% de pertes le long la ligne en amont, et presque 1% de pertes sur la bride d'entrée du RFQ. La transmission du RFQ est à peine supérieure à 98% du fait notamment du fort halo encore présent à l'injection (cf. Figure 25). Comme dans le cas précédent, une parade peut consister à mieux nettoyer le halo au niveau du système à 3 fentes, et cela aux dépens de la transmission globale. Cela impliquerait de produire plus de courant au niveau de la source (de l'ordre de 10 mA) pour conserver les 5 mA en sortie de LME.

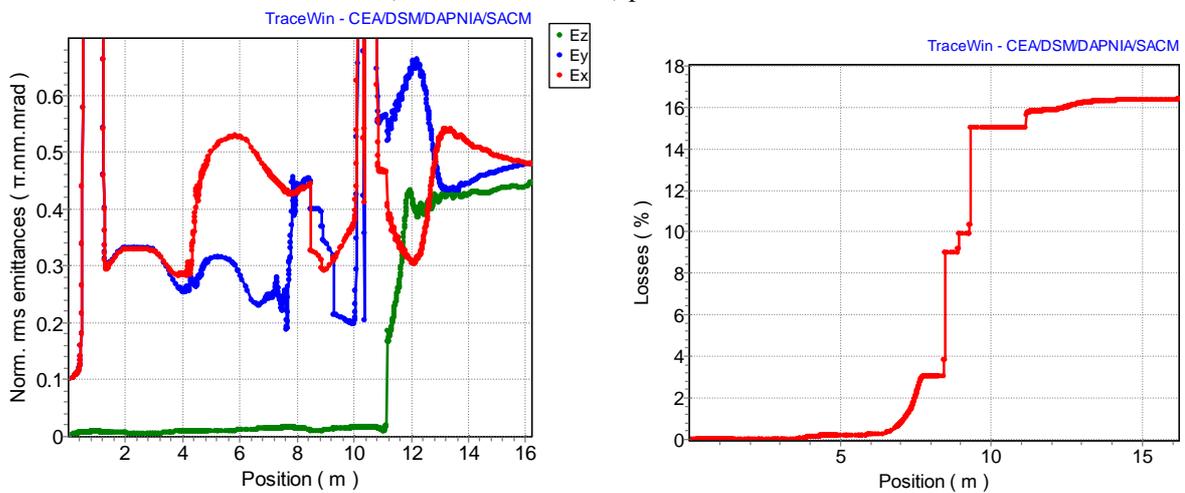


Figure 24 : Optique nominale pour les protons,  $0.1 \pi \cdot \text{mm} \cdot \text{mrad}$  norm. rms et taux de compensation de 80% ; évolution des émissions norm. rms (gauche) et pertes faisceau le long de la ligne et du RFQ (droite).

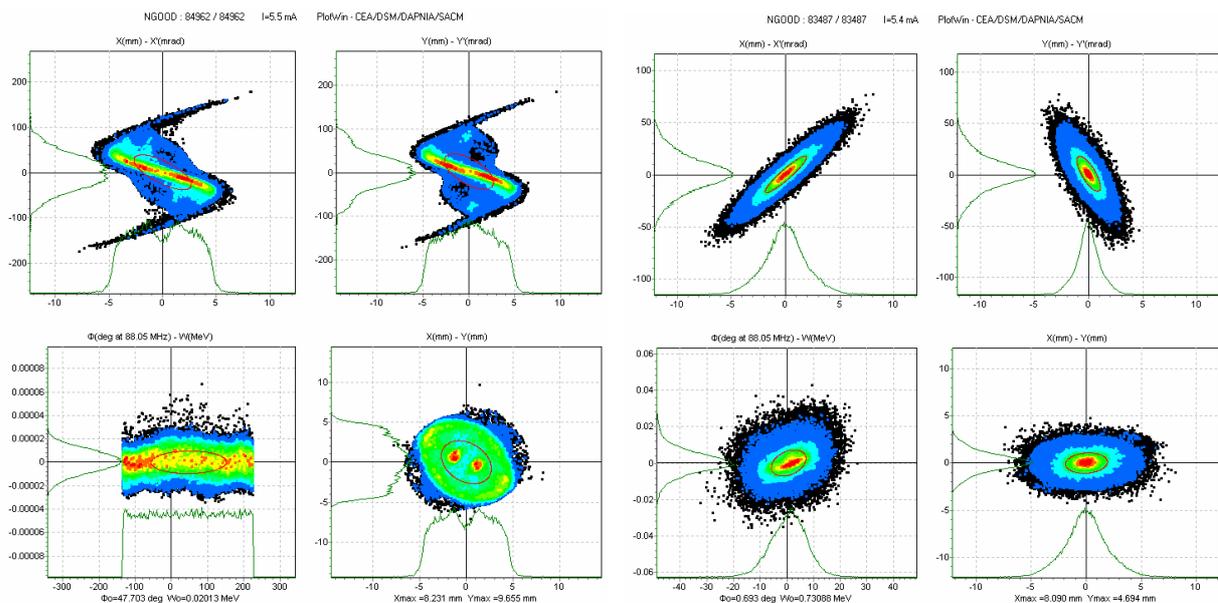


Figure 25 : Optique pour les protons,  $0.1 \pi \cdot \text{mm} \cdot \text{mrad}$  norm. rms et taux de compensation de 80% ; faisceau à l'entrée (gauche) et à la sortie (droite) du RFQ, côté intérieur des brides de fermeture RFQ. Pour une meilleure représentation, les particules décrochées longitudinalement sont considérées comme perdues dans le RFQ.

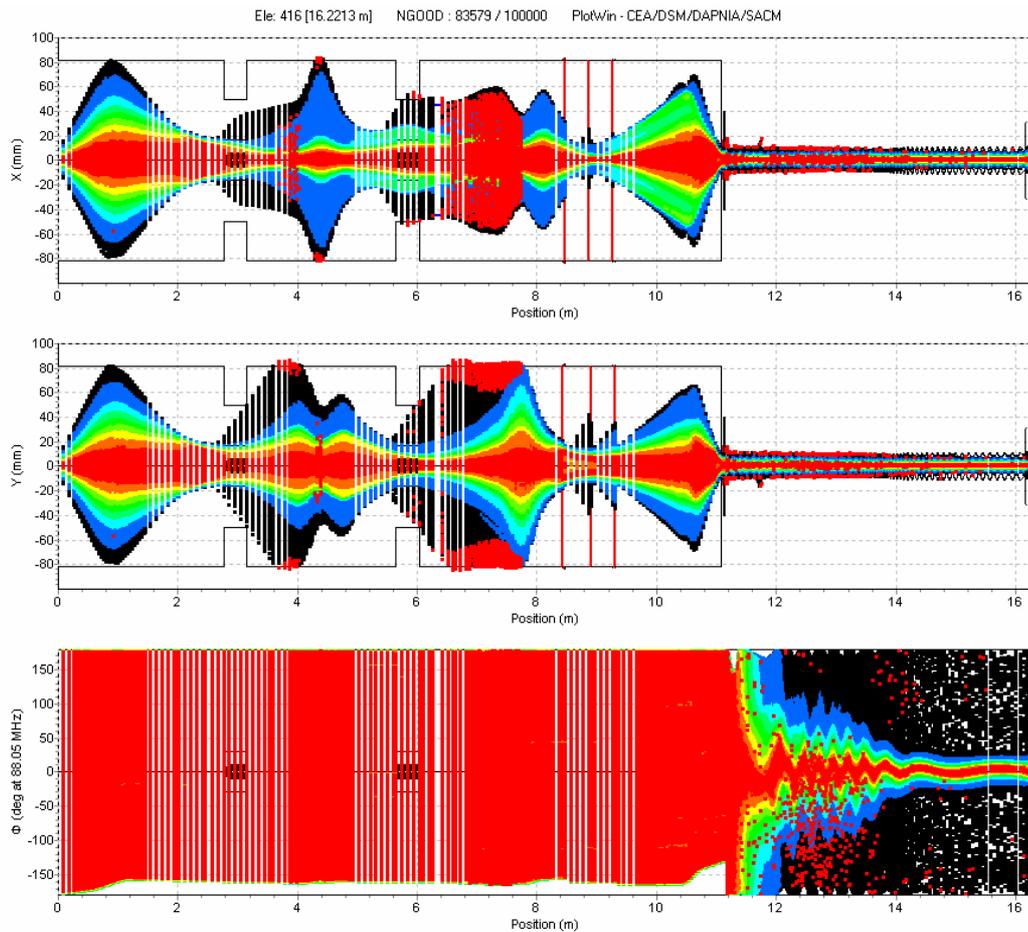


Figure 26 : Optiques pour les protons,  $0.1 \pi$ .mm.mrad norm. rms, avec des taux de compensation de 80% ; calcul multi-particulaire avec cartes de champ 3D, représentant le transport de 100 000 particules.

### → Comportement des polluants

Les études de comportement des polluants [11] montrent que l'on s'attend, pour un faisceau de deutons de 6.5 mA, à des pertes de l'ordre de : moins de 1 W dans le solénoïde de sortie source, 40 W dans l'espace de glissement solénoïde / dipôle, 25 W dans la chambre du dipôle LBE2-D11, et 20 W dans l'espace de glissement dipôle / triplet. Ce fonctionnement n'est cependant pas dimensionnant concernant les puissances perdues à évacuer. Le tableau ci-dessous (Table 3) détaille les pertes attendues pour les autres fonctionnements, dans le cas d'un faisceau continu : deutons faible courant, protons et  $H_2^+$  6.5 mA.

Table 3 : Localisation des pertes des polluants dans la ligne LBE2 pour différents fonctionnements.

Type de fonctionnement	Polluants principaux (courant approximatif)	Pertes estimées le long du début de la ligne LBE2 (W)				
		piquage + solénoïde	tube	dipôle	tube	triplet
Deutons 6.5mA	$D_2^+$ 1mA ions (A=14 à 20) 1+, 1mA	1	40	25	20	0
Deutons 0.1mA	$^{14}N^+$ 5mA	2	150	70	15	0
Protons 6.5mA	$H_2^+$ 1.5mA ions (A=14 à 20) 1+, 1.5mA	2	30	30	15	0
$H_2^+$ 6.5mA	protons 33mA ions (A=14 à 20) 1+, 7mA	3	750	650	400	0

Dans le cas où l'on désire pouvoir effectuer un réglage en  $H_2^+$  en faisceau continu, il apparaît que c'est ce type de fonctionnement qui est nettement dimensionnant, avec des puissances à évacuer dans tous les éléments de la ligne (hors solénoïde) approchant le kW. Si de telles puissances sont rédhibitoires, il faudra se contenter d'effectuer ces réglages  $H_2^+$  en mode pulsé, avec le cycle utile de 5% créé par la source. Dans un tel cas, d'après le tableau précédent, et en considérant les pertes maximales envisageables lors des phases de réglage en  $H_2^+$  (50 mA total avec un cycle utile de 5%), les spécifications sur les puissances à évacuer deviennent plus raisonnables : 100 W dans le solénoïde, 150 W le long du tube à vide reliant le solénoïde au dipôle, 100 W sur la chambre du dipôle, et 100 W le long du tube en aval du dipôle. La Figure 27 illustre, pour information, le comportement des principaux polluants (protons,  $D_2^+$ ,  $^{14}N^+$ ) présents dans le cas d'une optique réglée pour les ions  $q/A = 1/2$  (deutons ou  $H_2^+$ ).

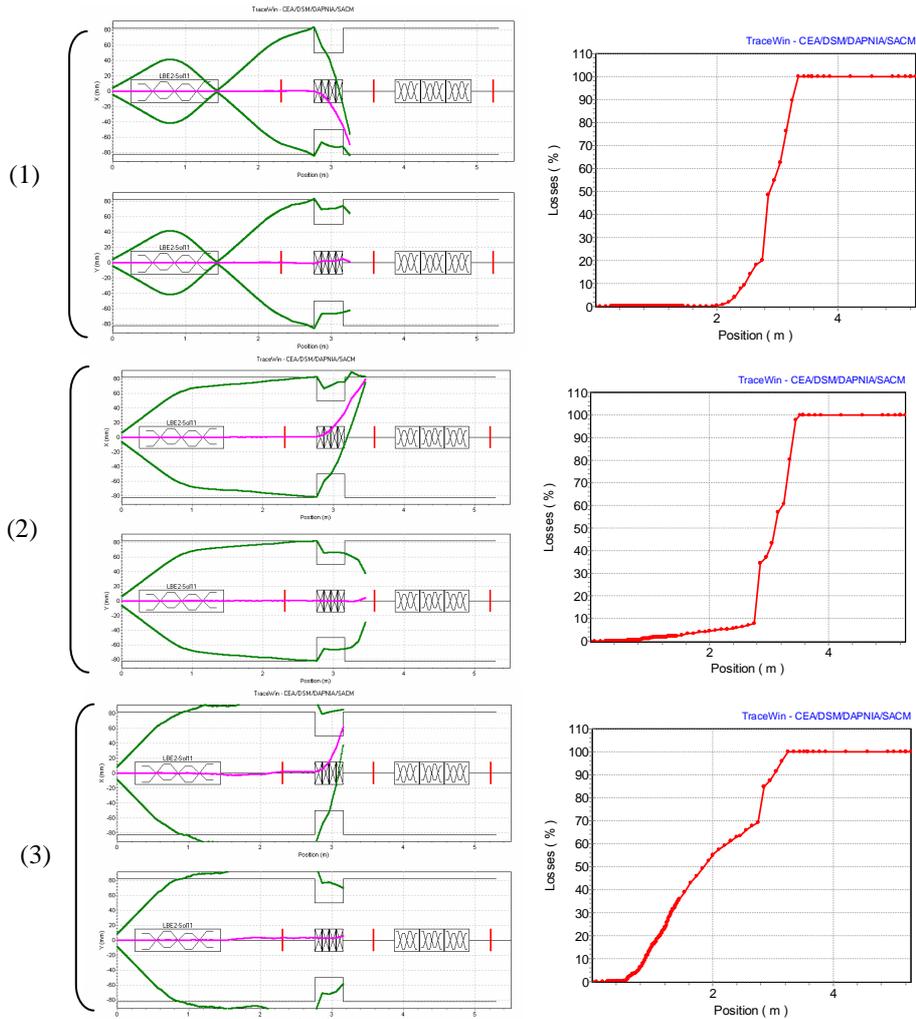


Figure 27 : Comportement des protons (1),  $D_2^+$  (2), et des ions  $^{14}N^+$  (3) pour un réglage  $q/A=1/2$  (deutons), et localisation des pertes associées (calculs multi-particules, enveloppes données à  $\sqrt{6}$  fois la taille rms)

## 5.6 Tolérances sur les erreurs d'alignement et de champ

### → Principe d'une étude d'erreurs

La définition des tolérances sur l'alignement et l'amplitude des champs des éléments magnétiques de la ligne est basée sur une étude d'erreurs, réalisée avec TRACEWIN / PARTRAN, dont les principaux paramètres sont les suivants :

- 1000 simulations avec 10.000 macro-particules (étude des centroïdes) ;
- 341 simulations avec 1000.000 macro-particules (étude des pertes) ;
- schéma de corrections transverses (centroïde et « matching ») ;
- simulation « end-to-end » de la source à la fin de l'accélérateur ;
- utilisation de cartes 3D pour les éléments les plus critiques ;
- prise en compte des erreurs statiques et dynamiques des éléments ;
- prise en compte de l'imprécision des diagnostics.

Deux types d'erreurs ont donc été considérés :

- les erreurs statiques : les effets de ces erreurs sont détectables et donc corrigibles ; par exemple, la mesure de la position du faisceau couplée avec des « steerers » peut compenser les désalignements du faisceau induit par les quadrupoles ; la stratégie du schéma de correction est établie afin de corriger ce type d'erreur ;
- les erreurs dynamiques : ces erreurs ne sont pas corrigées ; elles sont dues aux bruits des alimentations ou aux vibrations issues de l'environnement ; heureusement, ces erreurs sont habituellement de très faible amplitude.

### → Résultats issus de l'APD en termes de tolérances

Cette étude a été menée durant l'APD [3], et a montré que les pertes dans les différents éléments de la ligne basse-énergie ainsi que dans le « scrapper » n'augmentaient pas de manière significative avec les amplitudes des différentes erreurs. Avec un niveau de perte moyen par élément autour de 0.02 W, on se situait largement en dessous des limites fixées. Il faut noter que cette étude ne concernait que la ligne deutons supposée être la plus critique.

Cette étude a permis de fixer des tolérances concernant les éléments magnétiques ainsi que des précisions demandées aux différents diagnostics. Ces tolérances sont reportées dans les Tables 4 et 5 ci-dessous. Pour une erreur d'amplitude  $A$ , la valeur a une probabilité uniforme d'être entre  $-A$  et  $+A$ . La valeur rms est donc de  $A/\sqrt{3}$ . Si la distribution des erreurs n'est pas uniforme, l'ingénieur mécanique devra appliquer le principe d'équivalence rms. Les rotations autour des axes (OX, OY, OZ) sont calculées avec les formules ci-dessous :

$$\theta_{x,y} = \frac{2d}{L} \text{ et } \theta_z = \frac{R}{L}, \text{ avec } d \text{ le déplacement, } L \text{ la longueur de l'élément et } R \text{ le rayon d'ouverture de l'élément.}$$

Table 4 : Tolérances sur les amplitudes des erreurs pour les éléments magnétiques.

Type d'erreur	Statique	Dynamique
Gradient (%)	± 1	± 0.1
Déplacement (mm)	± 0.1	± 0.01
Rotation (OX, OY) (deg.)	± $\theta_{x,y}$	± 0.1 × $\theta_{x,y}$
Rotation (OZ) (deg.)	± $\theta_z$	± 0.1 × $\theta_z$

Table 5 : Tolérances sur les amplitudes des erreurs pour les diagnostics.

Élément	Erreur	Valeur
BPM	Précision de la position (mm)	± 0.1
Profilleur	Précision de la taille (mm)	± 0.1
Mesure d'émittance	Précision de la taille (%)	± 10
	Précision de la divergence (%)	± 10

→ *Conséquences de la réactualisation des lignes*

Les modifications apportées dans les lignes basse-énergie ne sont pas de nature à remettre en cause les tolérances obtenues lors de l'étude APD. Bien que les ouvertures aient été revues à la baisse le nouveau schéma de correction mis en place a permis de réduire significativement l'amplitude des excursions du centre de gravité du faisceau. Quoiqu'il en soit, les pertes ne sont pas le paramètre relevant pour la ligne basse énergie, mais plutôt les grossissements d'émittance pouvant provoquer des pertes supplémentaire à plus haute énergie dans le RFQ par exemple. Concernant cet aspect, les modifications effectuées sur les lignes n'ont pas de conséquences significatives sur les émittances des faisceaux ; le design actuel a même été enrichi d'un dispositif à 3 fentes permettant de contrôler efficacement l'émittance d'entrée du RFQ en cas d'augmentation inattendue.

→ « *Steerers* »

L'étude d'erreur menée durant l'APD montrait que la valeur rms de la position du faisceau le long de la ligne basse énergie présentait des amplitudes élevées (jusqu'à 1.5 mm) comparées au reste du linac. Cette forte excursion s'expliquant par le choix de ne pas considérer, dans nos études, de corrections sur les erreurs de champ des dipôles de la ligne. L'amplitude des steerers nécessaire à la correction en position du faisceau dans le pire des cas étudié était de  $3.5 \cdot 10^{-4}$  T.m ou 17.5 mrad (cas des protons).

Une nouvelle étude basé sur les designs réactualisés des lignes  $q/A=1/3$  et deutons a été menée afin de redéfinir la force des steerers nécessaires au contrôle du centroïde du faisceau. Un certain nombre de modifications ont été prise en compte :

- réduction du nombre de steerers par quadrupôle de 2 à 1 ;
- nouveau schéma de correction ;
- allongement significatif de la ligne  $q/A=1/3$  ;
- utilisation de protons dans la ligne de deutons ;
- correction supposée des erreurs de champ dans les dipôles ;
- diminution de la précision de la mesure de position des BPM de 0.1 mm à 0.25 mm.

Cette étude basée sur 1000 simulations d'enveloppes à permis de vérifier que le schéma de correction actuel permettait un contrôle du centre de gravité du faisceau mieux maîtrisé (cf. Figure 28). De plus les déviations demandées aux steerers restent inférieures dans tout les cas à 5.1 mrad, soit largement inférieures au 17 mrad précédent, comme illustré dans la Table 6.

Table 6 : Bilan des champs requis pour les « steerers » (1000 simulations)

Champ des steerers	Proton/deuton	1/3
rms	$1.6 \cdot 10^{-5}$ T.m (0.8 mrad)	$1.0 \cdot 10^{-4}$ T.m (1.7 mrad)
3 rms	$4.8 \cdot 10^{-5}$ T.m (2.4 mrad)	$3.0 \cdot 10^{-4}$ T.m (5.1 mrad)
Amplitude max.	$5.3 \cdot 10^{-5}$ T.m (2.6 mrad)	$2.6 \cdot 10^{-4}$ T.m (4.3 mrad)

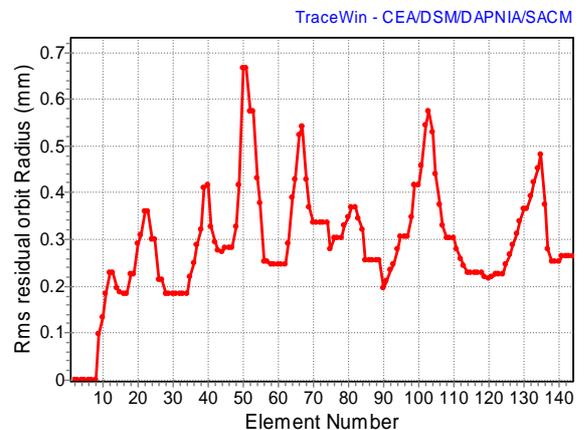
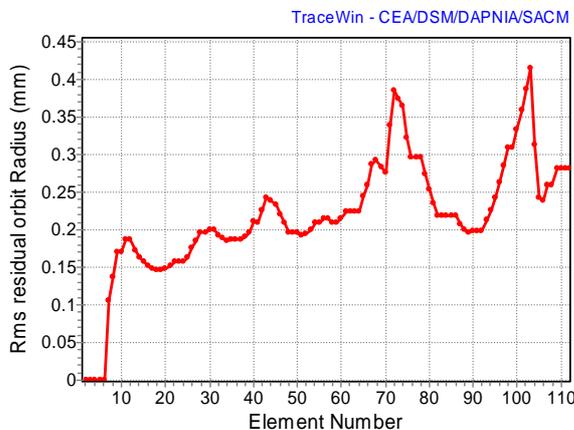


Figure 28 : Position rms du centroïde pour les protons (gauche) et les ions  $q/A = 1/3$  (droite).



## 6 CONCLUSION

Le présent document regroupe et synthétise l'ensemble des travaux effectués sur les lignes basse énergie de SPIRAL-2, en conciliant les exigences suivantes :

- tenir compte des nouvelles demandes de la physique ;
- minimiser le risque de ne pas obtenir les faisceaux désirés ;
- minimiser les temps de réglage faisceau ;
- respecter au mieux le budget alloué ;
- respecter le planning de réalisation tel qu'il est défini actuellement.

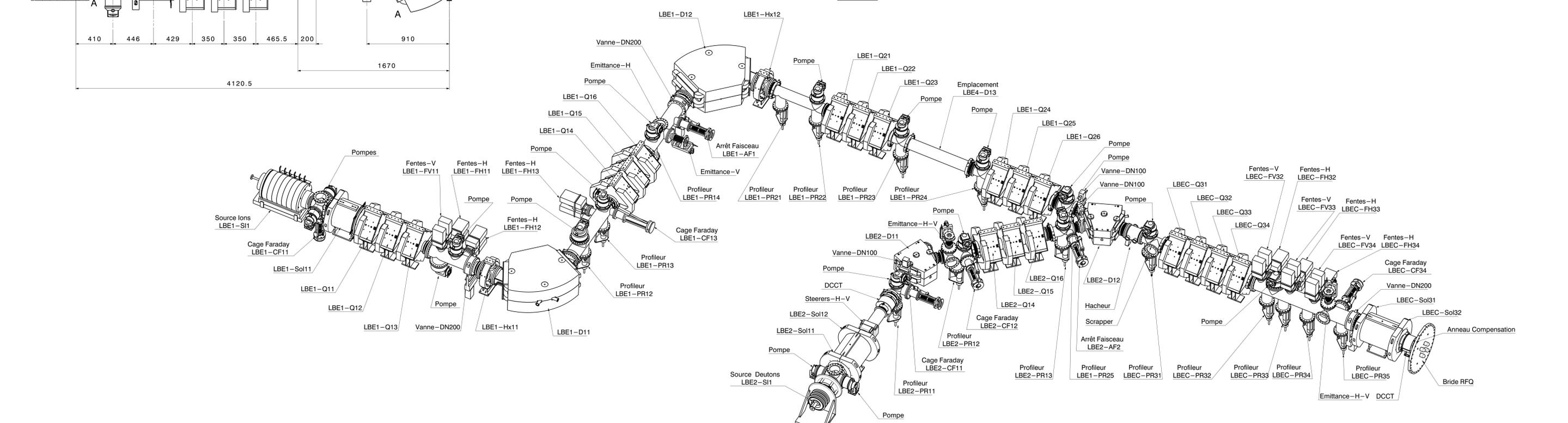
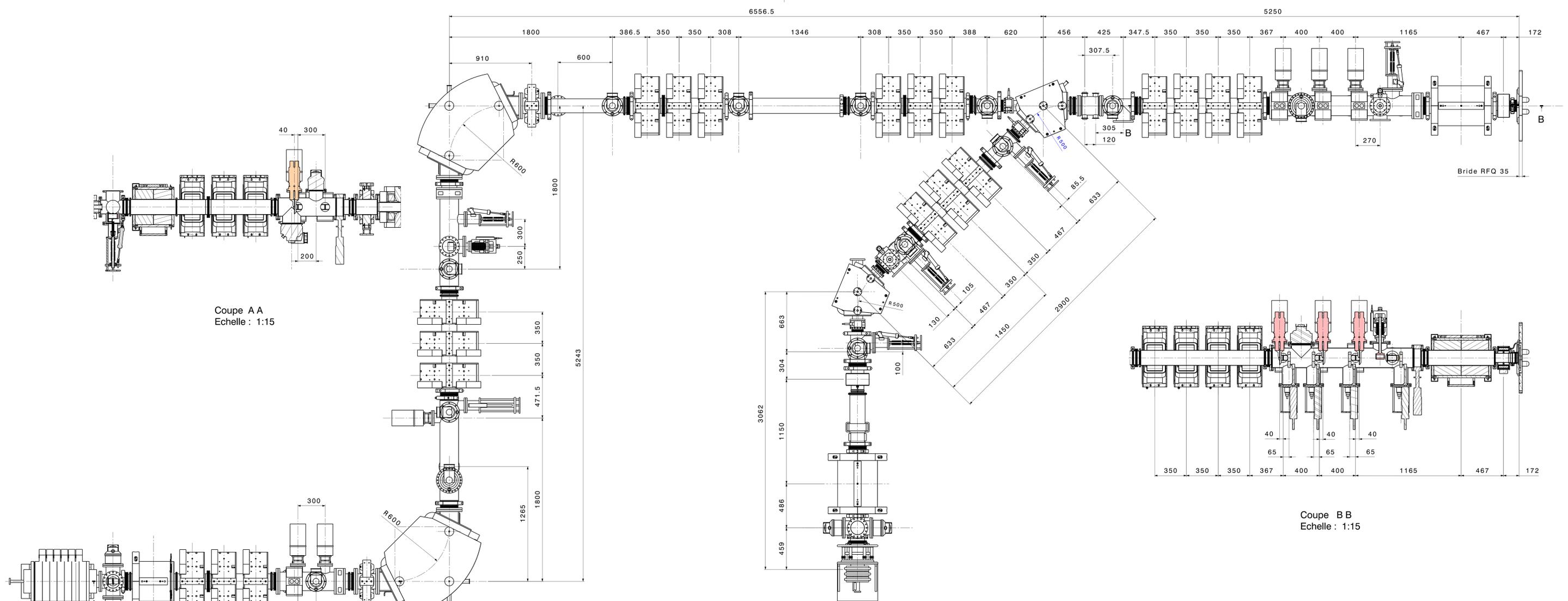
Certains aspects méritent cependant approfondissement, études complémentaires ou prises de décision :

- l'indisponibilité en ressource humaine côté « vide » n'a pas permis de valider définitivement le nombre et la disposition des pompes le long des lignes basse-énergie ;
- le fonctionnement en  $H_2^+$  à pleine intensité (au moins 5 mA) induirait des pertes faisceau importantes pour la ligne LBE2 : il faut décider rapidement si ce mode de réglage est indispensable ;
- il faut décider si la source  $q/A = 1/3$  doit aussi pouvoir produire des deutons et des protons.



## **ANNEXE 1 – PLAN GENERAL DES LIGNES BASSE-ENERGIE**

L'Annexe 1 contient le plan des lignes basse-énergie SPIRAL-2, mis à jour au 17 Janvier 2007.



Métalle: --	Traitement: --	Nettoyage: --	Masses: --	Date: 26-04-2006
Indice Puget: Ra	Tol. Gm: L ± 0,	α ± 0,		Dessiné: F Daudin
SPIRAL 2 : Accélérateur				Echelle: --
<b>Ligne LBE Ions - deutons</b>				version V2.0
B.P. 55027 14076 CAEN Cedex 5 Tel. 02.31.45.46.47 Fax. 02.31.45.49.68				
PROJET COMMUN CEA / IN2P3      LABORATOIRE COMMUN DESCEA - IN2P3/CNRS				
ORIGINE LABO	SECTEUR	AFFAIRE	COMPOSANT	ACTIVITE
GANIL	SST	000	000	00
PL	P	8383.12.04	00	1/1
Date: 10-05-06				Visé:

## **ANNEXE 2 – MATRICES DE CONFORMITE DES LIGNES BASSE-ENERGIE**

L'Annexe 2 est la « Matrice de conformité » du linac SPIRAL-2, section « Injecteur », en date du 31 Janvier 2007. Cette version décrit les spécifications et paramètres des éléments de l'injecteur (codes « 1 X ») hors RFQ et LME. La version la plus récente de la matrice de conformité peut être trouvée dans sa totalité sur EDMS [34]

**MATRICES A VERIFIER**

## LINAC SPIRAL-2 / MATRICES DE CONFORMITE INJECTEUR (n°1.X)

C : conforme

CàV : conformité à vérifier

TBC : to be confirmed

TBD : to be defined

### 1.0 Injecteur / Paramètres généraux

Paramètre	Spécification demandée	Performance mesurée	Conformité actuelle	Justification de cette conformité	Référence de la justification	Commentaire
Type de particules	ions q/A >=1/3, D+, p	ions q/A >=1/3, D+, p	C	mesure proto sources		et H2+ (+ions q/A>=1/6 si extension future)
Longueur totale ions	TBD		CàV			extraction source ions -> bride cryo 1
Longueur totale deutons	TBD		CàV			extraction source deutons -> bride cryo 1
Energie sortie protons	0.752 MeV		CàV			toutes particules sortent à beta = 0.04
Energie sortie deutons	1.502 MeV		CàV			
Energie sortie ions	0.746 A.MeV		CàV			pour tous ions q/A>=1/3
Courant crête sortie max protons	5 mA		CàV			(on considère une transmission injecteur de 77%)
Courant crête sortie max deutons	5 mA		CàV			(on considère une transmission injecteur de 77%)
Courant crête sortie max ions	1 mA		CàV			(on considère une transmission injecteur de 77%)
Emittance sortie protons	TBD		CàV			à établir après consolidation LME
Emittance sortie deutons	TBD		CàV			à établir après consolidation LME
Emittance sortie ions	TBD		CàV			à établir après consolidation LME

### 1.1 Injecteur / Source ions

Paramètre	Spécification demandée	Performance mesurée	Conformité actuelle	Justification de cette conformité	Référence de la justification	Commentaire
Type de particules	ions q/A >= 1/3	ions q/A >= 1/3	C	mesures proto source		
Type de source	ECR	ECR	C	par conception		à 18 GHz (Phoenix V2) ou 28 GHz (A-Phoenix)
Tension source max	60.00 kV	60.00 kV	C	mesures proto source		pour q/A=1/3 (on veut tjrs beta=6.553E-3)
Tension source min	20.15 kV	20.15 kV	C	mesures proto source		pour protons
Stabilité tension	<= 1E-4		CàV			pour optimiser la stabilité du courant en entrée RFQ
Courant crête source max	1.3 mA		CàV			courant de l'ion d'intérêt (jusqu'à A=40 Ar)
Courant crête source min	1 uA		CàV			
Stabilité courant crête	<= +/- 2%		CàV			
Emittance sortie H & V	<= 0.4 pi.mm.mrad norm rms	0.2 pi.mm.mrad norm rms	CàV			ion-dépendant, mesures LPSC=0.2pi pour Oxygène uniquement
Temps de montée	< 1 ms		CàV			
Cycle utile pulsation	1% à 100% (TBC)		CàV			pulses >=2ms
Fréquence pulsation	5 Hz (TBD)		CàV			à valider
Pression source	1E-6 mbar		CàV			
Durée de vie source	TBD		CàV			à définir

### 1.2 Injecteur / Source deutons

Paramètre	Spécification demandée	Performance mesurée	Conformité actuelle	Justification de cette conformité	Référence de la justification	Commentaire
Type de particules	D+, p	D+, p	C	mesures proto source		et H2+
Type de source	ECR	ECR	C	par conception		à 2.45 GHz
Tension source max	40.27 kV	40.27 kV	C	mesures proto source		pour deutons (on veut tjrs beta=6.553E-3)
Tension source min	20.15 kV	20.15 kV	C	mesures proto source		pour protons
Stabilité tension	<= 1E-4		CàV			pour optimiser la stabilité du courant en entrée RFQ
Courant crête source max	6.5 mA	6.5 mA atteints	C	mesures proto source		courant de D+ ou p
Courant crête source min	0.1 mA		CàV			
Stabilité courant crête	<= +/- 2%		CàV			
Emittance sortie H & V	<= 0.1 pi.mm.mrad norm rms	0.08 pi.mm.mrad norm rms	CàV			d'après mesures Saclay en deutons (manque mesures p)
Temps de montée	< 1 ms		CàV			
Cycle utile pulsation	1% à 100% (TBC)		CàV			pulses >=2ms
Fréquence pulsation	5 Hz (TBD)		CàV			à valider
Pression source	1E-3 mbar		CàV			
Durée de vie source	>= 3 mois		CàV			

### 1.3 Injecteur / LBE ions 1/3

Paramètre	Spécification demandée	Performance mesurée	Conformité actuelle	Justification de cette conformité	Référence de la justification	Commentaire
Type de particules	ions q/A >=1/3	ions q/A >=1/3	C	mesures proto source		
Longueur de la ligne	15 900 mm		CàV			électrode d'extraction -> LBE2.D12 (=4120.5+5243+6536.5)
Energie sortie ions	20 A.keV	20 A.keV	C	mesures proto source		(on veut tjrs beta=6.553E-3)
Courant crête sortie max	1.25 mA		CàV			pour optiques nominales
Emittance sortie ions	<= 0.45 pi.mm.mrad norm rms		CàV			pour optiques nominales
Résolution en q/A	>=100		CàV			pour séparation de 2 especes à rac(6) sigma (~95%) - cas 0.2pi
Nb de solénoïdes type Sol-A	1	1	C	par conception		LBE1.Sol11
Nb de quadrupoles type QP-A	12	12	C	par conception		LBE1.Q11 à Q16 et LBE1.Q21 à Q26
Nb d'hexapoles type Hex-A	2	2	C	par conception		LBE1.Hx11 et Hx12
Nb de dipôles types DIP-A	2	2	C	par conception		LBE1.D11 (gauche) et D12 (droite)
Nb de profileurs type A	8	8	C	par conception		
Nb d'émission-mètres type A	1	1	C	par conception		EM double (H-V)
Nb de cages de Faraday type A	2	2	C	par conception		
Nb d'arrêts faisceau type A	1	1	C	par conception		
Nb de fentes de type A	3 (TBC)		CàV			fentes de nettoyage LBE1.FH11, FV11 et FH12
Nb de fentes de type B	1	1	C	par conception		fente de tri LBE1.FH13
Nb de groupes de pompage	11 (TBD)		CàV			à valider
Vide ligne	1.0E-8 mbar		CàV			

#### 1.4 Injecteur / LBE deutons

Paramètre	Spécification demandée	Performance mesurée	Conformité actuelle	Justification de cette conformité	Référence de la justification	Commentaire
Type de particules	D+, p	D+, p	C	mesures proto source		et H2 +
Longueur de la ligne	5 962 mm		CàV			électrode d'extraction -> LBE2.D12 (=3062+2900 )
Energie sortie deutons	40.27 keV	40.27 keV	C	mesures proto source		(on veut tjrs beta=6.553E-3)
Energie sortie protons	20.15 keV	20.15 keV	C	mesures proto source		
Courant crête sortie max d & p	6.5 mA		CàV			pour optiques nominales
Emittance sortie deutons	<= 0.3 pi.mm.mrad norm rms		CàV			pour optiques nominales
Emittance sortie protons	<= 0.3 pi.mm.mrad norm rms		CàV			pour optiques nominales
Nb de solénoïdes type Sol-B	1	1	C	par conception		LBE2.Sol11/12
Nb de quadrupoles type QP-A	3	3	C	par conception		LBE2.Q14 à Q16
Nb de dipôles types DIP-B	2	2	C	par conception		LBE2.D11 (droite) et D12 (droite)
Nb de steerers type A	2	2	C	par conception		1H, 1V
Nb de profileurs type A	3	3	C	par conception		
Nb d'émittance-mètres type A	1	1	C	par conception		EM double (H-V)
Nb de cages de Faraday type A	2	2	C	par conception		
Nb de DCCT type A	1	1	C	par conception		
Nb d'arrêts faisceau type A	1	1	C	par conception		
Nb de groupes de pompage	5 (TBD)		CàV			à valider
Vide ligne	1.0E-6 mbar		CàV			

### 1.5 Injecteur / LBE commune

Paramètre	Spécification demandée	Performance mesurée	Conformité actuelle	Justification de cette conformité	Référence de la justification	Commentaire
Type de particules	ions q/A >= 1/3, D+, p	ions q/A >= 1/3, D+, p	C	mesures proto source		et H2 +
Longueur de la ligne	5307 mm		CàV			LBE2.D12 -> entrée RFQ
Energie sortie ions	20 A.keV	20 A.keV	C	mesures proto source		(on veut tjrs beta=6.553E-3)
Energie sortie deutons	40.27 keV	40.27 keV	C	mesures proto source		
Energie sortie protons	20.15 keV	20.15 keV	C	mesures proto source		
Courant crête sortie max ions	1.2 mA		CàV			pour optiques nominales
Courant crête sortie max d & p	6.5 mA		CàV			pour optiques nominales
Emittance sortie ions	<= 0.4 pi.mm.mrad norm rms		CàV			pour optiques nominales
Emittance sortie deutons	<= 0.2 pi.mm.mrad norm rms		CàV			pour optiques nominales
Emittance sortie protons	<= 0.2 pi.mm.mrad norm rms		CàV			pour optiques nominales
Nb de solénoïdes type Sol-B	1	1	C	par conception		LBE.Sol31/32, si possible sur roulettes ds l'encombrement dispo
Nb de quadrupoles type QP-A	4	4	C	par conception		LBE.Q31 à Q34
Nb de hacheurs type Hach-A	1	1	C	par conception		dévie dans le plan horizontal
Nb de profileurs type A	5	5	C	par conception		
Nb d'émission-mètres type A	1	1	C	par conception		EM double (H-V)
Nb de cages de Faraday type A	1	1	C	par conception		
Nb de DCCT type A	1	1	C	par conception		
Nb de scrappers type A	1	1	C	par conception		associé au hacheur
Nb de fentes type A	6	1	C	par conception		3 H & 3V = syst.déf. émittance avec $f_i(ext)=rac(2)*f_i(centre)$
Nb de groupes de pompage	2 (TBD)		CàV			à valider
Vide ligne	1 E-8 mbar		CàV			(ions lourds dimensionnant)

## 1.6 Injecteur / Eléments électro-magnétiques des lignes basse-énergie

Paramètre	Spécification demandée	Performance mesurée	Conformité actuelle	Justification de cette conformité	Référence de la justification	Commentaire
<b>Sol-A</b>						
Nb de solénoïdes type Sol-A	1	1	C	par conception		solénoïde à simple enroulement
Longueur magnétique solénoïde	410 mm		CàV			
Champ max solénoïde	0.70 T (TBC)		CàV			attention, il s'agit du champ max en modèle "hard edge"
Diamètre utile solénoïde	>= 168 mm		CàV			il s'agit du diamètre interne chambre à vide; 164.3 sera suffisant
<b>Sol-B</b>						
Nb de solénoïdes type Sol-B	2	2	C	par conception		solénoïdes à double enroulement
Longueur magnétique solénoïde	600 mm (TBC)		CàV			2*300mm
Champ max solénoïde	0.34 T (TBC)		CàV			attention, il s'agit du champ max en modèle "hard edge"
Diamètre utile solénoïde	>= 155 mm		CàV			il s'agit du diamètre interne chambre à vide
<b>QP-A</b>						
Nb de quadropoles type QP-A	19	19	C	par conception		valable pour steerers associés
Longueur magnétique quadropole	200 mm		CàV			attention, il s'agit du champ max en modèle "hard edge"
Gradient max quadropole	2.6 T/m (TBC)		CàV			il s'agit du diamètre interne chambre à vide
Diamètre utile quadropole	>= 163 mm		CàV			d'après nouvelle étude d'erreurs
Force max steerers associés	4 E-4 T.m		CàV			
<b>Hex-A</b>						
Nb d'hexapoles type Hex-A	2	2	C	par conception		anciennement 100 mm
Longueur magnétique hexapoles	150 mm		CàV			anciennement 10 T/m <sup>2</sup>
Force max hexapoles	6.5 T/m <sup>2</sup>		CàV			il s'agit du diamètre interne chambre à vide
Diamètre utile hexapoles	>= 128 mm		CàV			
<b>DIP-A</b>						
Nb de dipôles type DIP-A	2	2	C	par conception		indice n=0
Angle déviation dipole	90°		CàV			gauche puis droite
Faces tournées dipole	26.565°		CàV			entrée et sortie
Rayon de courbure dipole	600 mm		CàV			
Champ max dipole	0.27 T		CàV			
Homogénéité champ dipole	<= 5 E-4		CàV			
Hauteur utile V	>= 90 mm		CàV			hauteur interne de la chambre à vide
Largeur utile H	>= 220 mm		CàV			zone d'homogénéité (la largeur de la chambre est bcp + grande)
<b>DIP-B</b>						
Nb de dipôles type DIP-B	2	2	C	par conception		indice n=0
Angle déviation dipole	45°		CàV			droite puis droite
Faces tournées dipole	0°		CàV			dipôles secteurs
Rayon de courbure dipole	500 mm		CàV			
Champ max dipole	0.15 T		CàV			
Homogénéité champ dipole	<= 5 E-4		CàV			
Hauteur utile V	>= 73 mm		CàV			hauteur interne de la chambre (!! max pour faisceau ions !!)
Largeur utile H	>= 60 mm		CàV			zone d'homogénéité (la largeur de la chambre est bcp + grande)

<b>Steerers de type A</b>						
Nb de steerers type A	2	2	C	par conception		
Force max steerers type A	4 E-4 T.m		CàV			
Diamètre tube à vide	>=150 mm		CàV			<i>a priori sur tube standard fi 164.3</i>
<b>Hach-A</b>						
Nb de hacheurs type Hach-A	1	1	C	par conception		
Longueur utile électrodes	160 mm		CàV			
Distance inter-plaques h	>= 88 mm		CàV			<i>la tension est donnée pour h=90mm</i>
Largeur plaques	>= 78 mm		CàV			<i>largeur d'homogénéité de la tension</i>
Tension max	10 kV		CàV			<i>tension inter-plaques (+/-5 kV par rapport au centroïde du faisceau)</i>
Temps de montée tension	< 1 us		CàV			<i>doit être très inférieur au temps d'établissement de la SCC</i>
<b>Tolérances</b>						
Précision des champs	<= 1%		CàV			
Stabilité dynamique des champs	<= 0.1%		CàV			
Précision d'alignement	<= 0.1 mm		CàV			<i>sur les 3 axes</i>
Stabilité dynamique de position	<= 0.01 mm		CàV			<i>sur les 3 axes</i>

### 1.7 Injecteur / Diagnostics, arrêts faisceau et fentes des lignes basse-énergie

Paramètre	Spécification demandée	Performance mesurée	Conformité actuelle	Justification de cette conformité	Référence de la justification	Commentaire
<b>Profileurs de type A</b> Nb de profileurs de type A Dimension faisceau max à mesurer Dimension faisceau min à mesurer Puissance moyenne à supporter Précision en position Précision en taille	16 100 mm (TBC) 5 mm (TBC) >= 40 W (TBD) <= +/- 0.1 mm <= +/- 0.1 mm	16	C CàV CàV CàV CàV	par conception		à évaluer si plusieurs sortes de profileurs est nécessaire... type harpes a priori diamètre max à 99%, d'après les 6 optiques de référence diamètre min rms, d'après les 6 optiques de référence pour 5% cycle utile max relaxable à +/- 0.25 mm relaxable à +/- 0.25 mm
<b>Emittance-mètres de type A</b> Nb d'émission-mètres de type A Dimension faisceau max à mesurer Dimension faisceau min à mesurer Puissance moyenne à supporter Précision en taille Précision en divergence	3 80 mm (TBC) 5 mm (TBC) >= 40 W (TBD) <= +/- 10% <= +/- 10%	3	C CàV CàV CàV CàV	par conception		EM doubles (H-V) de type Allison (LPSC) diamètre max à 99%, d'après les 6 optiques de référence diamètre min rms, d'après les 6 optiques de référence pour 5% cycle utile max
<b>Cages de Faraday de type A</b> Nb de cages de Faraday de type A Dimension faisceau max à mesurer Dimension faisceau min à mesurer Puissance à soutenir Précision en courant	5 100 mm (TBC) 5 mm (TBC) >= 40 W (TBD) TBD	5	C CàV CàV CàV CàV	par conception		diamètre max à 99%, d'après les 6 optiques de référence diamètre min rms, d'après les 6 optiques de référence pour 5% cycle utile max à définir
<b>DCCTs de type A</b> Nb de DCCTs de type A Diamètre tube à vide Précision en courant	2 >=125 mm TBD	2	C CàV CàV	par conception		à priori sur tube standard fi 164.3 à définir

<b>Arrêts faisceau de type A</b> Nb d'arrêts faisceau de type A Dimension faisceau max à arrêter Dimension faisceau min à arrêter Puissance moyenne à supporter	2 100 mm (TBC) 5 mm (TBC) >= 260 W	2	C CàV CàV CàV	par conception		diamètre max à 99%, d'après les 6 optiques de référence diamètre min rms, d'après les 6 optiques de référence deutons dimensionnant
<b>Scrapper de type A</b> Nb de scrapper de type A Dimension faisceau max à arrêter Dimension faisceau min à arrêter Puissance moyenne à supporter	1 80 mm (TBC) 10 mm (TBC) >= 260 W	1	C CàV CàV CàV	par conception		sa pénétration doit être réglable diamètre max à 99%, d'après les 6 optiques de référence diamètre min rms, d'après les 6 optiques de référence deutons dimensionnant
<b>Fentes de type A</b> Nb de fentes de type A Pas de réglage des fentes Puissance moyenne à supporter	9 (TBC) 0.1 mm (TBD) >= 60 W		CàV CàV CàV			fentes de nettoyage et fentes du système de déf. émittance à valider
<b>Fentes de type B</b> Nb de fentes de type B Pas de réglage des fentes Puissance moyenne à supporter	1 0.1 mm (TBD) >= 300 W	1	C CàV CàV	par conception		fente de tri à valider

### **1.8 Injecteur / RFQ**

### **1.9 Injecteur / LME**

### **1.10 Injecteur / Eléments électro-magnétiques de la ligne moyenne-énergie**

### **1.11 Injecteur / Diagnostics, arrêts faisceau et fentes de la ligne moyenne-énergie**



## **ANNEXE 3 – PARAMETRES DE FONCTIONNEMENT DES LIGNES BASSE-ENERGIE**

L'Annexe 3 donne les principaux paramètres de fonctionnement des lignes basse-énergie en ce qui concerne les éléments électro-magnétiques (champs, tailles faisceau...), et ce, pour les 12 optiques de référence considérées : 6 optiques simulées sans cartes de champ 3D (3 aux paramètres nominaux, 3 à différentes émittances ou taux de neutralisation), et 6 avec cartes de champ 3D (3 au courant nominal, 3 à zéro courant). Ces valeurs ont été utilisées pour élaborer les spécifications notifiées dans les « Matrices de conformité » de l'Annexe 2. A noter que les modifications apportées dans cette table lors du passage de la version V1.0 à la version V2.0 du présent document (prise en compte des calculs avec cartes de champ 3D) sont reportées en rouge.

Pour mémoire, une reproduction des fichiers TRACEWIN associés aux nouvelles optiques avec cartes de champ 3D sont également fournis. Ces fichiers sont disponibles sur EDMS au même endroit que le présent document, à la fois pour un réglage « courant nominal », et pour un réglage « zéro-courant ». Pour se procurer les fichiers TRACEWIN associés aux 6 optiques sans cartes de champ 3D, on se référera à la version 1.0 du présent document [15].

### **REGLAGES A ZERO COURANT A RAJOUTER**

## Données LEBT d'après run TraceWin

### Faisceaux de référence de sortie source

from	ions	E0 (pi.mm.mrad norm rms)	alpha0	beta0	SCC	V source (kV)	TW s=0
APD	1/3	0.4	-1	0.2	0.7	60	sortie électrode d'extraction
Thuillier	1/3	0.2	0.5	0.12	0.7	60	sortie électrode d'extraction
Gobin	d	0.1	-3.4	0.32	0.8	40.27	sortie électrode d'extraction +94mm
Gobin	d	0.1	-3.4	0.32	1	40.27	sortie électrode d'extraction +94mm
Gobin	d	0.1	-3.4	0.32	0.5	40.27	sortie électrode d'extraction +94mm
idem deutons p		0.1	-3.4	0.32	0.8	20.15	sortie électrode d'extraction +94mm

le facteur /0.8 sur les aimants correspond à la marge prise pour avoir une certaine latitude de réglage par rapport à ces réglages de référence  
 le facteur \*2.7 (\*2.582 + marge) correspond au facteur nécessaire pour réaliser le spectre des ions jusqu'au Néon20 1+  
 le facteur 1.8 (\*1.732 +marge) correspond au facteur nécessaire pour réaliser le spectre des deutons jusqu'au D3 1+

### 1. QUADRUPOLES

Nom	Type	Diamètre utile nécessaire (mm) 99% faisceau max /0.8	Gradient max (T/m) nom/0.8 (ou *2.7 sur Q11 à Q13)	Grad nom 1 (T/m) 1/3, 0.4pi, res100	Grad nom 2 (T/m) 1/3, 0.2pi, res150	99% ray beam 1 (mm) 1/3, 0.4pi, res100	99% ray beam 2 (mm) 1/3, 0.2pi, res150	GRAD nom 3D (T/m) 1/3, 0.2pi, res150
LBE1.Q11	QP-A	147.5	0.85	0.08	0.31	59	38	0.12
LBE1.Q12	QP-A	112.5	1.95	-0.25	-0.72	45	37	-0.23
LBE1.Q13	QP-A	75.0	2.58	0.54	0.96	30	23	0.53
LBE1.Q14	QP-A	92.5	1.50	1.16	1.16	37	26	1.20
LBE1.Q15	QP-A	140.0	1.73	-1.26	-1.26	56	41	-1.39
LBE1.Q16	QP-A	90.0	1.50	1.16	1.16	36	26	1.20
LBE1.Q21	QP-A	92.5	2.85	1.40	1.60	37	27	2.28
LBE1.Q22	QP-A	157.5	1.66	-1.11	-1.20	63	49	-1.32
LBE1.Q23	QP-A	117.5	0.97	0.66	0.74	47	36	0.78
LBE1.Q24	QP-A	105.0	0.53	0.42	0.42	42	33	0.41
LBE1.Q25	QP-A	130.0	1.00	-0.76	-0.80	52	38	-0.80
LBE1.Q26	QP-A	102.5	0.67	0.46	0.53	41	32	0.51

Nom	Type	Diamètre utile nécessaire (mm) 99% faisceau max /0.8	Gradient max (T/m) nom /0.8	Grad nom 3 (T/m) d, 0.1pi, 0.8 SCC	Grad nom 4 (T/m) d, 0.1pi, 1.0 SCC	Grad nom 5 (T/m) d, 0.1pi, 0.5 SCC	Grad nom 6 (T/m) p, 0.1pi, 0.8 SCC	99% ray beam 3 (mm) d, 0.1pi, 0.8 SCC	99% ray beam 4 (mm) d, 0.1pi, 1.0 SCC	99% ray beam 5 (mm) d, 0.1pi, 0.5 SCC	99% ray beam 6 (mm) p, 0.1pi, 0.8 SCC	GRAD nom 3D (T/m) d 0.1pi, 0.8SCC	GRAD nom 3D (T/m) p 0.1pi, 0.8SCC
LBE2.Q14	QP-A	135.0	0.58	-0.43	-0.46	-0.43	-0.22	44	37	54	43	-0.47	-0.24
LBE2.Q15	QP-A	152.5	0.91	0.69	0.71	0.69	0.35	55	54	61	55	0.73	0.38
LBE2.Q16	QP-A	135.0	0.58	-0.44	-0.46	-0.43	-0.22	41	37	54	42	-0.47	-0.24

Nom	Type	Diamètre utile nécessaire (mm) 99% faisceau max /0.8	Gradient max (T/m) nom/0.8	Grad nom 3 (T/m) 1/3, 0.4pi, res100	Grad nom 2 (T/m) 1/3, 0.2pi, res150	Grad nom 3 (T/m) d, 0.1pi, 0.8 SCC	Grad nom 4 (T/m) d, 0.1pi, 1.0 SCC	Grad nom 5 (T/m) d, 0.1pi, 0.5 SCC	Grad nom 6 (T/m) p, 0.1pi, 0.8 SCC	99% ray beam 1 (mm) 1/3, 0.4pi, res100	99% ray beam 2 (mm) 1/3, 0.2pi, res150	99% ray beam 3 (mm) d, 0.1pi, 0.8 SCC	99% ray beam 4 (mm) d, 0.1pi, 1.0 SCC	99% ray beam 5 (mm) d, 0.1pi, 0.5 SCC	99% ray beam 6 (mm) p, 0.1pi, 0.8 SCC	GRAD nom 3D (T/m) 1/3, 0.2pi, res150	GRAD nom 3D (T/m) d, 0.1pi, 0.8SCC	GRAD nom 3D (T/m) p, 0.1pi, 0.8SCC
LBE.Q31	QP-A	130.0	0.82	-0.33	-0.45	-0.28	-0.46	-0.24	-0.10	43	30	48	41	52	42	-0.65	-0.09	0.04
LBE.Q32	QP-A	162.5	1.32	0.85	0.95	0.65	0.66	0.66	0.58	48	42	58	60	65	54	1.06	0.53	0.17
LBE.Q33	QP-A	155.0	1.13	-0.91	-0.87	-0.73	-0.28	-0.75	-0.38	53	39	62	43	55	50	-0.71	-0.77	-0.38
LBE.Q34	QP-A	102.5	0.70	0.43	0.31	0.47	-0.16	0.43	0.24	39	33	41	26	37	36	0.02	0.56	0.33

! Ici signe inversé !

ATTENTION, on doit pouvoir alimenter le 1er et le 4eme QPOL avec les 2 polarité

QP-A	Diamètre utile (mm)	Gradient max (T/m)
	162.5	2.9

### 2. SOLENOIDES

Nom	Type	Diamètre utile nécessaire (mm) 99% faisceau /0.8	Champ max (T) *2.7	Champ nom 1 (T) 1/3, 0.4pi, res100	Champ nom 2 (T) 1/3, 0.2pi, res150	99% ray beam 1 (mm) 1/3, 0.4pi, res100	99% ray beam 2 (mm) 1/3, 0.2pi, res150	CHAMP nom 3D (T) 1/3, 0.2pi, res150
LBE1.Sol11	Sol-A	167.5	0.83	0.26	0.26	67	42	0.31

Nom	Type	Diamètre utile nécessaire (mm) 99% faisceau max /0.8	Champ max (T) *1.8	Champ nom 3 (T) d, 0.1pi, 0.8 SCC	Champ nom 4 (T) d, 0.1pi, 1.0 SCC	Champ nom 5 (T) d, 0.1pi, 0.5 SCC	Champ nom 6 (T) p, 0.1pi, 0.8 SCC	99% ray beam 3 (mm) d, 0.1pi, 0.8 SCC	99% ray beam 4 (mm) d, 0.1pi, 1.0 SCC	99% ray beam 5 (mm) d, 0.1pi, 0.5 SCC	99% ray beam 6 (mm) p, 0.1pi, 0.8 SCC	CHAMP nom 3D (T) d 0.1pi, 0.8SCC	CHAMP nom 3D (T) p 0.1pi, 0.8SCC
LBE2.Sol11 et .Sol12	Sol-B	155.0	0.25	0.18	0.17	0.19	0.09	59	58	62	59	0.14	0.07

Nom	Type	Diamètre utile nécessaire (mm) 99% faisceau max /0.8	Champ max (T) nom/0.8	Champ nom 1 (T) 1/3, 0.4pi, res100	Champ nom 2 (T) 1/3, 0.2pi, res150	Champ nom 3 (T) d, 0.1pi, 0.8 SCC	Champ nom 4 (T) d, 0.1pi, 1.0 SCC	Champ nom 5 (T) d, 0.1pi, 0.5 SCC	Champ nom 6 (T) p, 0.1pi, 0.8 SCC	99% ray beam 1 (mm) 1/3, 0.4pi, res100	99% ray beam 2 (mm) 1/3, 0.2pi, res150	99% ray beam 3 (mm) d, 0.1pi, 0.8 SCC	99% ray beam 4 (mm) d, 0.1pi, 1.0 SCC	99% ray beam 5 (mm) d, 0.1pi, 0.5 SCC	99% ray beam 6 (mm) p, 0.1pi, 0.8 SCC	CHAMP nom 3D (T) 1/3, 0.2pi, res150	CHAMP nom 3D (T) d 0.1pi, 0.8SCC	CHAMP nom 3D (T) p 0.1pi, 0.8SCC
LBE.Sol31 et .Sol32	Sol-B	152.5	0.22	0.20	0.26	0.13	0.22	0.23	0.10	61	42	45	43	53	38	0.09	-0.05	-0.04
			0.44	0.39	0.36	0.28	0.19	0.20	0.12							0.35	0.29	0.14

Attention, la longueur active des solénoïdes a été allongée de 410mm à 600mm

Attention, la longueur active des solénoïdes a été allongée de 410mm à 600mm

ATTENTION, on doit pouvoir alimenter le 1er solénoïde avec les 2 polarité

Sol-A	Diamètre utile (mm)	Champ max (T)
	167.5	0.83
Sol-B	Diamètre utile (mm)	Champ max (T)
	155.0	0.44

Champ donné pour le nouveau solénoïde de longueur active 600 m

### 3. HEXAPOLES

Nom	Type	Diamètre utile nécessaire (mm) 99% faisceau /0.8	Force max (T/m²) nom/0.8 (ou *2.7 sur Hx11)	Force nom 1 (T/m²) 1/3, 0.4pi, res100	Force nom 2 (T/m²) 1/3, 0.2pi, res150	99% ray beam 1 (mm) 1/3, 0.4pi, res100	99% ray beam 2 (mm) 1/3, 0.2pi, res150	FORCE nom 3D (T/m²) 1/3, 0.2pi, res150
LBE1.Hx11	Hex-A	117.5	7.2	3.9	3.7	47	36	1.35
LBE1.Hx12	Hex-A	127.5	3.3	-3.9 (ou -2.2)	-3.7 (ou -1.8)	51	38	-0.24

Attention la longueur active des hexapoles a été allongée de 100mm à 145mm

Hex-A	Diamètre utile (mm)	Force max (T/m²)
	127.5	7.2

Force donnée pour le nouvel hexapôle de longueur active 145 m

### 4. DIPOLES

Nom	Type	Hauteur utile nécessaire (mm) 99% faisceau /0.8	Largeur utile nécessaire (mm) 99% faisceau /0.8	Champ max (T) /0.8 (ou *2.7 pour D11)	Champ nom (T) ions 1/3	99% ray beam V1 (mm) 1/3, 0.4pi, res100	99% ray beam V2 (mm) 1/3, 0.2pi, res150	99% ray beam H1 (mm) 1/3, 0.4pi, res100	99% ray beam H2 (mm) 1/3, 0.2pi, res150
LBE1.D11	DIP-A	90.0	220.0	0.27	0.1018	36	24	88	65
LBE1.D12	DIP-A	85.0	210.0	0.13	0.1018	34	24	84	63

Nom	Type	Hauteur utile nécessaire (mm) 99% faisceau /0.8	Largeur utile nécessaire (mm) 99% faisceau /0.8	Champ max (T) /0.8 (ou *1.8 pour D11)	Champ nom (T) d	99% ray beam V1 (mm) 1/3, 0.4pi, res100	99% ray beam V2 (mm) 1/3, 0.2pi, res150	99% ray beam V3 (mm) d, 0.1pi, 0.8 SCC	99% ray beam V4 (mm) d, 0.1pi, 1.0 SCC	99% ray beam V5 (mm) d, 0.1pi, 0.5 SCC	99% ray beam V6 (mm) p, 0.1pi, 0.8 SCC	99% ray beam H1 (mm) 1/3, 0.4pi, res100	99% ray beam H2 (mm) 1/3, 0.2pi, res150	99% ray beam H3 (mm) d, 0.1pi, 0.8 SCC	99% ray beam H4 (mm) d, 0.1pi, 1.0 SCC	99% ray beam H5 (mm) d, 0.1pi, 0.5 SCC	99% ray beam H6 (mm) p, 0.1pi, 0.8 SCC
LBE2.D11	DIP-B	60.0	60.0	0.15	0.082	-	-	15	9	24	14	-	-	15	9	24	14
LBE2.D12	DIP-B	72.5	57.5	0.10	0.082	29	19	16	9	23	17	29	18	16	9	23	17

calcul avec h=110mm -> qqes pertes

DIP-A	Hauteur utile nécessaire (mm)	Largeur utile nécessaire (mm)	Champ max (T)
	90.0	220.0	0.27
DIP-B	Hauteur utile nécessaire (mm)	Largeur utile nécessaire (mm)	Champ max (T)
	72.5	60.0	0.15

### 5. HACHEUR

Nom	Type	Diamètre utile nécessaire (mm) 99% faisceau max /0.8	Tension max (kV) pas de marge	Champ nom 1 (kV) 1/3, 0.4pi, res100	Champ nom 2 (kV) 1/3, 0.2pi, res150	Champ nom 3 (kV) d, 0.1pi, 0.8 SCC	Champ nom 4 (kV) d, 0.1pi, 1.0 SCC	Champ nom 5 (kV) d, 0.1pi, 0.5 SCC	Champ nom 6 (kV) p, 0.1pi, 0.8 SCC	99% ray beam 1 (mm) 1/3, 0.4pi, res100	99% ray beam 2 (mm) 1/3, 0.2pi, res150	99% ray beam 3 (mm) d, 0.1pi, 0.8 SCC	99% ray beam 4 (mm) d, 0.1pi, 1.0 SCC	99% ray beam 5 (mm) d, 0.1pi, 0.5 SCC	99% ray beam 6 (mm) p, 0.1pi, 0.8 SCC	déviations max (mm) tous ions
LBE.Hacheur	Hach-A	77.5	4.9	4.9	4.6	3.0	3.1	3.0	1.5	31	18	20	15	21	17	10

Champs pour une longueur utile de 160mm, et une distance inter-plaques de 90mm, et un scrappage à r=43mm (=99%beam/0.8)

n'inclut pas la déviation nominale

on scrappe à >= 80%, le faisceau non totalement scrappé se perd ensuite totalement dans le quadruplet (defoc en x) -> on ne prend pas de marge

Hach-A	Diamètre utile nécessaire (mm)	Largeur utile nécessaire (mm)	Tension max (kV)
	88	78	5

inclut la déviation nominale max

ATTENTION c'est la tension par rapport à l'axe faisceau, la tension totale inter-plaques vaut le double

**Fichiers TRACEWIN d'input \*.dat et de réglage \*.cal**

Fichier *.dat utilisé pour les ions q/A=1/3	Fichier *.dat utilisé pour les deutons	Fichier *.dat utilisé pour les protons
<pre> ;;// ; SPIRAL-2 IONS 1/3 - JANVIER 2007 - Version Consolidée V2.0 ;//  ..***** ;; ;; LEBT ..*****  .*****sortie source LBE1.S1 à l'électrode d'extraction DRIFT 1e-08 82 SPACE_CHARGE_COMP 0.7 DRIFT 100 82 DRIFT 100 82 DRIFT 100 82 DRIFT 100 82 DRIFT 10 82 .*****LBE1-CF11 DRIFT 46 82 .*****solénoïde + triplet ERROR_QUAD_NCPL_STAT 10 1 0.1 0.1 0.028 0.028 0.07 1 0 ERROR_QUAD_NCPL_DYN 10 1 0.01 0.01 0.0028 0.0028 0.007 0.1 0 ADJUST_STEERER_BY 3 STEERER 0 0 ADJUST 1 5 1 0 0 SUPERPOSE_MAP 0 LBE1-Sol11 : FIELD_MAP 0070 800 90 82 0.255 0.255 0 0 solénoïde_bigmapb ADJUST 1 5 2 0 0 SUPERPOSE_MAP 654 LBE1-QP11 : FIELD_MAP 0070 350 90 82 0.255 0.255 0 0 qpole_lebt_15_09_2006b ADJUST_STEERER_BY 3 STEERER 0 0 ADJUST 1 5 3 0 0 LBE1-QP12 : FIELD_MAP 0070 350 0 82 -0.255 -0.255 0 0 qpole_lebt_15_09_2006b ADJUST_STEERER_BY 3 STEERER 0 0 ADJUST 1 5 4 0 0 LBE1-QP13 : FIELD_MAP 0070 350 0 82 0.255 0.255 0 0 qpole_lebt_15_09_2006b DRIFT 90,5 82 DRIFT 100 82 DRIFT 60 82 .***** fentes du waist objet ;; LBE1-FV11 : APERTURE 82 40 0 DRIFT 40 82 LBE1-FH11 : APERTURE 40 82 0 DRIFT 100 82 DRIFT 100 82 DRIFT 100 82 .***** fente H de nettoyage 22mm (0.4pi res100) 18mm (0.2pi res150) ; LBE1.FH12 : APERTURE 18 82 0 DRIFT 20 82 DRIFT 100 82 DRIFT 100 82 .***** hexapole ERROR_QUAD_NCPL_STAT 5 1 0.1 0.1 0.114 0.114 0.07 1 0 ERROR_QUAD_NCPL_DYN 5 1 0.01 0.01 0.011 0.011 0.007 0.1 0 ADJUST 2 5 0 0 0 LBE1-Hx11 : FIELD_MAP 0070 500 0 82 0.006 0.006 0 0 hexapole_6_octobre_2006b </pre>	<pre> ;;// ; SPIRAL-2 DEUTONS - JANVIER 2007 - Version Consolidée V2.0 ;//  ..***** ;; ;; LEBT ..*****  .*****GAS 5E-21 1 1E-6 .*****sortie source LBE2-S11 = électrode d'extraction + 94mm DRIFT 1e-08 82 SPACE_CHARGE_COMP 0.8 ;SPACE_CHARGE_COMP 0.5 ;SPACE_CHARGE_COMP 1.0 DRIFT 70 82 DRIFT 100 82 DRIFT 81 82 .*****solénoïde ERROR_QUAD_NCPL_STAT 10 1 0.1 0.1 0.028 0.028 0.07 1 0 ERROR_QUAD_NCPL_DYN 10 1 0.01 0.01 0.0028 0.0028 0.007 0.1 0 ADJUST 0 5 1 0 0 SUPERPOSE_MAP 0 LBE2-Sol11 : FIELD_MAP 0070 1200 90 82 0.2 0.2 0 0 sol_long_double_ion1b ADJUST 0 5 1 0 0 SUPERPOSE_MAP 0 LBE2-Sol12 : FIELD_MAP 0070 1200 90 82 0.2 0.2 0 0 sol_long_double_ion2b .***** steerers ADJUST 1 1 Steerer H : THIN_STEERING 0 0 82 DRIFT 84 82 ADJUST 1 2 Steerer V : THIN_STEERING 0 0 82 .***** drift optimisé pour SCC=0.8 DRIFT 100 82 DRIFT 100 82 DRIFT 100 82 DRIFT 66 82 .***** centre DCCT DRIFT 4 82 DRIFT 100 82 DRIFT 100 82 DRIFT 100 82 .***** profileur LBE2-PR11 : DIAG_DSIZE2 0 0 0 0.5 LBE2-PR11 : DIAG_POSITION 1 0 0 0.5 DRIFT 100 82 .***** LBE2-CF11 DRIFT 55,9 82 DRIFT 100 82 DRIFT 100 82 DRIFT 100 82 .***** dipole 45° droite ERROR_BEND_NCPL_STAT 3 1 0.1 0.1 0.028 0.028 0.028 0.0 ERROR_BEND_NCPL_DYN 3 1 0.01 0.01 0.0028 0.0028 0.0028 0.0 ;EDGE 0 500 100 0 0 50 0 ;LBE2-D11 : BEND 45 500 0 50 0 ;EDGE 0 500 100 0 0 50 0 LBE2-D11 : BEND 45 500 0 50 0 </pre>	<pre> ;;// ; SPIRAL-2 PROTONS - JANVIER 2007 - Version Consolidée V2.0 ;//  ..***** ;; ;; LEBT ..*****  .*****sortie source LBE2.S11 = électrode d'extraction + 94mm DRIFT 1e-08 82 SPACE_CHARGE_COMP 0.8 DRIFT 70 82 DRIFT 100 82 DRIFT 81 82 .*****solénoïde ERROR_QUAD_NCPL_STAT 10 1 0.1 0.1 0.028 0.028 0.07 1 0 ERROR_QUAD_NCPL_DYN 10 1 0.01 0.01 0.0028 0.0028 0.007 0.1 0 ADJUST 0 5 1 0 0 SUPERPOSE_MAP 0 LBE2-Sol11 : FIELD_MAP 0070 1200 90 82 0.2 0.2 0 0 sol_long_double_ion1b ADJUST 0 5 1 0 0 SUPERPOSE_MAP 0 LBE2-Sol12 : FIELD_MAP 0070 1200 90 82 0.2 0.2 0 0 sol_long_double_ion2b .***** steerers ADJUST 1 1 Steerer H : THIN_STEERING 0 0 82 DRIFT 84 82 ADJUST 1 2 Steerer V : THIN_STEERING 0 0 82 DRIFT 100 82 DRIFT 100 82 DRIFT 100 82 DRIFT 100 82 DRIFT 66 82 .***** centre DCCT ; DRIFT 4 82 DRIFT 100 82 DRIFT 100 82 DRIFT 100 82 .***** profileur LBE2-PR11 : DIAG_DSIZE2 0 0 0 0.5 LBE2-PR11 : DIAG_POSITION 1 0 0 0.5 DRIFT 100 82 .***** LBE2-CF11 DRIFT 55,9 82 DRIFT 100 82 DRIFT 100 82 DRIFT 100 82 .***** dipole 45° droite ERROR_BEND_NCPL_STAT 3 1 0.1 0.1 0.028 0.028 0.028 0.0 ERROR_BEND_NCPL_DYN 3 1 0.01 0.01 0.0028 0.0028 0.0028 0.0 ;EDGE 0 500 100 0 0 50 0 ;LBE2-D11 : BEND 45 500 0 50 0 ;EDGE 0 500 100 0 0 50 0 LBE2-D11 : BEND 11.25 500 0 50 0 EDGE 0 500 100 1e-50 1e-50 50 0 </pre>

```

DRIFT 50 100
;***** dipole 90° gauche
ERROR_BEND_NCPL_STAT 3 1 0.1 0.1 0.011 0.011 0.011 0.0
ERROR_BEND_NCPL_DYN 3 1 0.01 0.01 0.0011 0.0011 0.0011 0.0
;EDGE 26.565 600 110 0 0 125 0
;LBE1-D11 : BEND -90 600 0 125 0
;EDGE 26.565 600 110 0 0 125 0
EDGE 26.565 600 110 0 0 125 0
LBE1-D11 : BEND -9 600 0 125 0
EDGE 0 600 110 1e-50 1e-50 125 0
EDGE 0 600 110 1e-50 1e-50 125 0
LBE1-D11 : BEND -9 600 0 125 0
EDGE 0 600 110 1e-50 1e-50 125 0
EDGE 0 600 110 1e-50 1e-50 125 0
LBE1-D11 : BEND -9 600 0 125 0
EDGE 0 600 110 1e-50 1e-50 125 0
EDGE 0 600 110 1e-50 1e-50 125 0
LBE1-D11 : BEND -9 600 0 125 0
EDGE 0 600 110 1e-50 1e-50 125 0
EDGE 0 600 110 1e-50 1e-50 125 0
LBE1-D11 : BEND -9 600 0 125 0
EDGE 0 600 110 1e-50 1e-50 125 0
EDGE 0 600 110 1e-50 1e-50 125 0
LBE1-D11 : BEND -9 600 0 125 0
EDGE 0 600 110 1e-50 1e-50 125 0
EDGE 0 600 110 1e-50 1e-50 125 0
LBE1-D11 : BEND -9 600 0 125 0
EDGE 26.565 600 110 0 0 125 0
DRIFT 50 100
DRIFT 50 82
DRIFT 100 82
DRIFT 100 82
;***** piquage PF
LBE1-PR12 : DIAG_POSITION 3 0 0 0.25
DRIFT 100 82
;***** fente de tri (5mm pour 0.2pi, 7mm pour 0.4pi) & profileur
LBE1-FH13 : APERTURE 5 82 0
;LBE1-FH13 : APERTURE 7 82 0
LBE1-PR13 : DIAG_SIZE 1 1.6 5.2 0 0.5
;LBE1-PR13 : DIAG_SIZE 1 2.4 7.4 0 0.5
LBE1-PR13 : DIAG_EMIT 2 0.2 0.2 0
;LBE1-PR13 : DIAG_EMIT 2 0.4 0.4 0
LBE1-PR13 : DIAG_WAIST 1 1 1 0.5
LBE1-PR13 : DIAG_POSITION 3 0 0 0.25
LBE1-PR13 : DIAG_DSIZE2 4 0 0 0.5
DRIFT 40 82
DRIFT 100 82
;***** LBE1-CF13
;LBE1-CF13 : DIAG_CURRENT 1 2 0 0.1
;EDGE 0 500 100 0 0 50 0
EDGE 0 500 100 0 0 50 0
LBE2-D11 : BEND 11.25 500 0 50 0
EDGE 0 500 100 1e-50 1e-50 50 0
EDGE 0 500 100 1e-50 1e-50 50 0
LBE2-D11 : BEND 11.25 500 0 50 0
EDGE 0 500 100 1e-50 1e-50 50 0
EDGE 0 500 100 1e-50 1e-50 50 0
LBE2-D11 : BEND 11.25 500 0 50 0
EDGE 0 500 100 1e-50 1e-50 50 0
EDGE 0 500 100 1e-50 1e-50 50 0
LBE2-D11 : BEND 11.25 500 0 50 0
EDGE 0 500 100 0 0 50 0
DRIFT 95.9 82
DRIFT 100 82
DRIFT 100 82
;***** émittance mètres
DRIFT 70 82
DRIFT 60 82
;***** profileur
LBE2-PR12 : DIAG_DSIZE2 0 0 0 0.5
LBE2-PR12 : DIAG_DSIZE2 2 0 0 0.5
LBE2-PR12 : DIAG_POSITION 1 0 0 0.5
DRIFT 105 82
;***** piquage pompe + LBE2-CF12
;end
DRIFT 100 82
DRIFT 87 82
;***** triplet
ERROR_QUAD_NCPL_STAT 15 1 0.1 0.1 0.057 0.057 0.07 1 0
ERROR_QUAD_NCPL_DYN 15 1 0.01 0.01 0.0057 0.0057 0.007 0.1 0
ADJUST_STEERER_BY 6
STEERER 0 0
ADJUST 2 5 2 0 0
ADJUST 3 5 2 0 0
LBE2-Q14 : FIELD_MAP 0070 350 0 82 0.255 0.255 0 0 qpole_lebt_15_09_2006b
ADJUST 2 5 3 0 0
ADJUST 3 5 3 0 0
ADJUST_STEERER_BX 6
STEERER 0 0
LBE2-Q15 : FIELD_MAP 0070 350 0 82 0.255 0.255 0 0 qpole_lebt_15_09_2006b
ADJUST_STEERER_BY 6
STEERER 0 0
ADJUST 2 5 2 0 0
ADJUST 3 5 4 0 0
LBE2-Q16 : FIELD_MAP 0070 350 0 82 0.255 0.255 0 0 qpole_lebt_15_09_2006b
DRIFT 100 82
DRIFT 100 82
DRIFT 92 82
;***** profileur
LBE2-PR13 : DIAG_DSIZE2 2 0 0 0.5
LBE2-PR13 : DIAG_POSITION 6 0 0 0.5
DRIFT 85 82
;***** arrêt faisceau
DRIFT 100 82
DRIFT 100 82
DRIFT 100 82
DRIFT 40.9 82
;***** dipole 45° droite
ERROR_BEND_NCPL_STAT 3 1 0.1 0.1 0.028 0.028 0.028 0.0
ERROR_BEND_NCPL_DYN 3 1 0.01 0.01 0.0028 0.0028 0.0028 0.0
;EDGE 0 500 100 0 0 50 0
;LBE2-D12 : BEND 45 500 0 50 0
;EDGE 0 500 100 0 0 50 0
EDGE 0 500 100 0 0 50 0
LBE2-D12 : BEND 11.25 500 0 50 0
EDGE 0 500 100 1e-50 1e-50 50 0
EDGE 0 500 100 1e-50 1e-50 50 0
LBE2-D12 : BEND 11.25 500 0 50 0
EDGE 0 500 100 1e-50 1e-50 50 0

```



```

LBE1-D12 : BEND 9 600 0 125 0
EDGE 0 600 110 1e-50 1e-50 125 0
EDGE 0 600 110 1e-50 1e-50 125 0
LBE1-D12 : BEND 9 600 0 125 0
EDGE 0 600 110 1e-50 1e-50 125 0
EDGE 0 600 110 1e-50 1e-50 125 0
LBE1-D12 : BEND 9 600 0 125 0
EDGE 0 600 110 1e-50 1e-50 125 0
EDGE 0 600 110 1e-50 1e-50 125 0
LBE1-D12 : BEND 9 600 0 125 0
EDGE 26.565 600 110 0 0 125 0
DRIFT 50 100
;***** hexapole
ERROR_QUAD_NCPL_STAT 5 1 0.1 0.1 0.114 0.114 0.07 1 0
ERROR_QUAD_NCPL_DYN 5 1 0.01 0.01 0.011 0.011 0.007 0.1 0
ADJUST 5 5 1 0 0
LBE1-Hx12 : FIELD_MAP 0070 500 0 82 0.006 0.006 0 0 hexapole_6_octobre_2006b
DRIFT 50 82
;***** profileur
LBE1-PR21 : DIAG_POSITION 6 0 0 0.25
DRIFT 100 82
;***** profileur
LBE1-PR22 : DIAG_WAIST 4 1 1 0.1
LBE1-PR22 : DIAG_ACHROMAT 4 10 1 1
LBE1-PR22 : DIAG_EMIT 5 0.2 0.2 0
;LBE1-PR22 : DIAG_EMIT 5 0.4 0.4 0
LBE1-PR22 : DIAG_POSITION 6 0 0 0.25
DRIFT 100 82
DRIFT 100 82
DRIFT 11.5 82
;end
;***** triplet
ERROR_QUAD_NCPL_STAT 15 1 0.1 0.1 0.057 0.057 0.07 1 0
ERROR_QUAD_NCPL_DYN 15 1 0.01 0.01 0.0057 0.0057 0.007 0.1 0
ADJUST_STEERER_BX 10
STEERER 0 0
ADJUST 9 5 1 0 0
LBE1-Q21 : FIELD_MAP 0070 350 0 82 0.255 0.255 0 0 qpole_lebt_15_09_2006b
ADJUST_STEERER_BY 10
STEERER 0 0
ADJUST 9 5 2 0 0
LBE1-Q22 : FIELD_MAP 0070 350 0 82 0.255 0.255 0 0 qpole_lebt_15_09_2006b
ADJUST_STEERER_BX 10
STEERER 0 0
ADJUST 9 5 3 0 0
LBE1-Q23 : FIELD_MAP 0070 350 0 82 0.255 0.255 0 0 qpole_lebt_15_09_2006b
DRIFT 100 82
DRIFT 33 82
;***** profileur
LBE1-PR23 : DIAG_DSIZE2 9 0 0 0.5
LBE1-PR23 : DIAG_DSIZE 9 0 0 0.5
;LBE1-PR23 : DIAG_SIZE 9 10.5 0 0 0.5
LBE1-PR23 : DIAG_SIZE 9 8.5 0 0 0.5
LBE1-PR23 : DIAG_POSITION 10 0 0 0.25
DRIFT 93 82
DRIFT 100 82
DRIFT 100 82
DRIFT 100 82
DRIFT 100 82
;***** (LBE4-D13) arrivée faisceau futur
DRIFT 53 82
;LBE4-PR33 : DIAG_SIZE 14 1.9 1.9 0 0.5
LBEC-PR33 : DIAG_SIZE 14 3.5 3.5 0 0.5
;LBE4-PR33 : DIAG_DSIZE 14 0 0.5
;APERTURE 10 10 0
;APERTURE 7 7 0
LBEC-FH33 : APERTURE 10 82 0
DRIFT 40 82
LBEC-FV33 : APERTURE 82 10 0
DRIFT 60 82
DRIFT 100 82
DRIFT 100 82
DRIFT 100 82
LBEC-PR34 : DIAG_POSITION 15 0 0 0.5
LBEC-PR34 : DIAG_DSIZE2 14 0 0 0.5
;APERTURE 11 14 0
;APERTURE 10 10 0
LBEC-FH34 : APERTURE 11 82 0
DRIFT 40 82
LBEC-FV34 : APERTURE 82 14 0
DRIFT 60 82
DRIFT 70 82
DRIFT 100 82
;***** Emittance mètre
DRIFT 30 82
DRIFT 100 82
;***** LBE.CF34 (position approximative)
DRIFT 60 82
;***** dernier profileur (position approximative)
LBEC-PR35 : DIAG_POSITION 15 0 0 0.5
DRIFT 50 82
DRIFT 55 82
;end
;SPACE_CHARGE_COMP 0.0
;***** solénoïde
ERROR_QUAD_NCPL_STAT 10 1 0.1 0.1 0.028 0.028 0.07 1 0
ERROR_QUAD_NCPL_DYN 10 1 0.01 0.01 0.0028 0.0028 0.007 0.1 0
ADJUST 16 5 1 0 0
SUPERPOSE_MAP 0
LBEC-So131 : FIELD_MAP 0070 1200 90 82 0.2 0.2 0 0 sol_long_double_ion1b
ADJUST 16 5 2 0 0
SUPERPOSE_MAP 0
LBEC-So132 : FIELD_MAP 0070 1200 90 82 0.2 0.2 0 0 sol_long_double_ion2b
;***** DCCT (placé dans lac carte de champ du solénoïde)
DRIFT 13 82
SPACE_CHARGE_COMP 0.0
DRIFT 16 82
DRIFT 10 82
;***** plaque de fermeture RFQ
DRIFT 10 10
DRIFT 10 10
DRIFT 10 10
DRIFT 5 10
;***** entrée RFQ
;protons 0.3pi 5.mA
;DIAG_SIZE 16 2.2 2.2 0 0.16
;DIAG_SIZEP 16 35.9 35.6 0 2.6
;protons 0.45pi 5.5mA
DIAG_SIZE 16 2.66 2.62 0 0.16
DIAG_SIZEP 16 43.4 43.0 0 2.6
DRIFT 1e-08 10
;END
;*****
;
; RFQ
;*****
RFQ_CELL 43000 9.94396 0 1 66.9319 -90 3 7.5 1
RFQ_CELL 43000 9.94396 6.69068e-05 1.00028 11.1553 -90 4 7.5 1
lattice 2
RFQ_CELL 43000 9.94244 0.000125255 1.00052 11.1553 -90 2 7.5 1
RFQ_CELL 43000 9.93848 0.000206589 1.00086 11.1553 -90 -2 7.5 1
RFQ_CELL 43000 9.93291 0.000269428 1.00112 11.1553 -90 2 7.5 1
RFQ_CELL 43000 9.92632 0.000314328 1.00113 11.1553 -90 -2 7.5 1
RFQ_CELL 43000 9.9191 0.000347596 1.00144 11.1553 -90 2 7.5 1
RFQ_CELL 43000 9.91145 0.000376226 1.00155 11.1553 -90 -2 7.5 1
RFQ_CELL 43000 9.90352 0.000442117 1.00182 11.1553 -90 2 7.5 1
RFQ_CELL 43000 9.89541 0.000497636 1.00205 11.1553 -90 -2 7.5 1
RFQ_CELL 43000 9.88714 0.000539925 1.00222 11.1553 -90 2 7.5 1
RFQ_CELL 43000 9.87872 0.00057467 1.00236 11.1553 -90 -2 7.5 1

```



```

***** quadruplet
ERROR_QUAD_NCPL_STAT 15 1 0.1 0.1 0.057 0.057 0.07 1 0
ERROR_QUAD_NCPL_DYN 15 1 0.01 0.01 0.0057 0.0057 0.007 0.1 0
ADJUST_STEERER_BY 15
STEERER 0 0
ADJUST 14 5 1 0 0
LBEC-Q31 : FIELD_MAP 0070 350 0 82 0.255 0.255 0 0 qpole_lebt_15_09_2006b
ADJUST_STEERER_BX 15
STEERER 0 0
ADJUST 14 5 2 0 0
LBEC-Q32 : FIELD_MAP 0070 350 0 82 0.255 0.255 0 0 qpole_lebt_15_09_2006b
ADJUST_STEERER_BY 15
STEERER 0 0
ADJUST 14 5 3 0 0
LBEC-Q33 : FIELD_MAP 0070 350 0 82 0.255 0.255 0 0 qpole_lebt_15_09_2006b
ADJUST_STEERER_BX 15
STEERER 0 0
ADJUST 14 5 4 0 0
LBEC-Q34 : FIELD_MAP 0070 350 0 82 0.255 0.255 0 0 qpole_lebt_15_09_2006b
DRIFT 92 82
DRIFT 60 82
***** système à 3 fentes
***** réglage des fentes: 15mm & 20 mm (0.4pi) ; 10mm & 14 mm (0.2pi)
:APERTURE 20 20 0
:APERTURE 14 14 0
LBEC-FV32 : APERTURE 82 14 0
DRIFT 40 82
LBEC-FH32 : APERTURE 14 82 0
LBEC-PR32 : DIAG_DSIZ2 14 0 0 0.5
DRIFT 100 82
DRIFT 100 82
DRIFT 100 82
DRIFT 100 82
***** waist théorique: 4.9mm (0.4pi), 3.7mm (0.25pi)
LBEC-PR33 : DIAG_SIZE 14 3.7 3.7 0 0.5
:LBEC-PR33 : DIAG_SIZE 14 4.9 4.9 0
:LBEC-PR33 : DIAG_DSIZ2 14 0 0 0.5
:APERTURE 15 15 0
:APERTURE 10 10 0
LBEC-FH33 : APERTURE 10 82 0
DRIFT 40 82
LBEC-FV33 : APERTURE 82 10 0
DRIFT 60 82
DRIFT 100 82
DRIFT 100 82
DRIFT 100 82
LBEC-PR34 : DIAG_DSIZ2 14 0 0 0.5
LBEC-PR34 : DIAG_POSITION 15 0 0 0.25
:APERTURE 20 20 0
:APERTURE 14 14 0
LBEC-FH34 : APERTURE 14 82 0
DRIFT 40 82
LBEC-FV34 : APERTURE 82 14 0
DRIFT 60 82
DRIFT 70 82
DRIFT 100 82
***** Emittance mètre
DRIFT 30 82
DRIFT 100 82
***** LBE.CF34 (position approximative);
DRIFT 60 82
***** dernier profileur (position approximative)
:LBEC-PR35 : DIAG_POSITION 15 0 0 0.25
DRIFT 50 82
DRIFT 55 82
:end
RFQ_CELL 70000 9.24002 0.00871752 1.03151 11.1553 -88.6321 -2.75 1 0 0 0
RFQ_CELL 70000 9.22703 0.00901459 1.03251 11.1553 -90.0889 2.75 1 0 0 0
RFQ_CELL 70000 9.21402 0.00932009 1.03353 11.1553 -88.687 -2.75 1 0 0 0
RFQ_CELL 70000 9.20099 0.0096327 1.03458 11.1553 -90.1502 2.75 1 0 0 0
RFQ_CELL 70000 9.18793 0.00995045 1.03563 11.1553 -88.7545 -2.75 1 0 0 0
RFQ_CELL 70000 9.17487 0.0102763 1.03671 11.1553 -90.2263 2.75 1 0 0 0
RFQ_CELL 70000 9.1618 0.0106072 1.03781 11.1553 -88.8353 -2.75 1 0 0 0
RFQ_CELL 70000 9.14872 0.0108961 1.03875 11.1553 -90.2996 2.75 1 0 0 0
RFQ_CELL 70000 9.13562 0.0111996 1.03973 11.1553 -90.2984 -2.75 1 0 0 0
RFQ_CELL 70000 9.12252 0.0115237 1.04078 11.1553 -90.2002 2.75 1 0 0 0
RFQ_CELL 70000 9.10944 0.0118641 1.04189 11.1553 -89.2965 -2.75 1 0 0 0
RFQ_CELL 70000 9.09638 0.0122642 1.04321 11.1553 -90.3156 2.75 1 0 0 0
RFQ_CELL 70000 9.08335 0.0126634 1.04452 11.1553 -89.4644 -2.75 1 0 0 0
RFQ_CELL 70000 9.07035 0.0130547 1.04579 11.1553 -90.4147 2.75 1 0 0 0
RFQ_CELL 70000 9.05736 0.0134437 1.04705 11.1553 -89.5725 -2.75 1 0 0 0
RFQ_CELL 70000 9.04434 0.0138339 1.04831 11.1553 -90.5058 2.75 1 0 0 0
RFQ_CELL 70000 9.03149 0.0142272 1.04957 11.1553 -89.6648 -2.75 1 0 0 0
RFQ_CELL 70000 9.01869 0.0146248 1.05085 11.1553 -90.5827 2.75 1 0 0 0
RFQ_CELL 70000 9.00599 0.0150273 1.05214 11.1553 -89.7438 -2.75 1 0 0 0
RFQ_CELL 70000 8.99336 0.0154837 1.05361 11.1553 -90.6464 2.75 1 0 0 0
RFQ_CELL 70000 8.98086 0.015936 1.05506 11.1553 -89.8172 -2.75 1 0 0 0
RFQ_CELL 70000 8.96842 0.0163787 1.05648 11.1553 -90.6803 2.75 1 0 0 0
RFQ_CELL 70000 8.95605 0.0168671 1.05805 11.1553 -89.8331 -2.75 1 0 0 0
RFQ_CELL 70000 8.94379 0.0173446 1.05958 11.1553 -90.6796 2.75 1 0 0 0
RFQ_CELL 70000 8.9316 0.0178097 1.06106 11.1553 -89.8123 -2.75 1 0 0 0
RFQ_CELL 70000 8.91949 0.0183192 1.06269 11.1553 -90.6466 2.75 1 0 0 0
RFQ_CELL 70000 8.90751 0.0188169 1.06427 11.1553 -88.3866 -2.75 1 0 0 0
RFQ_CELL 70000 8.89561 0.0193 1.0658 11.1553 -90.8234 2.75 1 0 0 0
RFQ_CELL 70000 8.88381 0.0198278 1.06748 11.1553 -89.3208 -2.75 1 0 0 0
RFQ_CELL 70000 8.87215 0.0203424 1.06911 11.1553 -90.7149 2.75 1 0 0 0
RFQ_CELL 70000 8.8606 0.0208425 1.07069 11.1553 -89.2028 -2.75 1 0 0 0
RFQ_CELL 70000 8.84915 0.0213866 1.07241 11.1553 -90.5904 2.75 1 0 0 0
RFQ_CELL 70000 8.83788 0.0219164 1.07408 11.1553 -89.0724 -2.75 1 0 0 0
RFQ_CELL 70000 8.82672 0.0224295 1.07569 11.1553 -90.4575 2.75 1 0 0 0
RFQ_CELL 70000 8.81569 0.0229851 1.07744 11.1553 -88.9421 -2.75 1 0 0 0
RFQ_CELL 70000 8.80487 0.0235281 1.07915 11.1553 -90.3439 2.75 1 0 0 0
RFQ_CELL 70000 8.79425 0.0241047 1.08097 11.1553 -88.8371 -2.75 1 0 0 0
RFQ_CELL 70000 8.7839 0.0246624 1.08273 11.1553 -90.2544 2.75 1 0 0 0
RFQ_CELL 70000 8.77371 0.0252506 1.08459 11.1553 -88.7644 -2.75 1 0 0 0
RFQ_CELL 70000 8.76376 0.0258148 1.08636 11.1553 -90.2188 2.75 1 0 0 0
RFQ_CELL 70000 8.75396 0.026409 1.08824 11.1553 -88.7476 -2.75 1 0 0 0
RFQ_CELL 70000 8.74438 0.0269794 1.09004 11.1553 -90.2253 2.75 1 0 0 0
RFQ_CELL 70000 8.73488 0.0275788 1.09193 11.1553 -88.7716 -2.75 1 0 0 0
RFQ_CELL 70000 8.72552 0.0281519 1.09373 11.1553 -91.511 2.75 1 0 0 0
RFQ_CELL 70000 8.71621 0.0286993 1.09543 11.1553 -89.073 -2.75 1 0 0 0
RFQ_CELL 70000 8.70696 0.029285 1.09727 11.1553 -90.1822 2.75 1 0 0 0
RFQ_CELL 70000 8.69786 0.0298511 1.09903 11.1553 -89.1677 -2.75 1 0 0 0
RFQ_CELL 70000 8.68883 0.0303939 1.10072 11.1553 -90.3068 2.75 1 0 0 0
RFQ_CELL 70000 8.67989 0.0309749 1.10253 11.1553 -89.3349 -2.75 1 0 0 0
RFQ_CELL 70000 8.67115 0.0315354 1.10427 11.1553 -90.4519 2.75 1 0 0 0
RFQ_CELL 70000 8.66263 0.0320501 1.10574 11.1553 -89.5371 -2.75 1 0 0 0
RFQ_CELL 70000 8.65441 0.0325619 1.107 11.1553 -90.5889 2.75 1 0 0 0
RFQ_CELL 70000 8.64625 0.0330719 1.10814 11.1553 -89.6873 -2.75 1 0 0 0
RFQ_CELL 70000 8.63819 0.0335239 1.10901 11.1553 -90.688 2.75 1 0 0 0
RFQ_CELL 70000 8.63025 0.0339781 1.10986 11.1553 -89.7687 -2.75 1 0 0 0
RFQ_CELL 70000 8.62247 0.0344394 1.11072 11.1553 -90.7413 2.75 1 0 0 0
RFQ_CELL 70000 8.61486 0.0348468 1.1114 11.1553 -89.7986 -2.75 1 0 0 0
RFQ_CELL 70000 8.6074 0.0352574 1.11211 11.1553 -90.7363 2.75 1 0 0 0
RFQ_CELL 70000 8.60005 0.035675 1.11285 11.1553 -88.3418 -2.75 1 0 0 0
RFQ_CELL 70000 8.59284 0.0360328 1.11341 11.1553 -90.9092 2.75 1 0 0 0
RFQ_CELL 70000 8.58569 0.0363945 1.114 11.1553 -89.3571 -2.75 1 0 0 0
RFQ_CELL 70000 8.57865 0.0367625 1.11465 11.1553 -90.7832 2.75 1 0 0 0
RFQ_CELL 70000 8.57172 0.0371219 1.11528 11.1553 -89.2123 -2.75 1 0 0 0
RFQ_CELL 70000 8.56491 0.0374134 1.11573 11.1553 -90.629 2.75 1 0 0 0
RFQ_CELL 70000 8.55821 0.0377016 1.11619 11.1553 -89.0548 -2.75 1 0 0 0
RFQ_CELL 70000 8.55163 0.0379893 1.11668 11.1553 -90.4862 2.75 1 0 0 0
RFQ_CELL 43000 9.12252 0.0115237 1.04078 11.1553 -90 2.75 1
RFQ_CELL 43000 9.10944 0.0118641 1.04189 11.1553 -90 -2.75 1
RFQ_CELL 43000 9.09638 0.0122642 1.04321 11.1553 -90 2.75 1
RFQ_CELL 43000 9.08335 0.0126634 1.04452 11.1553 -90 -2.75 1
RFQ_CELL 43000 9.07035 0.0130547 1.04579 11.1553 -90 2.75 1
RFQ_CELL 43000 9.05736 0.0134437 1.04705 11.1553 -90 2.75 1
RFQ_CELL 43000 9.04434 0.0138339 1.04831 11.1553 -90 2.75 1
RFQ_CELL 43000 9.03149 0.0142272 1.04957 11.1553 -90 2.75 1
RFQ_CELL 43000 9.01869 0.0146248 1.05085 11.1553 -90 2.75 1
RFQ_CELL 43000 9.00599 0.0150273 1.05214 11.1553 -90 2.75 1
RFQ_CELL 43000 8.99336 0.0154837 1.05361 11.1553 -90 2.75 1
RFQ_CELL 43000 8.98086 0.015936 1.05506 11.1553 -90 2.75 1
RFQ_CELL 43000 8.96842 0.0163787 1.05648 11.1553 -90 2.75 1
RFQ_CELL 43000 8.95605 0.0168671 1.05805 11.1553 -90 2.75 1
RFQ_CELL 43000 8.94379 0.0173446 1.05958 11.1553 -90 2.75 1
RFQ_CELL 43000 8.9316 0.0178097 1.06106 11.1553 -90 2.75 1
RFQ_CELL 43000 8.91949 0.0183192 1.06269 11.1553 -90 2.75 1
RFQ_CELL 43000 8.90751 0.0188169 1.06427 11.1553 -90 2.75 1
RFQ_CELL 43000 8.89561 0.0193 1.0658 11.1553 -90 2.75 1
RFQ_CELL 43000 8.88381 0.0198278 1.06748 11.1553 -90 2.75 1
RFQ_CELL 43000 8.87215 0.0203424 1.06911 11.1553 -90 2.75 1
RFQ_CELL 43000 8.8606 0.0208425 1.07069 11.1553 -90 2.75 1
RFQ_CELL 43000 8.84915 0.0213866 1.07241 11.1553 -90 2.75 1
RFQ_CELL 43000 8.83788 0.0219164 1.07408 11.1553 -90 2.75 1
RFQ_CELL 43000 8.82672 0.0224295 1.07569 11.1553 -90 2.75 1
RFQ_CELL 43000 8.81569 0.0229851 1.07744 11.1553 -90 2.75 1
RFQ_CELL 43000 8.80487 0.0235281 1.07915 11.1553 -90 2.75 1
RFQ_CELL 43000 8.79425 0.0241047 1.08097 11.1553 -90 2.75 1
RFQ_CELL 43000 8.7839 0.0246624 1.08273 11.1553 -90 2.75 1
RFQ_CELL 43000 8.77371 0.0252506 1.08459 11.1553 -90 2.75 1
RFQ_CELL 43000 8.76376 0.0258148 1.08636 11.1553 -90 2.75 1
RFQ_CELL 43000 8.75396 0.026409 1.08824 11.1553 -90 2.75 1
RFQ_CELL 43000 8.74438 0.0269794 1.09004 11.1553 -90 2.75 1
RFQ_CELL 43000 8.73488 0.0275788 1.09193 11.1553 -90 2.75 1
RFQ_CELL 43000 8.72552 0.0281519 1.09373 11.1553 -90 2.75 1
RFQ_CELL 43000 8.71621 0.0286993 1.09543 11.1553 -90 2.75 1
RFQ_CELL 43000 8.70696 0.029285 1.09727 11.1553 -90 2.75 1
RFQ_CELL 43000 8.69786 0.0298511 1.09903 11.1553 -90 2.75 1
RFQ_CELL 43000 8.68883 0.0303939 1.10072 11.1553 -90 2.75 1
RFQ_CELL 43000 8.67989 0.0309749 1.10253 11.1553 -90 2.75 1
RFQ_CELL 43000 8.67115 0.0315354 1.10427 11.1553 -90 2.75 1
RFQ_CELL 43000 8.66263 0.0320501 1.10574 11.1553 -90 2.75 1
RFQ_CELL 43000 8.65441 0.0325619 1.107 11.1553 -90 2.75 1
RFQ_CELL 43000 8.64625 0.0330719 1.10814 11.1553 -90 2.75 1
RFQ_CELL 43000 8.63819 0.0335239 1.10901 11.1553 -90 2.75 1
RFQ_CELL 43000 8.63025 0.0339781 1.10986 11.1553 -90 2.75 1
RFQ_CELL 43000 8.62247 0.0344394 1.11072 11.1553 -90 2.75 1
RFQ_CELL 43000 8.61486 0.0348468 1.1114 11.1553 -90 2.75 1
RFQ_CELL 43000 8.6074 0.0352574 1.11211 11.1553 -90 2.75 1
RFQ_CELL 43000 8.60005 0.035675 1.11285 11.1553 -90 2.75 1
RFQ_CELL 43000 8.59284 0.0360328 1.11341 11.1553 -90 2.75 1
RFQ_CELL 43000 8.58569 0.0363945 1.114 11.1553 -90 2.75 1
RFQ_CELL 43000 8.57865 0.0367625 1.11465 11.1553 -90 2.75 1
RFQ_CELL 43000 8.57172 0.0371219 1.11528 11.1553 -90 2.75 1
RFQ_CELL 43000 8.56491 0.0374134 1.11573 11.1553 -90 2.75 1
RFQ_CELL 43000 8.55821 0.0377016 1.11619 11.1553 -90 2.75 1
RFQ_CELL 43000 8.55163 0.0379893 1.11668 11.1553 -90 2.75 1

```

```

***** solénoïde
ERROR_QUAD_NCPL_STAT 10 1 0.1 0.1 0.028 0.028 0.07 1 0
ERROR_QUAD_NCPL_DYN 10 1 0.01 0.01 0.0028 0.0028 0.007 0.1 0
ADJUST 16 5 1 0 0
SUPERPOSE_MAP 0
LBEC-SoJ31 : FIELD_MAP 0070 1200 90 82 0.2 0.2 0 0 sol_long_double_ion1b
ADJUST 16 5 2 0 0
SUPERPOSE_MAP 0
LBEC-SoJ32 : FIELD_MAP 0070 1200 90 82 0.2 0.2 0 0 sol_long_double_ion2b
***** DCCT (placé dans la carte de champ du solénoïde)
;;ACCT enlevé
DRIFT 13 82
SPACE_CHARGE_COMP 0.0
DRIFT 16 82
DRIFT 10 82
***** plaque de fermeture RFQ
DRIFT 10 10
DRIFT 10 10
DRIFT 10 10
DRIFT 5 10
***** faisceau adapté au RFQ
;faisceau adapté pour 1mA, 0.4pi
;DIAG_SIZE 16 36 36
;DIAG_SIZE 16 2.35 2.35
;faisceau adapté pour 1mA, 0.2pi
DIAG_SIZE 16 24.9 24.9 0 2.6
DIAG_SIZE 16 1.69 1.68 0 0.16
DRIFT 1E-8 10
;END
*****
***** RFQ
*****
RFQ_CELL 100000 9.94396 0 1 66.9319 -90 3 7.5 1
RFQ_CELL 100000 9.94396 6.69068e-05 1.00028 11.1553 -90 4 7.5 1
lattice 2
RFQ_CELL 100000 9.94244 0.000125255 1.00052 11.1553 -90 2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 9.93848 0.000206589 1.00086 11.1553 -90 -2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 9.93291 0.000269428 1.00112 11.1553 -90 2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 9.92632 0.000314328 1.00113 11.1553 -90 -2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 9.9191 0.000347596 1.00144 11.1553 -90 2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 9.91145 0.000376226 1.00155 11.1553 -90 -2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 9.90352 0.000442117 1.00182 11.1553 -90 2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 9.89541 0.000497636 1.00205 11.1553 -90 -2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 9.88714 0.000539925 1.00222 11.1553 -90 2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 9.87872 0.00057467 1.00236 11.1553 -90 -2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 9.87019 0.000604967 1.00248 11.1553 -90 2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 9.86156 0.000673783 1.00275 11.1553 -90 -2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 9.85284 0.000734131 1.003 11.1553 -90 2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 9.84403 0.000781421 1.00318 11.1553 -90 -2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 9.83511 0.000820964 1.00334 11.1553 -90 2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 9.8261 0.000898677 1.00365 11.1553 -90 -2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 9.81702 0.000966455 1.00391 11.1553 -90 2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 9.80784 0.00102007 1.00412 11.1553 -90 -2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 9.79856 0.00110703 1.00447 11.1553 -90 2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 9.78921 0.00118191 1.00476 11.1553 -90 -2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 9.77975 0.00124031 1.00499 11.1553 -90 2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 9.7702 0.0012912 1.00518 11.1553 -90 -2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 9.76055 0.00137897 1.00552 11.1553 -90 2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 9.75083 0.00145639 1.00582 11.1553 -90 -2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 9.74101 0.00151956 1.00606 11.1553 -90 2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 9.73109 0.00161787 1.00644 11.1553 -90 -2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 9.7211 0.00170251 1.00676 11.1553 -90 2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 9.711 0.00181423 1.00719 11.1553 -90 -2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 9.70083 0.00190986 1.00755 11.1553 -90 2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 9.69054 0.00198765 1.00784 11.1553 -90 -2 7.5 1

```

```

RFQ_CELL 70000 8.28124 0.0382664 1.11717 11.1553 -88.9237 -2 7.5 1 0 0 0
RFQ_CELL 70000 8.26693 0.0385288 1.11765 11.1553 -90.3866 2 7.5 1 0 0 0
RFQ_CELL 70000 8.25403 0.0387121 1.11719 11.1553 -88.8477 -2 7.5 1 0 0 0
RFQ_CELL 70000 8.24247 0.0388846 1.11815 11.1553 -90.3594 2 7.5 1 0 0 0
RFQ_CELL 70000 8.23235 0.0390512 1.11842 11.1553 -90.3354 -2 7.5 1 0 0 0
RFQ_CELL 70000 8.22367 0.0392038 1.11868 11.1553 -90.2269 2 7.5 1 0 0 0
RFQ_CELL 70000 8.21641 0.0393372 1.11892 11.1553 -89.11 -2 7.5 1 0 0 0
RFQ_CELL 70000 8.21059 0.0394451 1.11911 11.1553 -90.334 2 7.5 1 0 0 0
RFQ_CELL 70000 8.20622 0.0395279 1.11926 11.1553 -89.2671 -2 7.5 1 0 0 0
RFQ_CELL 70000 8.20349 0.0395797 1.11935 11.1553 -90.486 2 7.5 1 0 0 0
RFQ_CELL 70000 8.20189 0.0396105 1.11941 11.1553 -89.4631 -2 7.5 1 0 0 0
RFQ_CELL 70000 8.20093 0.0396289 1.11944 11.1553 -90.6521 2 7.5 1 0 0 0
RFQ_CELL 70000 8.20036 0.0396399 1.11946 11.1553 -89.6588 -2 7.5 1 0 0 0
RFQ_CELL 70000 8.20002 0.0396464 1.11947 11.1553 -90.7962 2 7.5 1 0 0 0
RFQ_CELL 70000 8.19982 0.0396455 1.11947 11.1553 -89.8112 -2 7.5 1 0 0 0
RFQ_CELL 70000 8.1997 0.0396441 1.11946 11.1553 -90.886 2 7.5 1 0 0 0
RFQ_CELL 70000.2 8.19963 0.0396452 1.11946 11.1554 -89.8723 -2 7.5 1 0 0 0
RFQ_CELL 70000.4 8.19958 0.0396475 1.11946 11.1556 -90.8746 2 7.5 1 0 0 0
RFQ_CELL 70000.5 8.19956 0.0396513 1.11946 11.1562 -88.4224 -2 7.5 1 0 0 0
RFQ_CELL 70000.8 8.19954 0.0396574 1.11946 11.1571 -91.0445 2 7.5 1 0 0 0
RFQ_CELL 70001.5 8.19953 0.0396684 1.11947 11.1586 -89.4452 -2 7.5 1 0 0 0
RFQ_CELL 70002.5 8.19953 0.0396848 1.11948 11.1608 -90.8619 2 7.5 1 0 0 0
RFQ_CELL 70003.9 8.19952 0.0397083 1.11949 11.1637 -89.2267 -2 7.5 1 0 0 0
RFQ_CELL 70005.6 8.19952 0.039739 1.11952 11.1676 -90.5823 2 7.5 1 0 0 0
RFQ_CELL 70007.9 8.19952 0.0397787 1.11955 11.1724 -88.8551 -2 7.5 1 0 0 0
RFQ_CELL 70010.9 8.19952 0.0398273 1.11959 11.1784 -90.1472 2 7.5 1 0 0 0
RFQ_CELL 70014.9 8.19952 0.0398864 1.11964 11.1856 -88.3658 -2 7.5 1 0 0 0
RFQ_CELL 70019.5 8.19952 0.0399575 1.1197 11.1942 -89.6034 2 7.5 1 0 0 0
RFQ_CELL 70025.3 8.19952 0.0400419 1.11977 11.2043 -87.7762 -2 7.5 1 0 0 0
RFQ_CELL 70032 8.19952 0.0401408 1.11986 11.2159 -88.9681 2 7.5 1 0 0 0
RFQ_CELL 70039.9 8.19952 0.0401967 1.11978 11.2293 -88.6692 -2 7.5 1 0 0 0
RFQ_CELL 70049.3 8.19952 0.0402837 1.11976 11.2445 -88.1809 2 7.5 1 0 0 0
RFQ_CELL 70059.9 8.19952 0.0404072 1.11982 11.2617 -86.4739 -2 7.5 1 0 0 0
RFQ_CELL 70072.1 8.19952 0.0405598 1.11994 11.2809 -87.4443 2 7.5 1 0 0 0
RFQ_CELL 70085.7 8.19952 0.0407394 1.12009 11.3023 -85.6677 -2 7.5 1 0 0 0
RFQ_CELL 70101.1 8.19952 0.0409469 1.12029 11.326 86.6609 2 7.5 1 0 0 0
RFQ_CELL 70118.3 8.19952 0.0411806 1.12052 11.3521 -84.819 -2 7.5 1 0 0 0
RFQ_CELL 70137.5 8.19952 0.0414407 1.12079 11.3807 -84.1904 2 7.5 1 0 0 0
RFQ_CELL 70158.7 8.19952 0.0416662 1.1209 11.412 -83.8689 -2 7.5 1 0 0 0
RFQ_CELL 70182 8.19952 0.0419352 1.12109 11.4461 -84.9264 2 7.5 1 0 0 0
RFQ_CELL 70207.6 8.19952 0.0422536 1.12138 11.4831 -82.9471 -2 7.5 1 0 0 0
RFQ_CELL 70235.5 8.19952 0.0426155 1.12174 11.5232 -83.9763 2 7.5 1 0 0 0
RFQ_CELL 70265.9 8.19952 0.0430186 1.12217 11.5664 -81.9731 -2 7.5 1 0 0 0
RFQ_CELL 70298.6 8.19952 0.0434619 1.12265 11.613 -82.9563 2 7.5 1 0 0 0
RFQ_CELL 70334 8.19952 0.0438836 1.123 11.6631 -80.4776 -2 7.5 1 0 0 0
RFQ_CELL 70372.3 8.19952 0.0443613 1.12345 11.7168 -81.4405 2 7.5 1 0 0 0
RFQ_CELL 70413.7 8.19952 0.0449013 1.12402 11.7743 -79.4006 -2 7.5 1 0 0 0
RFQ_CELL 70457.9 8.19952 0.0454996 1.12468 11.8357 -80.3691 2 7.5 1 0 0 0
RFQ_CELL 70505 8.19952 0.0461521 1.12542 11.9012 -78.3364 -2 7.5 1 0 0 0
RFQ_CELL 70555.5 8.19952 0.0468599 1.12623 11.971 -79.282 2 7.5 1 0 0 0
RFQ_CELL 70609.2 8.19952 0.0475582 1.12694 12.0453 -77.2271 -2 7.5 1 0 0 0
RFQ_CELL 70666.5 8.19952 0.0483325 1.12777 12.1243 -78.1333 2 7.5 1 0 0 0
RFQ_CELL 70727 8.19952 0.0491889 1.12874 12.2082 -76.0689 -2 7.5 1 0 0 0
RFQ_CELL 70791.1 8.19952 0.0501226 1.12983 12.2972 -76.9212 2 7.5 1 0 0 0
RFQ_CELL 70859.1 8.19952 0.0511332 1.13102 12.3915 -74.8179 -2 7.5 1 0 0 0
RFQ_CELL 70930.7 8.19952 0.0522233 1.13233 12.4914 -75.593 2 7.5 1 0 0 0
RFQ_CELL 71006.4 8.19952 0.053396 1.13374 12.5971 -73.4468 -2 7.5 1 0 0 0
RFQ_CELL 71085.8 8.19952 0.0546544 1.13527 12.7089 -74.1424 2 7.5 1 0 0 0
RFQ_CELL 71169.3 8.19952 0.0560062 1.13692 12.8271 -71.9648 -2 7.5 1 0 0 0
RFQ_CELL 71257.1 8.19952 0.0574558 1.13869 12.952 -72.596 2 7.5 1 0 0 0
RFQ_CELL 71349.1 8.19952 0.0590094 1.1406 13.0839 -70.4038 -2 7.5 1 0 0 0
RFQ_CELL 71445.4 8.19952 0.0606746 1.14265 13.2232 -70.9854 2 7.5 1 0 0 0
RFQ_CELL 71546.3 8.19952 0.0624608 1.14485 13.3703 -68.8047 -2 7.5 1 0 0 0
RFQ_CELL 71651.6 8.19952 0.0643757 1.14721 13.5255 -69.3594 2 7.5 1 0 0 0
RFQ_CELL 71761.4 8.19952 0.0664305 1.14976 13.6893 -67.2156 -2 7.5 1 0 0 0
RFQ_CELL 71875.9 8.19952 0.0686374 1.1525 13.862 -67.5727 2 7.5 1 0 0 0

```

```

RFQ_CELL 43000 8.20349 0.0395797 1.11935 11.1553 -90 2 7.5 1
RFQ_CELL 43000 8.20189 0.0396105 1.11941 11.1553 -90 -2 7.5 1
RFQ_CELL 43000 8.20093 0.0396289 1.11944 11.1553 -90 2 7.5 1
RFQ_CELL 43000 8.20036 0.0396399 1.11946 11.1553 -90 -2 7.5 1
RFQ_CELL 43000 8.20002 0.0396464 1.11947 11.1553 -90 2 7.5 1
RFQ_CELL 43000 8.19982 0.0396455 1.11947 11.1553 -90 -2 7.5 1
RFQ_CELL 43000 8.1997 0.0396441 1.11946 11.1553 -90 2 7.5 1
RFQ_CELL 43000.1 8.19963 0.0396452 1.11946 11.1554 -89.9907 -2 7.5 1
RFQ_CELL 43000.3 8.19958 0.0396475 1.11946 11.1556 -89.9629 2 7.5 1
RFQ_CELL 43000.3 8.19956 0.0396513 1.11946 11.1562 -89.9165 -2 7.5 1
RFQ_CELL 43000.5 8.19954 0.0396574 1.11946 11.1571 -89.8516 2 7.5 1
RFQ_CELL 43000.9 8.19953 0.0396684 1.11947 11.1586 -89.7682 -2 7.5 1
RFQ_CELL 43001.5 8.19953 0.0396848 1.11948 11.1608 -89.6648 2 7.5 1
RFQ_CELL 43002.4 8.19952 0.0397083 1.11949 11.1637 -89.546 -2 7.5 1
RFQ_CELL 43003.4 8.19952 0.039739 1.11952 11.1676 -89.4089 2 7.5 1
RFQ_CELL 43004.8 8.19952 0.0397787 1.11955 11.1724 -89.252 -2 7.5 1
RFQ_CELL 43006.7 8.19952 0.0398273 1.11959 11.1784 -89.0784 2 7.5 1
RFQ_CELL 43009.2 8.19952 0.0398864 1.11964 11.1856 -88.8868 -2 7.5 1
RFQ_CELL 43012 8.19952 0.0399575 1.1197 11.1942 -88.6788 2 7.5 1
RFQ_CELL 43015.5 8.19952 0.0400419 1.11977 11.2043 -88.4532 -2 7.5 1
RFQ_CELL 43019.7 8.19952 0.0401408 1.11986 11.2159 -88.2103 2 7.5 1
RFQ_CELL 43024.5 8.19952 0.0401967 1.11978 11.2293 -87.9487 -2 7.5 1
RFQ_CELL 43030.3 8.19952 0.0402837 1.11976 11.2445 -87.6719 2 7.5 1
RFQ_CELL 43036.8 8.19952 0.0404072 1.11982 11.2617 -87.3777 -2 7.5 1
RFQ_CELL 43044.3 8.19952 0.0405598 1.11994 11.2809 -87.0693 2 7.5 1
RFQ_CELL 43052.7 8.19952 0.0407394 1.12009 11.3023 -86.7456 -2 7.5 1
RFQ_CELL 43062.1 8.19952 0.0409469 1.12029 11.326 86.4086 2 7.5 1
RFQ_CELL 43072.7 8.19952 0.0411806 1.12052 11.3521 -86.0558 -2 7.5 1
RFQ_CELL 43084.5 8.19952 0.0414407 1.12079 11.3807 -85.6878 2 7.5 1
RFQ_CELL 43097.5 8.19952 0.0416662 1.1209 11.412 -85.3026 -2 7.5 1
RFQ_CELL 43111.8 8.19952 0.0419352 1.12109 11.4461 -84.9013 2 7.5 1
RFQ_CELL 43127.5 8.19952 0.0422536 1.12138 11.4831 -84.4916 -2 7.5 1
RFQ_CELL 43144.7 8.19952 0.0426155 1.12174 11.5232 -84.0679 2 7.5 1
RFQ_CELL 43163.3 8.19952 0.0430186 1.12217 11.5664 -83.6337 -2 7.5 1
RFQ_CELL 43183.4 8.19952 0.0434619 1.12265 11.613 -83.1883 2 7.5 1
RFQ_CELL 43205.2 8.19952 0.0438836 1.123 11.6631 -82.7223 -2 7.5 1
RFQ_CELL 43228.7 8.19952 0.0443613 1.12345 11.7168 -82.2456 2 7.5 1
RFQ_CELL 43254.1 8.19952 0.0449013 1.12402 11.7743 -81.7621 -2 7.5 1
RFQ_CELL 43281.3 8.19952 0.0454996 1.12468 11.8357 -81.2708 2 7.5 1
RFQ_CELL 43310.2 8.19952 0.0461521 1.12542 11.9012 -80.768 -2 7.5 1
RFQ_CELL 43341.2 8.19952 0.0468599 1.12623 11.971 -80.2607 2 7.5 1
RFQ_CELL 43374.2 8.19952 0.0475582 1.12694 12.0453 -79.7271 -2 7.5 1
RFQ_CELL 43409.4 8.19952 0.0483325 1.12777 12.1243 -79.189 2 7.5 1
RFQ_CELL 43446.6 8.19952 0.0491889 1.12874 12.2082 -78.6477 -2 7.5 1
RFQ_CELL 43486 8.19952 0.0501226 1.12983 12.2972 -78.1009 2 7.5 1
RFQ_CELL 43527.7 8.19952 0.0511332 1.13102 12.3915 -77.5482 -2 7.5 1
RFQ_CELL 43571.7 8.19952 0.0522233 1.13233 12.4914 -76.9888 2 7.5 1
RFQ_CELL 43618.2 8.19952 0.053396 1.13374 12.5971 -76.4246 -2 7.5 1
RFQ_CELL 43667 8.19952 0.0546544 1.13527 12.7089 -75.8546 2 7.5 1
RFQ_CELL 43718.3 8.19952 0.0560062 1.13692 12.8271 -75.278 -2 7.5 1
RFQ_CELL 43772.2 8.19952 0.0574558 1.13869 12.952 -74.6969 2 7.5 1
RFQ_CELL 43828.7 8.19952 0.0590094 1.1406 13.0839 -74.11 -2 7.5 1
RFQ_CELL 43887.9 8.19952 0.0606746 1.14265 13.2232 -73.519 2 7.5 1
RFQ_CELL 43949.8 8.19952 0.0624608 1.14485 13.3703 -72.9223 -2 7.5 1
RFQ_CELL 44014.5 8.19952 0.0643757 1.14721 13.5255 -72.3215 2 7.5 1
RFQ_CELL 44082 8.19952 0.0664305 1.14976 13.6893 -71.7156 -2 7.5 1
RFQ_CELL 44152.4 8.19952 0.0686374 1.1525 13.862 -71.1072 2 7.5 1
RFQ_CELL 44225.6 8.19952 0.0710065 1.15544 14.0443 -70.4962 -2 7.5 1
RFQ_CELL 44302 8.19952 0.0734667 1.15842 14.2366 -69.8545 2 7.5 1
RFQ_CELL 44381.3 8.19952 0.0761357 1.16168 14.4394 -69.2181 -2 7.5 1
RFQ_CELL 44463.8 8.19952 0.0790354 1.16528 14.6534 -68.5844 2 7.5 1
RFQ_CELL 44549.4 8.19952 0.0821737 1.1662 14.8791 -67.9531 -2 7.5 1
RFQ_CELL 44638.1 8.19952 0.0856532 1.17365 15.1173 -67.3459 2 7.5 1
RFQ_CELL 44730.1 8.19952 0.0893792 1.1784 15.3686 -66.7329 -2 7.5 1
RFQ_CELL 44825.4 8.19952 0.0934633 1.18367 15.6338 -66.1354 2 7.5 1
RFQ_CELL 44923.9 8.19952 0.0978251 1.18928 15.9137 -65.5252 -2 7.5 1

```

RFQ_CELL 100000 9.68014 0.00209774 1.00826 11.1553 -90 2 7.5 1	RFQ_CELL 171995.2 8.19952 0.0710065 1.15544 14.0443 -65.6726 -2 7.5 1 0 0 0	RFQ_CELL 45026 8.19952 0.10249 1.19526 16.2093 -64.9043 2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 9.66967 0.00219441 1.00862 11.1553 -90 -2 7.5 1	RFQ_CELL 72119.5 8.19952 0.0734667 1.15842 14.2366 -66.1902 2 7.5 1 0 0 0	RFQ_CELL 45131.4 8.19952 0.107507 1.2017 16.5214 -64.2756 -2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 9.65991 0.00231662 1.00908 11.1553 -90 2 7.5 1	RFQ_CELL 72248.7 8.19952 0.0761357 1.16168 14.4394 -64.164 -2 7.5 1 0 0 0	RFQ_CELL 45240.2 8.19952 0.11292 1.20866 16.8511 -63.6421 2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 9.64845 0.00242229 1.00948 11.1553 -90 -2 7.5 1	RFQ_CELL 72383 8.19952 0.0790354 1.16528 14.6534 -64.7091 2 7.5 1 0 0 0	RFQ_CELL 45352.4 8.19952 0.118668 1.216 17.1994 -62.9808 -2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 9.63769 0.00250996 1.0098 11.1553 -90 2 7.5 1	RFQ_CELL 72522.3 8.19952 0.0821737 1.1692 14.8791 -62.7507 -2 7.5 1 0 0 0	RFQ_CELL 45468.1 8.19952 0.125026 1.22428 17.5675 -62.3485 2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 9.62684 0.00263044 1.01025 11.1553 -90 -2 7.5 1	RFQ_CELL 72666.7 8.19952 0.0856532 1.17365 15.1173 -63.2913 2 7.5 1 0 0 0	RFQ_CELL 45587.5 8.19952 0.132028 1.23351 17.9566 -61.7421 -2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 9.61592 0.00273617 1.01063 11.1553 -90 2 7.5 1	RFQ_CELL 72816.5 8.19952 0.0893792 1.1784 15.3686 -61.3805 -2 7.5 1 0 0 0	RFQ_CELL 45710.3 8.19952 0.139575 1.2435 18.3681 -61.1231 2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 9.6049 0.00286939 1.01113 11.1553 -90 -2 7.5 1	RFQ_CELL 72971.5 8.19952 0.0934633 1.18367 15.6338 -61.7774 2 7.5 1 0 0 0	RFQ_CELL 45836.7 8.19952 0.147835 1.25456 18.8032 -60.5204 -2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 9.5938 0.0029861 1.01155 11.1553 -90 2 7.5 1	RFQ_CELL 73132 8.19952 0.0978251 1.18928 15.9137 -59.9874 -2 7.5 1 0 0 0	RFQ_CELL 45966.6 8.19952 0.156752 1.26656 19.2636 -59.9046 2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 9.58261 0.00312838 1.01208 11.1553 -90 -2 7.5 1	RFQ_CELL 73298.1 8.19952 0.10249 1.19526 16.2093 -60.2989 2 7.5 1 0 0 0	RFQ_CELL 46100.2 8.19952 0.166403 1.27966 19.7509 -59.2788 -2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 9.57135 0.00325125 1.01252 11.1553 -90 2 7.5 1	RFQ_CELL 73469.7 8.19952 0.107507 1.2017 16.5214 -58.5347 -2 7.5 1 0 0 0	RFQ_CELL 46237.3 8.19952 0.176884 1.29404 20.2667 -58.6499 2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 9.55998 0.0033992 1.01306 11.1553 -90 -2 7.5 1	RFQ_CELL 73646.8 8.19952 0.11292 1.20866 16.8511 -58.7836 2 7.5 1 0 0 0	RFQ_CELL 46378 8.19952 0.188528 1.31034 20.8128 -58.0643 -2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 9.54855 0.00352752 1.01353 11.1553 -90 2 7.5 1	RFQ_CELL 73829.4 8.19952 0.118668 1.216 17.1994 -57.0346 -2 7.5 1 0 0 0	RFQ_CELL 46522.3 8.19952 0.201139 1.32823 21.3912 -57.4648 2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 9.53702 0.00368102 1.01408 11.1553 -90 -2 7.5 1	RFQ_CELL 74017.9 8.19952 0.125026 1.22428 17.5675 -57.235 2 7.5 1 0 0 0	RFQ_CELL 46670.2 8.19952 0.2147 1.3477 22.0039 -56.8322 -2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 9.52543 0.00385925 1.01473 11.1553 -90 2 7.5 1	RFQ_CELL 74212.2 8.19952 0.132028 1.23351 17.9566 -55.5735 -2 7.5 1 0 0 0	RFQ_CELL 46821.7 8.19952 0.229764 1.36989 22.6532 -56.2456 2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 9.51376 0.00400947 1.01527 11.1553 -90 -2 7.5 1	RFQ_CELL 74412.2 8.19952 0.139575 1.2435 18.3681 -55.6543 2 7.5 1 0 0 0	RFQ_CELL 46976.5 8.19952 0.24641 1.39505 23.3412 -55.6898 -2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 9.502 0.00417915 1.01588 11.1553 -90 2 7.5 1	RFQ_CELL 74617.9 8.19952 0.147835 1.25456 18.8032 -54.0071 -2 7.5 1 0 0 0	RFQ_CELL 47134.9 8.19952 0.264456 1.42297 24.0705 -55.1154 2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 9.49017 0.00432652 1.0164 11.1553 -90 -2 7.5 1	RFQ_CELL 74829.4 8.19952 0.156752 1.26656 19.2636 -53.9995 2 7.5 1 0 0 0	RFQ_CELL 47296.6 8.19952 0.284093 1.45424 24.8437 -54.5282 -2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 9.47825 0.00449681 1.01701 11.1553 -90 2 7.5 1	RFQ_CELL 75046.8 8.19952 0.166403 1.27966 19.7509 -52.3776 -2 7.5 1 0 0 0	RFQ_CELL 47461.6 8.19952 0.30542 1.48931 25.6634 -53.924 2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 9.46626 0.00469174 1.0177 11.1553 -90 -2 7.5 1	RFQ_CELL 75270.1 8.19952 0.176884 1.29404 20.2667 -52.3084 2 7.5 1 0 0 0	RFQ_CELL 47629.9 8.19952 0.328951 1.52963 26.5324 -53.3473 -2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 9.45421 0.00485841 1.01829 11.1553 -90 2 7.5 1	RFQ_CELL 75499.1 8.19952 0.188528 1.31034 20.8128 -50.8022 -2 7.5 1 0 0 0	RFQ_CELL 47801.4 8.19952 0.35475 1.57591 27.4539 -52.78 2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 9.44208 0.00504488 1.01895 11.1553 -90 -2 7.5 1	RFQ_CELL 75734 8.19952 0.201139 1.32823 21.3912 -50.6776 2 7.5 1 0 0 0	RFQ_CELL 47975.9 8.19952 0.382805 1.62888 28.4308 -52.1937 -2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 9.42988 0.00520884 1.01952 11.1553 -90 2 7.5 1	RFQ_CELL 75974.8 8.19952 0.2147 1.3477 22.0039 -49.1817 -2 7.5 1 0 0 0	RFQ_CELL 48153.5 8.19952 0.413622 1.69078 29.4666 -51.6236 2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 9.4176 0.00539618 1.02017 11.1553 -90 -2 7.5 1	RFQ_CELL 76221.3 8.19952 0.229764 1.36989 22.6532 -49.0581 2 7.5 1 0 0 0	RFQ_CELL 48334 8.19952 0.447551 1.7641 30.5644 -51.078 -2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 9.40526 0.00560852 1.02091 11.1553 -90 2 7.5 1	RFQ_CELL 76473.4 8.19952 0.24641 1.39505 23.3412 -47.7177 -2 7.5 1 0 0 0	RFQ_CELL 48521.9 8.19952 0.484475 1.85089 31.7279 -50.5202 2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 9.39288 0.00579231 1.02155 11.1553 -90 -2 7.5 1	RFQ_CELL 76731.2 8.19952 0.264456 1.42297 24.0705 -47.5154 2 7.5 1 0 0 0	RFQ_CELL 48647.7 8.19952 0.509571 1.91006 32.9618 -48.3928 -2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 9.38041 0.0059962 1.02225 11.1553 -90 2 7.5 1	RFQ_CELL 76994.4 8.19952 0.284093 1.45424 24.8437 -46.1937 -2 7.5 1 0 0 0	RFQ_CELL 48722.6 8.19952 0.525338 1.94532 34.1711 -49.1459 2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 9.36789 0.00622325 1.02304 11.1553 -90 -2 7.5 1	RFQ_CELL 77263.1 8.19952 0.30542 1.48931 25.6634 -45.9576 2 7.5 1 0 0 0	RFQ_CELL 48767.3 8.19952 0.535741 1.96634 35.3556 -49.4498 -2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 9.35532 0.00646508 1.02388 11.1553 -90 2 7.5 1	RFQ_CELL 77537.1 8.19952 0.328951 1.52963 26.5324 -44.7413 -2 7.5 1 0 0 0	RFQ_CELL 48793.9 8.19952 0.542938 1.97886 36.5147 -49.5675 2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 9.3427 0.00667278 1.02459 11.1553 -90 -2 7.5 1	RFQ_CELL 77816.2 8.19952 0.35475 1.57591 27.4539 -44.4946 2 7.5 1 0 0 0	RFQ_CELL 48809.7 8.19952 0.548164 1.98633 37.6501 -49.5206 -2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 9.33001 0.00689806 1.02536 11.1553 -90 2 7.5 1	RFQ_CELL 78100.4 8.19952 0.382805 1.62888 28.4308 -43.2725 -2 7.5 1 0 0 0	RFQ_CELL 48819.2 8.19952 0.552142 1.99078 38.7635 -49.3813 2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 9.31727 0.00714516 1.0262 11.1553 -90 -2 7.5 1	RFQ_CELL 78389.4 8.19952 0.413622 1.69078 29.4666 -42.8416 2 7.5 1 0 0 0	RFQ_CELL 48824.8 8.19952 0.555305 1.99343 39.8555 -49.2151 -2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 9.3045 0.0074062 1.02709 11.1553 -90 2 7.5 1	RFQ_CELL 78683.2 8.19952 0.447551 1.7641 30.5644 -41.6915 2 7.5 1 0 0 0	RFQ_CELL 48828.2 8.19952 0.557912 1.99501 40.9255 -49.1169 2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 9.29169 0.00767758 1.02802 11.1553 -90 -2 7.5 1	RFQ_CELL 78989.2 8.19952 0.484475 1.85089 31.7279 -41.2473 2 7.5 1 0 0 0	RFQ_CELL 48830.2 8.19952 0.56013 1.99595 41.9746 -49.0049 -2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 9.27884 0.00791202 1.02881 11.1553 -90 2 7.5 1	RFQ_CELL 79193.9 8.19952 0.509571 1.91006 32.9618 -38.544 -2 7.5 1 0 0 0	RFQ_CELL 48831.4 8.19952 0.562064 1.99652 43.004 -48.889 2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 9.26592 0.00816143 1.02964 11.1553 -90 -2 7.5 1	RFQ_CELL 79315.9 8.19952 0.525338 1.94532 34.1711 -36.8161 2 7.5 1 0 0 0	RFQ_CELL 48832.1 8.19952 0.56378 1.99685 44.0144 -48.7833 -2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 9.25298 0.00843241 1.03055 11.1553 -90 2 7.5 1	RFQ_CELL 79388.6 8.19952 0.535741 1.96634 35.3556 -35.2858 -2 7.5 1 0 0 0	RFQ_CELL 48832.5 8.19952 0.565326 1.99705 45.007 -48.6675 2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 9.24002 0.00871752 1.03151 11.1553 -90 -2 7.5 1	RFQ_CELL 79431.9 8.19952 0.542938 1.97886 36.5147 -34.7491 2 7.5 1 0 0 0	RFQ_CELL 48832.8 8.19952 0.566732 1.99717 45.9819 -48.5945 -2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 9.22703 0.00901459 1.03251 11.1553 -90 2 7.5 1	RFQ_CELL 79457.7 8.19952 0.548164 1.98633 37.6501 -33.1315 -2 7.5 1 0 0 0	RFQ_CELL 48832.9 8.19952 0.56802 1.99724 46.9399 -48.5342 2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 9.21402 0.00932009 1.03353 11.1553 -90 -2 7.5 1	RFQ_CELL 79473.1 8.19952 0.552142 1.99078 38.7635 -33.3597 2 7.5 1 0 0 0	RFQ_CELL 48833 8.19952 0.569208 1.99728 47.8818 -48.4668 -2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 9.20099 0.0096327 1.03458 11.1553 -90 2 7.5 1	RFQ_CELL 79482.3 8.19952 0.555305 1.99343 39.8555 -33.3721 -2 7.5 1 0 0 0	RFQ_CELL 48833.1 8.19952 0.570308 1.99731 48.8085 -48.3955 2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 9.18793 0.00995045 1.03563 11.1553 -90 -2 7.5 1	RFQ_CELL 79487.8 8.19952 0.557912 1.99501 40.9255 -34.2358 2 7.5 1 0 0 0	RFQ_CELL 48833.1 8.19952 0.571331 1.99732 49.7209 -48.3195 -2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 9.17487 0.0102763 1.03671 11.1553 -90 2 7.5 1	RFQ_CELL 79491 8.19952 0.56013 1.99595 41.9746 -36.6269 -2 7.5 1 0 0 0	RFQ_CELL 48833.1 8.19952 0.572285 1.99733 50.6192 -48.2678 2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 9.1618 0.0106072 1.03781 11.1553 -90 -2 7.5 1	RFQ_CELL 79493 8.19952 0.562064 1.99652 43.004 -34.9026 2 7.5 1 0 0 0	RFQ_CELL 48833.1 8.19952 0.573177 1.99734 51.5038 -48.2325 2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 9.14872 0.0108961 1.03875 11.1553 -90 2 7.5 1	RFQ_CELL 79494.1 8.19952 0.56378 1.99685 44.0144 -35.333 -2 7.5 1 0 0 0	RFQ_CELL 48833.1 8.19952 0.574013 1.99734 52.3753 -48.1936 2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 9.13562 0.0111996 1.03973 11.1553 -90 -2 7.5 1	RFQ_CELL 79494.8 8.19952 0.565326 1.99705 45.007 -36.0175 2 7.5 1 0 0 0	RFQ_CELL 48833.1 8.19952 0.574798 1.99734 53.2343 -48.1524 -2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 9.12252 0.0115237 1.04078 11.1553 -90 2 7.5 1	RFQ_CELL 79495.2 8.19952 0.566732 1.99717 45.9819 -36.9377 -2 7.5 1 0 0 0	RFQ_CELL 48833.2 8.19952 0.575537 1.99734 54.0815 -48.1081 2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 9.10944 0.0118641 1.04189 11.1553 -90 -2 7.5 1	RFQ_CELL 79495.5 8.19952 0.56802 1.99724 46.9399 -38.1766 2 7.5 1 0 0 0	RFQ_CELL 48833.2 8.19952 0.576234 1.99734 54.9723 -48.0625 -2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 9.09638 0.0122642 1.04321 11.1553 -90 2 7.5 1	RFQ_CELL 79495.6 8.19952 0.569208 1.99728 47.8818 -38.1247 -2 7.5 1 0 0 0	RFQ_CELL 48833.2 8.19952 0.576892 1.99734 55.7422 -48.0136 2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 9.08335 0.0126634 1.04452 11.1553 -90 -2 7.5 1	RFQ_CELL 79495.7 8.19952 0.570308 1.99731 48.8085 -39.0169 2 7.5 1 0 0 0	RFQ_CELL 48833.2 8.19952 0.577514 1.99734 56.5567 -47.9645 -2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 9.07035 0.0130547 1.04579 11.1553 -90 2 7.5 1	RFQ_CELL 79495.8 8.19952 0.571331 1.99732 49.7209 -38.7018 -2 7.5 1 0 0 0	RFQ_CELL 48833.2 8.19952 0.578104 1.99734 57.3612 -47.9135 2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 9.05736 0.0134437 1.04705 11.1553 -90 -2 7.5 1	RFQ_CELL 79495.8 8.19952 0.572285 1.99733 50.6192 -39.2326 2 7.5 1 0 0 0	RFQ_CELL 48833.2 8.19952 0.578663 1.99734 58.1557 -47.8877 -2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 9.0444 0.0138339 1.04831 11.1553 -90 2 7.5 1	RFQ_CELL 79495.8 8.19952 0.573177 1.99734 51.5038 -38.6387 -2 7.5 1 0 0 0	RFQ_CELL 48833.2 8.19952 0.579194 1.99734 58.9405 -47.8616 2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 9.03149 0.0142272 1.04957 11.1553 -90 -2 7.5 1	RFQ_CELL 79495.8 8.19952 0.574013 1.99734 52.3753 -38.8401 2 7.5 1 0 0 0	RFQ_CELL 48833.2 8.19952 0.579698 1.99734 59.7161 -47.8333 -2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 9.01869 0.0146248 1.05085 11.1553 -90 2 7.5 1	RFQ_CELL 79495.8 8.19952 0.574798 1.99734 53.2343 -37.9821 -2 7.5 1 0 0 0	RFQ_CELL 48833.2 8.19952 0.580179 1.99734 60.4828 -47.8046 2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 9.00599 0.0150273 1.05214 11.1553 -90 -2 7.5 1	RFQ_CELL 79495.8 8.19952 0.575537 1.99734 54.0815 -37.9256 2 7.5 1 0 0 0	RFQ_CELL 48833.2 8.19952 0.580637 1.99734 61.2409 -47.7743 -2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 8.99336 0.0154837 1.05361 11.1553 -90 2 7.5 1	RFQ_CELL 79495.8 8.19952 0.576234 1.99734 54.9173 -36.8771 -2 7.5 1 0 0 0	RFQ_CELL 48833.2 8.19952 0.581074 1.99734 61.9906 -47.7432 2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 8.98086 0.015936 1.05506 11.1553 -90 -2 7.5 1	RFQ_CELL 79495.8 8.19952 0.576892 1.99734 55.7422 -36.6784 2 7.5 1 0 0 0	RFQ_CELL 48833.2 8.19952 0.581491 1.99734 62.7322 -47.7237 -2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 8.96842 0.0163787 1.05648 11.1553 -90 2 7.5 1	RFQ_CELL 79495.8 8.19952 0.577514 1.99734 56.5567 -35.5232 -2 7.5 1 0 0 0	RFQ_CELL 48833.2 8.19952 0.581889 1.99734 63.4657 -47.7101 2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 8.95605 0.0168671 1.05805 11.1553 -90 -2 7.5 1	RFQ_CELL 79495.8 8.19952 0.578104 1.99734 57.3612 -34.4593 2 7.5 1 0 0 0	RFQ_CELL 48833.2 8.19952 0.582271 1.99734 64.1916 -47.6953 -2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 8.94379 0.0173446 1.05958 11.1553 -90 2 7.5 1	RFQ_CELL 79495.8 8.19952 0.578663 1.99734 58.1557 -34.1365 -2 7.5 1 0 0 0	RFQ_CELL 48833.2 8.19952 0.582636 1.99734 64.9099 -47.6798 2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 8.9316 0.0178097 1.06106 11.1553 -90 -2 7.5 1	RFQ_CELL 79495.8 8.19952 0.579194 1.99734 58.9405 -33.3134 2	

```

RFQ_CELL 100000 8.87215 0.0203424 1.06911 11.1553 -90 2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 8.8606 0.0208425 1.07069 11.1553 -90 -2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 8.84915 0.0213866 1.07241 11.1553 -90 2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 8.83788 0.0219164 1.07408 11.1553 -90 -2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 8.82672 0.0224295 1.07569 11.1553 -90 2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 8.81569 0.0229851 1.07744 11.1553 -90 -2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 8.80487 0.0235281 1.07915 11.1553 -90 2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 8.79425 0.0241047 1.08097 11.1553 -90 -2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 8.7839 0.0246624 1.08273 11.1553 -90 2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 8.77371 0.0252506 1.08459 11.1553 -90 -2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 8.76376 0.0258148 1.08636 11.1553 -90 2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 8.75396 0.026409 1.08824 11.1553 -90 -2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 8.74438 0.0269794 1.09004 11.1553 -90 2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 8.73488 0.0275788 1.09193 11.1553 -90 -2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 8.72552 0.0281519 1.09373 11.1553 -90 2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 8.71621 0.0286993 1.09543 11.1553 -90 -2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 8.70696 0.029285 1.09727 11.1553 -90 2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 8.69786 0.0298511 1.09903 11.1553 -90 -2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 8.68883 0.0303939 1.10072 11.1553 -90 2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 8.67989 0.0309749 1.10253 11.1553 -90 -2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 8.67115 0.0315354 1.10427 11.1553 -90 2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 8.66263 0.0320501 1.10574 11.1553 -90 -2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 8.65433 0.0325619 1.107 11.1553 -90 2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 8.64618 0.0330719 1.10814 11.1553 -90 -2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 8.63815 0.0335239 1.10901 11.1553 -90 2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 8.63024 0.0339781 1.10986 11.1553 -90 -2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 8.62244 0.0344394 1.11072 11.1553 -90 2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 8.61476 0.0348468 1.1114 11.1553 -90 -2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 8.60721 0.0352574 1.11211 11.1553 -90 2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 8.59977 0.035675 1.11285 11.1553 -90 -2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 8.59244 0.0360328 1.11341 11.1553 -90 2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 8.58521 0.0363945 1.114 11.1553 -90 -2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 8.57808 0.0367625 1.11465 11.1553 -90 2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 8.57105 0.0371219 1.11528 11.1553 -90 -2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 8.56412 0.0374134 1.11573 11.1553 -90 2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 8.55729 0.0377016 1.11619 11.1553 -90 -2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 8.55055 0.0379893 1.11668 11.1553 -90 2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 8.54391 0.0382664 1.11717 11.1553 -90 -2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 8.53736 0.0385288 1.11765 11.1553 -90 2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 8.5309 0.0387121 1.1179 11.1553 -90 -2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 8.52452 0.0388846 1.11815 11.1553 -90 2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 8.51823 0.0390512 1.11842 11.1553 -90 -2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 8.51203 0.0392038 1.11868 11.1553 -90 2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 8.50592 0.0393372 1.11892 11.1553 -90 -2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 8.50000 0.0394451 1.11911 11.1553 -90 2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 8.49427 0.0395279 1.11926 11.1553 -90 -2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 8.48872 0.0395797 1.11935 11.1553 -90 2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 8.48335 0.0396105 1.11941 11.1553 -90 -2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 8.47816 0.0396289 1.11944 11.1553 -90 2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 8.47313 0.0396399 1.11946 11.1553 -90 -2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 8.46825 0.0396464 1.11947 11.1553 -90 2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 8.46355 0.0396455 1.11947 11.1553 -90 -2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 8.45903 0.0396441 1.11946 11.1553 -90 2 7.5 1
RFQ_CELL 100000 8.45466 0.0396452 1.11946 11.1554 -89.9881 -2 7.5 1
RFQ_CELL 100001 8.45043 0.0396475 1.11946 11.1556 -89.9525 2 7.5 1
RFQ_CELL 100001 8.44633 0.0396513 1.11946 11.1562 -89.8931 -2 7.5 1
RFQ_CELL 100001 8.44236 0.0396574 1.11946 11.1571 -89.81 2 7.5 1
RFQ_CELL 100002 8.43852 0.0396684 1.11947 11.1586 -89.7032 -2 7.5 1
RFQ_CELL 100004 8.43485 0.0396848 1.11948 11.1608 -89.5707 2 7.5 1
RFQ_CELL 100006 8.43135 0.0397083 1.11949 11.1637 -89.4186 -2 7.5 1
RFQ_CELL 100008 8.42805 0.039739 1.11952 11.1676 -89.243 2 7.5 1
RFQ_CELL 100011 8.42495 0.0397787 1.11955 11.1724 -89.042 -2 7.5 1
RFQ_CELL 100016 8.42207 0.0398273 1.11959 11.1784 -88.8196 2 7.5 1
RFQ_CELL 100021 8.41932 0.0398864 1.11964 11.1856 -88.5742 -2 7.5 1
RFQ_CELL 100028 8.41675 0.0399575 1.1197 11.1942 -88.3079 2 7.5 1
RFQ_CELL 100036 8.41435 0.0400419 1.11977 11.2043 -88.0189 -2 7.5 1

```

```

RFQ_CELL 79495.8 8.19952 0.581491 1.99734 62.7322 -31.114 -2 7.5 1 0 0 0
RFQ_CELL 79495.8 8.19952 0.581889 1.99734 63.4657 -31.1566 2 7.5 1 0 0 0
RFQ_CELL 79495.8 8.19952 0.582271 1.99734 64.1916 -30.8165 -2 7.5 1 0 0 0
RFQ_CELL 79495.8 8.19952 0.582636 1.99734 64.9099 -33.4887 2 7.5 1 0 0 0
RFQ_CELL 79495.8 8.19952 0.582986 1.99734 65.621 -30.8577 -2 7.5 1 0 0 0
RFQ_CELL 79495.8 8.19952 0.583322 1.99734 66.325 -31.1059 2 7.5 1 0 0 0
LATTICE_END
RFQ_CELL 79495.8 8.19952 0.883512 1.99734 67.0223 -31.1059 -4 7.5 1 0 0 0
RFQ_CELL 79495.8 8.19952 0 1 40 -90 -3 7.5 1 0 0 0
;***** plaque de fermeture RFQ
DRIFT 10 10
DRIFT 10 10
DRIFT 10 10
DRIFT 5 10
end

```

### Fichier \*.cal utilisé pour les deutons

```

Diagnostic_0
0.141188
Diagnostic_1
0 0
Diagnostic_2
-0.528935 0.796187
Diagnostic_3
-0.503869 0.754785 -0.503864
Diagnostic_6
0 0 0
Diagnostic_14
-0.314029 0.733509 -0.849697 0.63618
Diagnostic_15
0 0 0 0
Diagnostic_16
0.137934 0.19288

```

```

Diagnostic_0_PARTRAN
0.138623
Diagnostic_1_PARTRAN
-5.39311e-07 -7.70073e-09
Diagnostic_2_PARTRAN
-0.470406 0.739023
Diagnostic_3_PARTRAN
-0.464841 0.729416 -0.46484
Diagnostic_6_PARTRAN
1.33054e-05 3.71873e-06 -1.03581e-05
Diagnostic_14_PARTRAN
-0.0922607 0.528903 -0.770297 0.559424
Diagnostic_15_PARTRAN
5.87119e-05 8.46567e-05 -3.03844e-05 -7.93103e-05
Diagnostic_16_PARTRAN
-0.0519727 0.286036

```

```

;***** plaque de fermeture RFQ
DRIFT 10 10
DRIFT 10 10
DRIFT 10 10
DRIFT 5 10
end

```

### Fichier \*.cal utilisé pour les protons

```

Diagnostic_0
0.0726778
Diagnostic_1
0 0
Diagnostic_2
-0.274132 0.409242
Init_Diagnostic_3
-0.274132 0.409242 -0.274132
Diagnostic_3
-0.281514 0.395625 -0.281514
Diagnostic_6
0 0 0
Diagnostic_14
-0.133182 0.243693 -0.383318 0.356255
Diagnostic_15
0 0 0 0
Diagnostic_16
0.0369674 0.120891

```

```

Diagnostic_0_PARTRAN
0.0701779
Diagnostic_1_PARTRAN
3.08257e-07 0
Diagnostic_2_PARTRAN
-0.241913 0.375068
Init_Diagnostic_3_PARTRAN
-0.241913 0.375068 -0.241913
Diagnostic_3_PARTRAN
-0.242394 0.371317 -0.242394
Diagnostic_6_PARTRAN
-4.93904e-07 -1.33032e-06 -1.44134e-06
Diagnostic_14_PARTRAN
0.0384229 0.167354 -0.380844 0.326602
Diagnostic_15_PARTRAN
5.73342e-06 2.38668e-05 -9.94125e-06 -3.1794e-05
Diagnostic_16_PARTRAN
-0.0397485 0.141928

```

RFQ_CELL 100046 8.19952 0.0401408 1.11986 11.2159 -87.7077 2 7.5 1		
RFQ_CELL 100057 8.19952 0.0401967 1.11978 11.2293 -87.3726 -2 7.5 1		
RFQ_CELL 100070 8.19952 0.0402837 1.11976 11.2445 -87.0179 2 7.5 1		
RFQ_CELL 100086 8.19952 0.0404072 1.11982 11.2617 -86.6409 -2 7.5 1		
RFQ_CELL 100103 8.19952 0.0405598 1.11994 11.2809 -86.2457 2 7.5 1		
RFQ_CELL 100122 8.19952 0.0407394 1.12009 11.3023 -85.8307 -2 7.5 1		
RFQ_CELL 100144 8.19952 0.0409469 1.12029 11.326 -85.3986 2 7.5 1		
RFQ_CELL 100169 8.19952 0.0411806 1.12052 11.3521 -84.9462 -2 7.5 1		
RFQ_CELL 100196 8.19952 0.0414407 1.12079 11.3807 -84.4741 2 7.5 1		
RFQ_CELL 100227 8.19952 0.0416662 1.1209 11.412 -83.9798 -2 7.5 1		
RFQ_CELL 100260 8.19952 0.0419352 1.12109 11.4461 -83.4647 2 7.5 1		
RFQ_CELL 100297 8.19952 0.0422536 1.12138 11.4831 -82.9385 -2 7.5 1		
RFQ_CELL 100336 8.19952 0.0426155 1.12174 11.5232 -82.3941 2 7.5 1		
RFQ_CELL 100380 8.19952 0.0430186 1.12217 11.5664 -81.8359 -2 7.5 1		
RFQ_CELL 100427 8.19952 0.0434619 1.12265 11.613 -81.263 2 7.5 1		
RFQ_CELL 100477 8.19952 0.0438836 1.123 11.6631 -80.6633 -2 7.5 1		
RFQ_CELL 100532 8.19952 0.0443613 1.12345 11.7168 -80.0494 2 7.5 1		
RFQ_CELL 100591 8.19952 0.0449013 1.12402 11.7743 -79.4262 -2 7.5 1		
RFQ_CELL 100654 8.19952 0.0454996 1.12468 11.8357 -78.7926 2 7.5 1		
RFQ_CELL 100721 8.19952 0.0461521 1.12542 11.9012 -78.1434 -2 7.5 1		
RFQ_CELL 100794 8.19952 0.0468599 1.12623 11.971 -77.4878 2 7.5 1		
RFQ_CELL 100870 8.19952 0.0475582 1.12694 12.0453 -76.7975 -2 7.5 1		
RFQ_CELL 100952 8.19952 0.0483325 1.12777 12.1243 -76.1006 2 7.5 1		
RFQ_CELL 101039 8.19952 0.0491889 1.12874 12.2082 -75.3987 -2 7.5 1		
RFQ_CELL 101130 8.19952 0.0501226 1.12983 12.2972 -74.6887 2 7.5 1		
RFQ_CELL 101227 8.19952 0.0511332 1.13102 12.3915 -73.9702 -2 7.5 1		
RFQ_CELL 101330 8.19952 0.0522233 1.13233 12.4914 -73.2417 2 7.5 1		
RFQ_CELL 101438 8.19952 0.053396 1.13374 12.5971 -72.5059 -2 7.5 1		
RFQ_CELL 101551 8.19952 0.0546544 1.13527 12.7089 -71.7613 2 7.5 1		
RFQ_CELL 101670 8.19952 0.0560062 1.13692 12.8271 -71.0066 -2 7.5 1		
RFQ_CELL 101796 8.19952 0.0574558 1.13869 12.952 -70.2447 2 7.5 1		
RFQ_CELL 101927 8.19952 0.0590094 1.1406 13.0839 -69.4736 -2 7.5 1		
RFQ_CELL 102065 8.19952 0.0606746 1.14265 13.2232 -68.6954 2 7.5 1		
RFQ_CELL 102209 8.19952 0.0624608 1.14485 13.3703 -67.908 -2 7.5 1		
RFQ_CELL 102359 8.19952 0.0643757 1.14721 13.5255 -67.1132 2 7.5 1		
RFQ_CELL 102516 8.19952 0.0664305 1.14976 13.6893 -66.3096 -2 7.5 1		
RFQ_CELL 102680 8.19952 0.0686374 1.1525 13.862 -65.5007 2 7.5 1		
RFQ_CELL 102850 8.19952 0.0710065 1.15544 14.0443 -64.6858 -2 7.5 1		
RFQ_CELL 103028 8.19952 0.0734667 1.15842 14.2366 -63.8276 2 7.5 1		
RFQ_CELL 103212 8.19952 0.0761357 1.16168 14.4394 -62.9736 -2 7.5 1		
RFQ_CELL 103404 8.19952 0.0790354 1.16528 14.6534 -62.1204 2 7.5 1		
RFQ_CELL 103603 8.19952 0.0821737 1.1692 14.8791 -61.2673 -2 7.5 1		
RFQ_CELL 103810 8.19952 0.0856532 1.17365 15.1173 -60.4439 2 7.5 1		
RFQ_CELL 104024 8.19952 0.0893792 1.1784 15.3686 -59.6094 -2 7.5 1		
RFQ_CELL 104245 8.19952 0.0934633 1.18367 15.6338 -58.7929 2 7.5 1		
RFQ_CELL 104474 8.19952 0.0978251 1.18928 15.9137 -57.9562 -2 7.5 1		
RFQ_CELL 104712 8.19952 0.10249 1.19526 16.2093 -57.0998 2 7.5 1		
RFQ_CELL 104957 8.19952 0.107507 1.2017 16.5214 -56.2294 -2 7.5 1		
RFQ_CELL 105210 8.19952 0.11292 1.20866 16.8511 -55.3479 2 7.5 1		
RFQ_CELL 105471 8.19952 0.118668 1.216 17.1994 -54.4228 -2 7.5 1		
RFQ_CELL 105740 8.19952 0.125026 1.22428 17.5675 -53.5334 2 7.5 1		
RFQ_CELL 106017 8.19952 0.132028 1.23351 17.9566 -52.6755 -2 7.5 1		
RFQ_CELL 106303 8.19952 0.139575 1.2435 18.3681 -51.7949 2 7.5 1		
RFQ_CELL 106597 8.19952 0.147835 1.25456 18.8032 -50.9321 -2 7.5 1		
RFQ_CELL 106899 8.19952 0.156752 1.26656 19.2636 -50.045 2 7.5 1		
RFQ_CELL 107210 8.19952 0.166403 1.27966 19.7509 -49.1372 -2 7.5 1		
RFQ_CELL 107529 8.19952 0.176884 1.29404 20.2667 -48.2182 2 7.5 1		
RFQ_CELL 107856 8.19952 0.188528 1.31034 20.8128 -47.3562 -2 7.5 1		
RFQ_CELL 108191 8.19952 0.201139 1.32823 21.3912 -46.4669 2 7.5 1		
RFQ_CELL 108535 8.19952 0.2147 1.3477 22.0039 -45.5207 -2 7.5 1		
RFQ_CELL 108888 8.19952 0.229764 1.36989 22.6532 -44.6355 2 7.5 1		
RFQ_CELL 109248 8.19952 0.24641 1.39505 23.3412 -43.7895 -2 7.5 1		
RFQ_CELL 109616 8.19952 0.264456 1.42297 24.0705 -42.9074 2 7.5 1		
RFQ_CELL 109992 8.19952 0.284093 1.45424 24.8437 -41.9968 -2 7.5 1		
RFQ_CELL 110376 8.19952 0.30542 1.48931 25.6634 -41.0498 2 7.5 1		
RFQ_CELL 110767 8.19952 0.328951 1.52963 26.5324 -40.1356 -2 7.5 1		

```

RFQ_CELL 111166 8.19952 0.35475 1.57591 27.4539 -39.2262 2 7.5 1
RFQ_CELL 111572 8.19952 0.382805 1.62888 28.4308 -38.2748 -2 7.5 1
RFQ_CELL 111985 8.19952 0.413622 1.69078 29.4666 -37.3372 2 7.5 1
RFQ_CELL 112405 8.19952 0.447551 1.7641 30.5644 -36.428 -2 7.5 1
RFQ_CELL 112842 8.19952 0.484475 1.85089 31.7279 -35.4852 2 7.5 1
RFQ_CELL 113134 8.19952 0.509571 1.91006 32.9618 -31.745 -2 7.5 1
RFQ_CELL 113308 8.19952 0.525338 1.94532 34.1711 -33.0978 2 7.5 1
RFQ_CELL 113412 8.19952 0.535741 1.96634 35.3556 -33.6343 -2 7.5 1
RFQ_CELL 113474 8.19952 0.542938 1.97886 36.5147 -33.8407 2 7.5 1
RFQ_CELL 113511 8.19952 0.548164 1.98633 37.6501 -33.7586 -2 7.5 1
RFQ_CELL 113533 8.19952 0.552142 1.99078 38.7635 -33.5138 2 7.5 1
RFQ_CELL 113546 8.19952 0.555305 1.99343 39.8555 -33.2205 -2 7.5 1
RFQ_CELL 113554 8.19952 0.557912 1.99501 40.9255 -33.0463 2 7.5 1
RFQ_CELL 113559 8.19952 0.56013 1.99595 41.9746 -32.8473 -2 7.5 1
RFQ_CELL 113561 8.19952 0.562064 1.99652 43.004 -32.6403 2 7.5 1
RFQ_CELL 113563 8.19952 0.56378 1.99685 44.0144 -32.4508 -2 7.5 1
RFQ_CELL 113564 8.19952 0.565326 1.99705 45.007 -32.2425 2 7.5 1
RFQ_CELL 113565 8.19952 0.566732 1.99717 45.9819 -32.1108 -2 7.5 1
RFQ_CELL 113565 8.19952 0.56802 1.99724 46.9399 -32.0017 2 7.5 1
RFQ_CELL 113565 8.19952 0.569208 1.99728 47.8818 -31.8795 -2 7.5 1
RFQ_CELL 113565 8.19952 0.570308 1.99731 48.8085 -31.7498 2 7.5 1
RFQ_CELL 113565 8.19952 0.571331 1.99732 49.7209 -31.6114 -2 7.5 1
RFQ_CELL 113565 8.19952 0.572285 1.99733 50.6192 -31.5169 2 7.5 1
RFQ_CELL 113565 8.19952 0.573177 1.99734 51.5038 -31.4526 -2 7.5 1
RFQ_CELL 113565 8.19952 0.574013 1.99734 52.3753 -31.3809 2 7.5 1
RFQ_CELL 113565 8.19952 0.574798 1.99734 53.2343 -31.3055 -2 7.5 1
RFQ_CELL 113565 8.19952 0.575537 1.99734 54.0815 -31.224 2 7.5 1
RFQ_CELL 113565 8.19952 0.576234 1.99734 54.9173 -31.1402 -2 7.5 1
RFQ_CELL 113565 8.19952 0.576892 1.99734 55.7422 -31.0501 2 7.5 1
RFQ_CELL 113565 8.19952 0.577514 1.99734 56.5567 -30.9594 -2 7.5 1
RFQ_CELL 113565 8.19952 0.578104 1.99734 57.3612 -30.8649 2 7.5 1
RFQ_CELL 113565 8.19952 0.578663 1.99734 58.1557 -30.817 -2 7.5 1
RFQ_CELL 113565 8.19952 0.579194 1.99734 58.9405 -30.7687 2 7.5 1
RFQ_CELL 113565 8.19952 0.579698 1.99734 59.7161 -30.7161 -2 7.5 1
RFQ_CELL 113565 8.19952 0.580179 1.99734 60.4828 -30.6628 2 7.5 1
RFQ_CELL 113565 8.19952 0.580637 1.99734 61.2409 -30.6064 -2 7.5 1
RFQ_CELL 113565 8.19952 0.581074 1.99734 61.9906 -30.5484 2 7.5 1
RFQ_CELL 113565 8.19952 0.581491 1.99734 62.7322 -30.5119 -2 7.5 1
RFQ_CELL 113565 8.19952 0.581889 1.99734 63.4657 -30.4866 2 7.5 1
RFQ_CELL 113565 8.19952 0.582271 1.99734 64.1916 -30.459 -2 7.5 1
RFQ_CELL 113565 8.19952 0.582636 1.99734 64.9099 -30.43 2 7.5 1
RFQ_CELL 113565 8.19952 0.582986 1.99734 65.621 -30.3993 -2 7.5 1
RFQ_CELL 113565 8.19952 0.583322 1.99734 66.325 -30.3667 2 7.5 1
lattice_end
RFQ_CELL 113565 8.19952 0 1.99734 67.0223 -90 -4 7.5 1
RFQ_CELL 113565 8.19952 0 1 40 -90 -3 7.5 1
***** plaque de fermeteture RFQ
DRIFT 10 10
DRIFT 10 10
DRIFT 10 10
DRIFT 5 10
end

```

**Fichier \*.cal utilisé pour les ions q/A=1/3**

```

Diagnostic_1
0.308269 0.117408 -0.226531 0.52697
Diagnostic_2
0.006
Diagnostic_3
0 0 0
Diagnostic_4
1.19529 -1.37703

```

<p> <b>Diagnostic_5</b>  -0.006  <b>Diagnostic_6</b>  0 0 0  <b>Diagnostic_9</b>  2.59749 -1.37093 0.773542  <b>Diagnostic_10</b>  0 0 0  <b>Diagnostic_11</b>  0.408366 -0.805146 0.524441  <b>Diagnostic_12</b>  0 0 0  <b>Diagnostic_14</b>  -0.696513 1.07259 -0.68411 0.0220569  <b>Diagnostic_15</b>  0 0 0 0  <b>Diagnostic_16</b>  0.144648 0.322296    <b>Diagnostic_1_PARTRAN</b>  0.306701 0.118582 -0.226531 0.53224  <b>Diagnostic_2_PARTRAN</b>  0.00908528  <b>Diagnostic_3_PARTRAN</b>  -2.38361e-05 1.6583e-06 5.97922e-06  <b>Diagnostic_4_PARTRAN</b>  1.19551 -1.38684  <b>Diagnostic_5_PARTRAN</b>  -0.00161772  <b>Diagnostic_6_PARTRAN</b>  -1.81697e-06 8.89205e-05 -4.70111e-07  <b>Diagnostic_9_PARTRAN</b>  2.28297 -1.32391 0.775413  <b>Diagnostic_10_PARTRAN</b>  7.8645e-05 -2.42459e-05 -4.73251e-05  <b>Diagnostic_11_PARTRAN</b>  0.411271 -0.802941 0.504917  <b>Diagnostic_12_PARTRAN</b>  -4.17357e-05 4.30419e-06 6.12936e-05  <b>Diagnostic_14_PARTRAN</b>  -0.653895 1.05875 -0.70686 0.0190084  <b>Diagnostic_15_PARTRAN</b>  0.000253189 -0.000148865 -0.000232016 0.000112172  <b>Diagnostic_16_PARTRAN</b>  0.0882952 0.353833 </p>		
---	--	--

## **ANNEXE 4 – SPECIFICATIONS DES AIMANTS DES LIGNES BASSE-ENERGIE**

L'Annexe 4 regroupe les fiches de spécifications disponibles à ce jour concernant les principaux éléments magnétiques des lignes basse-énergie SPIRAL-2. Ces éléments sont :

- les quadrupôles des lignes LBE1, LBE2 et LBEC ;
- les hexapôles de la ligne LBE1 ;
- les dipôles à 90° de la ligne LBE1 ;
- les dipôles à 45° de la ligne LBE2.

## QUADRUPOLES LBE1, LBE2 & LBE

### CARACTERISTIQUES GENERALES

#### DONNEES MAGNETIQUES

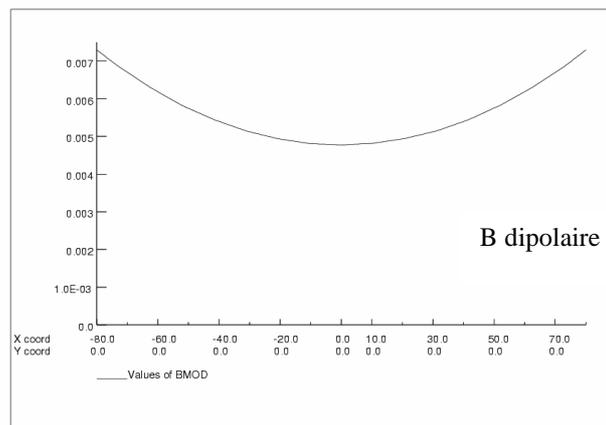
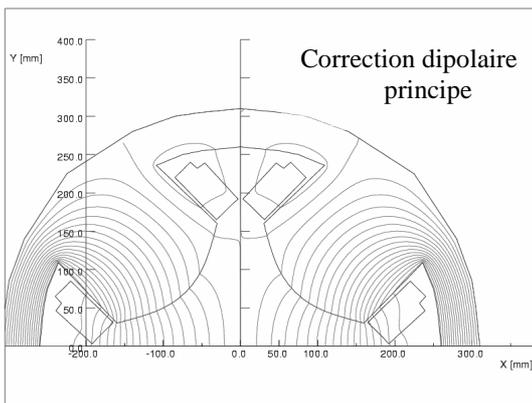
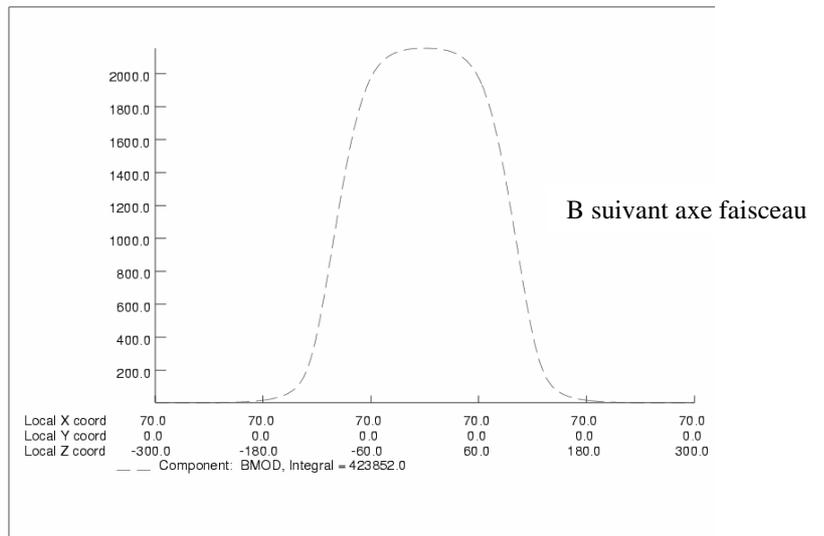
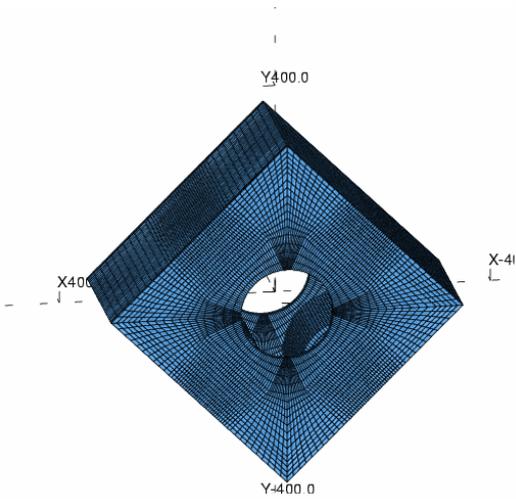
Type aimant	Quadrupole carré ouvrant avec plaques de garde
Nbre ampère-tours maximaux	4*6300
Gradient maximum	G = 3 T/m
Longueur de gradient	L = 200 mm

#### DONNEES MECANIQUES

Diamètre de gorge	172 mm
Longueur totale	270 mm
Poids de fer	180 Kg
Poids de cuivre	22 Kg

#### DONNEES ELECTRIQUES ET HYDRAULIQUES

Intensité maximale	I=210 A
Tension maximale	U=30 V
Puissance dissipée	P=6.3 KW
Résistance électrique (a I max)	R=0.14
Nbre de circuits hydrauliques	4
Perte de charge	12 bars
Débit total	4.5 l/mn



## QUADRUPLES LBE1, LBE2 & LBE

### CARACTERISTIQUES POUR UNE BOBINE

<b>CONDUCTEUR</b>	
Résistivité à 20 degrés	$1.75 \cdot 10^{-8}$
Section carrée	$5 \cdot 5 \text{ mm}^2$
Rayons des arrondis	1 mm
Diamètre du trou intérieur	3 mm
Valeur moyenne de section de cuivre	$17.5 \text{ mm}^2$
Valeur moyenne de la section de passage d'eau	$7 \text{ mm}^2$

<b>DONNEES GEOMETRIQUES</b>	
Nombre de spires	44
Longueur approximative d'une spire moyenne	0.77 m
Nombre de circuits hydrauliques	1
Longueur approximative d'un circuit d'eau	34 m
Poids de cuivre	5.5 Kg

<b>DONNEES ELECTRIQUES ET HYDRAULIQUES</b>	
Intensité maximale	I=210 A
Tension maximale	U=7.5 V
Résistance électrique (I max)	R=0.036
Puissance consommée (I max)	1.57 Kw
Perte de charge	12 bars
Débit d'eau par circuit hydraulique	1.1 l/mn
Echauffement (I max)	20 °C

### CARACTERISTIQUES POUR UNE BOBINE CORRECTION DIPOLAIRE

<b>CONDUCTEUR MEPLAT</b>	
Résistivité a 20 degrés	$1.75 \cdot 10^{-8}$
Section rectangulaire	$5 \cdot 1.25 \text{ mm}^2$
Rayons des arrondis	0.5 mm
Valeur moyenne de la section de cuivre	$5.9 \text{ mm}^2$

<b>DONNEES GEOMETRIQUES</b>	
Nombre de spires	22
Longueur approximative d'une spire moyenne	0.82 m
Poids de cuivre	Kg

<b>DONNEES ELECTRIQUES</b>	
Intensité maximale	10 A
Tension maximale	0.6 V
Résistance électrique (I max)	0.15
Puissance consommée (I max)	6 W

## **QUADRUPOLES LBE1, LBE2 & LBE**

### **ALIMENTATIONS**

Les valeurs de gradient maximum varient beaucoup selon l'emplacement du quadrupole sur les lignes.

Nous proposons de réaliser des quadrupoles identiques, mais de leur affecter des alimentations de gamme de puissance différente, afin de minimiser le cout de ces alimentations.

On peut faire apparaître trois familles (cf. Annexe 3) :

- Neuf quadrupoles de gradient inférieur ou égal à 1 T/m,
- Huit quadrupoles de gradient compris entre 1 T/m et 2 T/m
- Deux quadrupoles de gradient compris entre 2 T/m et 3 T/m

D'ou possibilité de trois types d'alimentations :

<b>210 A</b>	<b>6.3 KW</b>
<b>140 A</b>	<b>2.8 KW</b>
<b>70 A</b>	<b>0.7 KW</b>

Ce choix sera à confirmer par le groupe alimentations.

## HEXAPOLES LBE1

### CARACTERISTIQUES GENERALES

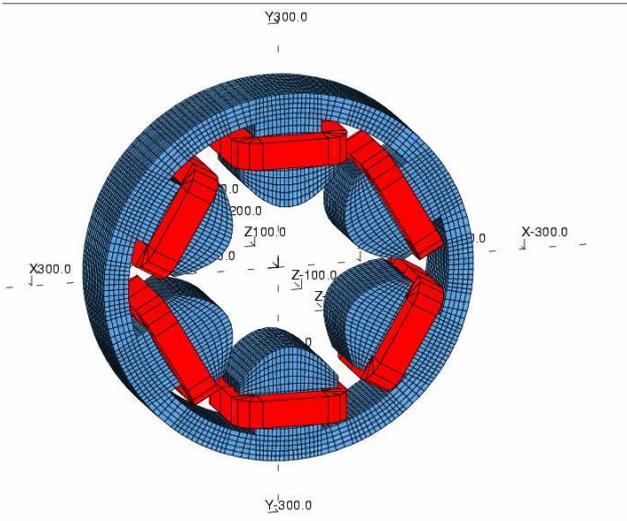
DONNEES MAGNETIQUES	
Circuit magnétique	Structure circulaire , ouvrante Acier type ARMCO XC6 XC10
bobines	Cuivre méplat émaillé Imprégnation résine époxy
force	8 T/m <sup>2</sup> longueur de champ 145mm

DONNEES MECANIQUES	
Diamètre de gorge	172 mm
Longueur culasse	90 mm
Diamètre extérieur	470 mm
Longueur totale avec bobines	155 mm
Poids de fer	80 kg
Poids de cuivre	25 kg

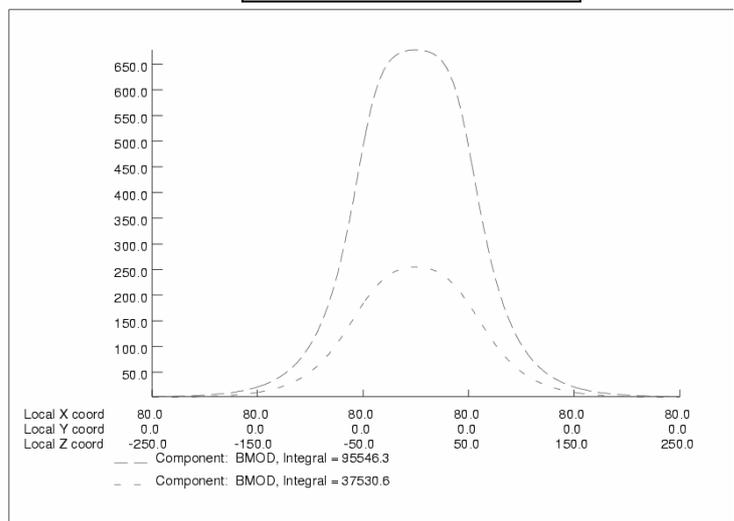
DONNEES ELECTRIQUES ET HYDRAULIQUES	
Intensite maximale	I = 10 A
Tension maximale	U = 15 V
Puissance dissipée	P = 150 W
Resistance électrique (a I max)	R = 1.5
Refroidissement air	

DONNEES POUR UNE BOBINE	
Nombre de spires	N = 144 (8*18)
conducteur	5*1.25 mm <sup>2</sup>
Section moyenne de cuivre	5.9 mm <sup>2</sup>

modélisation



B suivant axe faisceau



## **DIPOLÉS 90 DEGRÉS LIGNE LBE1**

### **CARACTERISTIQUES GÉNÉRALES**

<b>DONNÉES MAGNÉTIQUES</b>	
Angle de déviation	90°
Rayon de courbure	600 mm
Angle de la face d'entrée	26.56°
Angle de la face de sortie	26.56°
Induction nominale max	0.27 T

<b>DONNÉES MÉCANIQUES</b>	
Entrefer	H= 110 mm
Acier	Type ARMCO, XC06, XC10
Poids de fer	kg
Poids de cuivre	kg

<b>DONNÉES ÉLECTRIQUES ET HYDRAULIQUES</b>	
Intensité maximale	I= 250 A
Tension maximale	U= 45 V
Puissance dissipée	P= 11.25 kW
Résistance électrique (a I max)	0.18
Nbre de circuits hydrauliques	8
Perte de charge	12 bars
Débit total	16 l/mn

### **CARACTERISTIQUES POUR UNE BOBINE PRINCIPALE**

<b>CONDUCTEUR</b>	
Résistivité a 20 degrés	$1.75 \cdot 10^{-8}$
Section carrée	7*7 mm <sup>2</sup>
Diamètre du trou intérieur	4mm
Valeur moyenne de section de cuivre	40 mm <sup>2</sup>
Valeur moyenne de la section de passage d'eau	12.5 mm <sup>2</sup>

<b>DONNÉES GÉOMÉTRIQUES</b>	
Nombre de spires	56
Longueur approximative d'une spire moyenne	3.1 m
Nombre de circuits hydrauliques	4
Longueur approximative d'un circuit d'eau	44 m
Poids de cuivre	Kg

<b>DONNÉES ÉLECTRIQUES ET HYDRAULIQUES</b>	
Intensité maximale	250 A
Tension maximale	22.5 V
Résistance électrique (I max)	0.09
Puissance consommée (I max)	5.6 KW
Perte de charge	12 bars
Débit d'eau par circuit hydraulique	2 l/mn
Echauffement (I max)	10 degrés

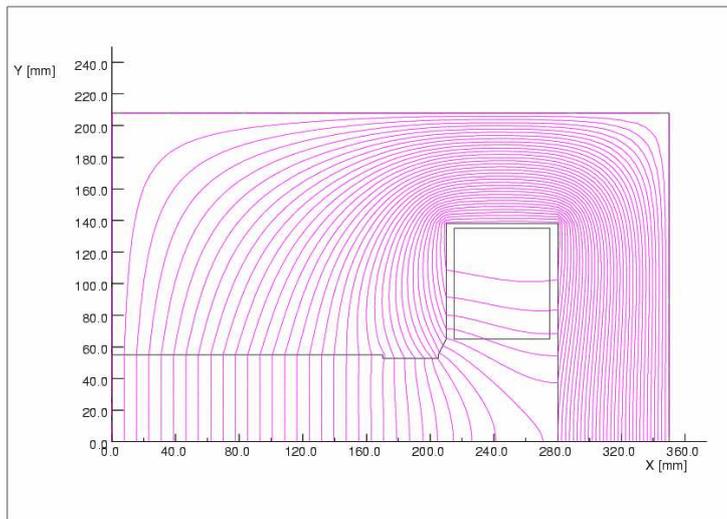
## DIPOLÉS 90 DEGRÉS LIGNE LBE1

### CARACTERISTIQUES POUR UNE BOBINE AUXILIAIRE

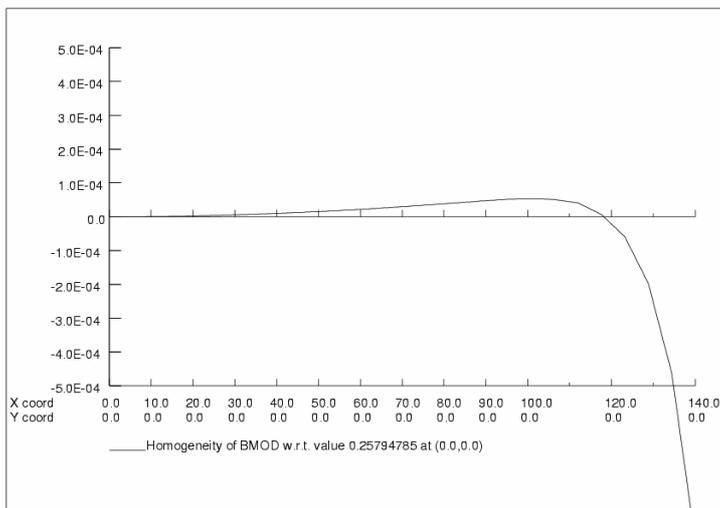
<b>CONDUCTEUR MEPLAT</b>	
Résistivité a 20 degrés	$1.75 \cdot 10^{-8}$
Section rectangulaire	$5 \cdot 1.25 \text{ mm}^2$
Rayons des arrondis	0.5 mm
Valeur moyenne de la section de cuivre	$5.9 \text{ mm}^2$

<b>DONNEES GEOMETRIQUES</b>	
Nombre de spires	35
Longueur approximative d'une spire moyenne	3.1 m
Poids de cuivre	Kg

<b>DONNEES ELECTRIQUES</b>	
Intensité maximale	10 A
Tension maximale	3.5 V
Résistance électrique (I max)	0.35
Puissance consommée (I max)	35 W



Section radiale



Homogénéité radiale

## **DIPOLE 45 DEGRES LIGNE LBE2**

### **CARACTERISTIQUES GENERALES**

<b>DONNEES MAGNETIQUES</b>	
Angle de déviation	45°
Rayon de courbure	500 mm
Angle de la face d'entrée	0°
Angle de la face de sortie	0°
Induction nominale	0.150 T

<b>DONNEES MECANIQUES</b>	
Entrefer	H= 90 mm
Acier	Type ARMCO, XC06, XC10
Poids de fer	370 kg
Poids de cuivre	25 kg

<b>DONNEES ELECTRIQUES ET HYDRAULIQUES</b>	
Intensité maximale	I= 150 A
Tension maximale	U= 24 V
Puissance dissipée	P= 3.6 kW
Résistance électrique (a I max)	0.16
Nbre de circuits hydrauliques	8
Perte de charge	12 bars
Débit total	11.5 l/mn

### **CARACTERISTIQUES POUR UNE BOBINE PRINCIPALE**

<b>CONDUCTEUR</b>	
Résistivité a 20 degrés	$1.75 \cdot 10^{-8}$
Section carrée	5* 5 mm <sup>2</sup>
Diamètre du trou intérieur	3mm
Valeur moyenne de section de cuivre	17.5 mm <sup>2</sup>
Valeur moyenne de la section de passage d'eau	7 mm <sup>2</sup>

<b>DONNEES GEOMETRIQUES</b>	
Nombre de spires	48
Longueur approximative d'une spire moyenne	1.6 m
Nombre de circuits hydrauliques	4
Longueur approximative d'un circuit d'eau	20 m

<b>DONNEES ELECTRIQUES ET HYDRAULIQUES</b>	
Intensité maximale	150 A
Tension maximale	12 V
Résistance électrique (I max)	0.08
Puissance consommée (I max)	1.8 KW
Perte de charge	12 bars
Débit d'eau par circuit hydraulique	1.4 l/mn
Echauffement (I max)	5 degrés

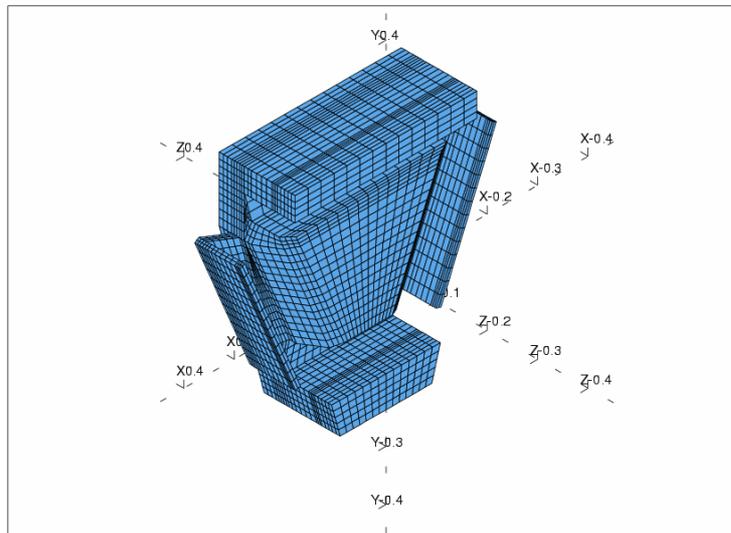
## DIPOLE 45 DEGRES LIGNE LBE2

### CARACTERISTIQUES POUR UNE BOBINE AUXILIAIRE

<b>CONDUCTEUR MEPLAT</b>	
Résistivité a 20 degrés	$1.75 \cdot 10^{-8}$
Section rectangulaire	$5 \cdot 1.25 \text{ mm}^2$
Rayons des arrondis	0.5 mm
Valeur moyenne de la section de cuivre	$5.9 \text{ mm}^2$

<b>DONNEES GEOMETRIQUES</b>	
Nombre de spires	25
Longueur approximative d'une spire moyenne	1.7 m
Poids de cuivre	Kg

<b>DONNEES ELECTRIQUES</b>	
Intensité maximale	10 A
Tension maximale	1.5 V
Résistance électrique (I max)	0.15
Puissance consommée (I max)	15 W





## ANNEXE 5 – LISTE DES RECOMMANDATIONS EMISES PAR LES EXPERTS

### → Membres du Groupe de revue

Fabrice Marteau, Nicolas Pichoff, Alain Savalle, André Tkatchenko.

### → Objectif de la revue

La revue du 6 septembre 2006 avait pour objet l'évaluation des études détaillées du système de transport de basse énergie des faisceaux primaires en vue de sa construction et recommandations éventuelles sur la base du document EDMS I-008526 version 1.0 [15] et des présentations orales de ce jour [35]. Les recommandations des experts (*en italique*) ainsi que les réponses que nous avons apportées sont regroupées ci-dessous.

### → Remarques générales

*« Le groupe de revue remercie et félicite les intervenants pour la grande qualité des documents fournis et des exposés oraux. Ils traduisent une somme importante de travail et de réflexion ainsi qu'un effort de présentation pour donner une vision claire et une justification des solutions retenues.*

*Les études de procédures de réglage des lignes et le calcul des tolérances d'alignement et de champ sont remarquables et témoignent du souci d'analyser les problèmes devant être surmontés lors de la mise en service des installations.*

*Le Groupe de revue remarque l'ampleur et la complexité apparente des lignes de basse énergie. Elles résultent, d'une part, du nombre de sources (ions  $Q/A = 1/3$ , ions  $Q/A = 1/6$ , deutons) devant être connectées au RFQ et, d'autre part, du choix, traditionnel au GANIL et adopté lors de l'APD, de modules doublement achromatiques pour la déviation et le tri des faisceaux issus des sources.*

*De tels modules offrent toutes les garanties et permettent de s'affranchir des fluctuations de tension au niveau des sources mais sont exigeants en termes d'éléments magnétiques et de surface au sol.*

*Le groupe de revue constate que la configuration de base qui est présentée est l'aboutissement d'un travail mené depuis plusieurs années et que les études détaillées en vue de sa construction sont en cours d'achèvement. Néanmoins, il recommande quelques approfondissements afin que l'équipe de projet puisse de façon définitive figer la configuration des lignes ainsi que tous leurs composants ».*

### **Remarque**

Il faut noter que la source  $1/6^{\text{ème}}$  ne sera pas connectée au RFQ, mais connectée le long de la ligne LME, par l'intermédiaire du RFQ  $1/6^{\text{ème}}$  (comme d'ailleurs indiqué dans le document APD)

### → RECOMMANDATION n°1

*« La tolérance sur la stabilité de la tension des sources a été fixée à au moins  $10^{-3}$ , il serait intéressant d'en déduire les fluctuations de courant induites à l'entrée du RFQ et de voir s'il est possible d'améliorer sans surcoût excessif cette stabilité d'un facteur 10. »*

### **Réponse**

Grâce à la présence de l'achromat, les fluctuations de la tension source ne provoquent pas (ou extrêmement peu) de pertes spécifiques dans la ligne, sauf dans la section dispersive entre les 2 dipôles. Les éventuelles pertes supplémentaires dues à de telles fluctuations seront donc localisées essentiellement sur la fente de tri, puisque l'ouverture des tubes est suffisamment grande par rapport aux excursions induites par les fluctuations de tension dont on parle ici (0.1% ou inférieures). Deux cas apparaissent alors:

- **1<sup>er</sup> cas** : le faisceau d'intérêt a des polluants très proches ( $d(q/A)/(q/A)$  de l'ordre de 100). La séparation des différents ions nécessite alors l'utilisation de la fente à son réglage nominal ( $\varnothing 10\text{mm}$ ). Dans ce cas, les

fluctuations  $\Delta V$  de la tension source induisent effectivement des pertes supplémentaires, localisées essentiellement sur la fente de tri, et de ce fait, une fluctuation  $\Delta I$  du courant faisceau en entrée de RFQ. On obtient un  $\Delta I/I$  d'environ  $\pm 2\%$  pour un  $\Delta V/V$  de  $\pm 10^{-3}$ , et seulement  $\pm 0.2\%$  pour un  $\Delta V/V$  de  $\pm 10^{-4}$ .

- **2<sup>ème</sup> cas** : le faisceau d'intérêt n'a pas de polluants très proches. La séparation des différents ions est alors effectuée sans utiliser la fente de tri (ou en l'ouvrant plus largement). Dans ce cas, les fluctuations  $\Delta V$  de la tension source n'induisent plus de pertes supplémentaires sur la fente de tri. La fluctuation  $\Delta I$  du courant faisceau en entrée de RFQ devient ainsi beaucoup moins sensible aux fluctuations de la tension source. On obtient un  $\Delta I/I$  de seulement  $\pm 0.2\%$  pour un  $\Delta V/V$  de  $\pm 10^{-3}$ , et  $\pm 0.02\%$  pour un  $\Delta V/V$  de  $\pm 10^{-4}$ .

En conclusion, il apparaît que dans les cas les plus difficiles (forte résolution en  $q/A$  nécessaire), une tension source fluctuant à  $10^{-3}$  peut provoquer des fluctuations du courant en entrée de RFQ de l'ordre de  $\pm 2\%$ . Atteindre une stabilité de  $10^{-4}$  permettrait de limiter dans tous les cas ces fluctuations à au plus  $\pm 0.2\%$ . Ces valeurs sont à comparer avec la stabilité intrinsèque du courant extrait de la source, qui est spécifiée à au moins  $\pm 2\%$ . Il est donc décidé, si possible sans surcoût excessif, de durcir la spécification de stabilité de tension source à  $10^{-4}$ ; ceci permettra de rendre les effets décrits précédemment négligeables devant les fluctuations naturelles du courant de la source. De plus, cela permettra également de réduire le « jitter » sur le centroïde du faisceau (de  $\pm 1.5\text{mm}$  à moins de  $\pm 0.5\text{mm}$ ) au niveau des profileurs de la section dispersive.

#### **→ RECOMMANDATION n°2**

*« Rien n'a été dit au sujet de la protection des équipements en cas d'incidents. La définition des éléments nécessaires à la détection de pertes et la procédure d'interruption du faisceau au delà d'un certain seuil de pertes sont à entreprendre. »*

#### **Réponse**

L'on prévoit l'installation d'anneaux de pertes le long des lignes LBE, permettant d'arrêter la fourniture de faisceau en cas de pertes trop élevées, les seuils restant à définir. Ce type de protection est utilisé au GANIL. Des études spécifiques restent à mener sur ce thème.

#### **→ RECOMMANDATION n°3**

*« Les exposés ont montré que le système de pompage n'a pas encore été défini. La puissance de pompage devra prendre en compte les dégazages dus aux pertes inévitables de faisceau dans les différents éléments des lignes. »*

#### **Réponse**

Il est inexact de dire que le système de pompage n'a pas encore été défini : il a fait l'objet de discussions avec les responsables des sources deutons et ions. La validation du système de pompage est en cours. Cette étude prend bien évidemment en compte les dégazages induits par les pertes faisceau (polluants essentiellement).

#### **→ RECOMMANDATION n°4**

*« De nombreux éléments de diagnostic de faisceaux sont prévus pour permettre le démarrage des lignes mais il n'est pas certain qu'ils soient tous indispensables ultérieurement. En particulier, il serait bon de se convaincre qu'il n'est pas possible d'utiliser un seul émittance-mètre déplaçable d'une ligne à une autre et que les emplacements retenus sont les meilleurs pour apporter l'information attendue. »*

#### **Réponse**

L'idée est de prévoir tous les emplacements pour les diagnostics, mais de ne pas les acheter tous, pour faire effectivement des économies. Ce sera probablement le cas des émittance-mètres. Les décisions à ce sujet seront prises après finalisation de l'étude dédiée au « Commissioning » des lignes.

#### **→RECOMMANDATION n°5**

*« La fonction et la nécessité du troisième triplet de quadripôles de la ligne LBE1 n'apparaît pas clairement. Nous suggérons d'envisager les conséquences de sa suppression sur l'optique et sur le voisinage de la ligne LBE2. »*

#### **Réponse**

Pour des raisons liées à la sécurité des personnes, il est nécessaire de laisser 80cm pour accéder de chaque côté des lignes. Compte tenu de l'épaisseur du mur qui sépare la salle « source deutons », et la salle « source d'ions », il apparaît que le 3<sup>ème</sup> triplet de quadripôles de la ligne LBE1 ne peut pas être supprimé complètement.

#### **→RECOMMANDATION n°6**

*« Les calculs de dynamique des faisceaux ont été effectués pour des éléments magnétiques de type créneau. Il semble nécessaire de les compléter avec des champs réalistes issus de simulations en 3D, en particulier pour les solénoïdes, afin d'évaluer l'importance de l'effet des champs de fuite. »*

#### **Réponse**

Cette recommandation était la plus urgente. M. Duval nous a fourni les cartes de champ 3D, calculées avec TOSCA, pour les quadripôles, les hexapôles et les solénoïdes. Ces cartes ont été adaptées au format TRACEWIN. Les tests effectués avec particules ont montré que les hexapôles et les quadripôles donnaient satisfaction.

Concernant les solénoïdes, nous avons été amenés à augmenter la longueur des solénoïdes LBE2-SOL et LBEC-SOL, afin de limiter les aberrations induites.

Nous considérons qu'il n'est pas nécessaire de tester les dipôles avec cartes 3D.

#### **→RECOMMANDATION n°7**

*« Dans le cas des deutons, il a été supposé que le taux de compensation de la charge d'espace pouvait être compris entre 50% et 100%. Il serait bon de s'assurer qu'il n'y a pas de problème pour d'autres valeurs de ce taux de compensation. »*

#### **Réponse**

Les tests effectués pour des taux de neutralisation inférieurs à 50% montrent que le réglage de la ligne reste similaire, mais que la transmission de la ligne se dégrade au fur et à mesure que le taux de neutralisation diminue. Pour 0% de compensation, la transmission obtenue est de l'ordre de 50%. Une telle absence de compensation est cependant très improbable.

#### **→RECOMMANDATION n°8**

*« La procédure de réglage des lignes pour un faisceau issu d'une source a été très bien définie. Il serait utile, en concertation avec l'équipe en charge des sources, de réfléchir à la procédure d'optimisation des paramètres des sources elles-mêmes lorsqu'elles seront installées en tête des lignes ainsi qu'à l'interaction entre le réglage des sources et celui des premiers éléments optiques. »*

#### **Réponse**

Ces procédures de réglage devront être validées et probablement simplifiées après une mise en route qui permettra de distinguer les paramètres reproductibles d'un faisceau à l'autre et ceux qu'il convient de réajuster en fonction du faisceau lui-même. Ce point sera particulièrement sensible pour les ions 1/3 : l'affinement sera fait lors du pré-commissioning du début de ligne 1/3 à Grenoble début 2008, pour différents types d'ions de référence.

**→RECOMMANDATION n°9**

*« Le groupe de revue suggère que Mr Maurice Duval présente de façon détaillée les simulations en 3D des éléments magnétiques.*

*Le tracé des intégrales de champ, de gradient et de force sextupolaire en fonction des écarts à la trajectoire centrale devrait permettre de mettre en relief les non linéarités induites par les champs de fuite, en particulier pour les quadrupôles et sextupôles qui sont courts relativement à leur ouverture. Pour les solénoïdes, il serait bon de s'assurer que les intégrales du champ et du carré du champ correspondent bien à celles qui sont modélisées dans les codes de simulation de la dynamique. »*

***Réponse***

Cette recommandation est transmise à M. Duval.

## REFERENCES

- [1] A. Mosnier et al., “The SPIRAL2 project APD report”, Janvier 2005, EDMS n°I-004609 ver.1. <https://edms.in2p3.fr/document/I-004609/1>
- [2] R. Duperrier et al., “Beam dynamic development for the SPIRAL2 project – Final report”, Octobre 2004, EDMS n°I-004165 ver.1. <https://edms.in2p3.fr/document/I-004165/1>
- [3] D. Uriot, R. Duperrier, “Start to end errors study through the SPIRAL2 linac”, Février 2005, EDMS n°I-004169 ver.1. <https://edms.in2p3.fr/document/I-004169/1>
- [4] P. Bertrand, J-L. Biarrotte, D. Uriot, “Diamètre d’ouvertures faisceau le long du linac”, Septembre 2005. EDMS n°I-008527 ver.1. <https://edms.in2p3.fr/document/I-008527/1>
- [5] D. Uriot, “Etude de la possibilité d’accélérer des protons dans le linac SPIRAL2”, Avril 2006, EDMS n°I-007826 ver.2. <https://edms.in2p3.fr/document/I-007826/2>
- [6] J-L. Biarrotte, “Consolidation de l’injecteur ions Spiral2”, Janvier 2006, inclus dans EDMS n°I-007485 ver.1. <https://edms.in2p3.fr/document/I-007485/1>
- [7] J-L. Biarrotte, “Performances du système de tri de l’injecteur q/A=1/3 SPIRAL-2”, Janvier 2006, inclus dans EDMS n°I-007485 ver.1. <https://edms.in2p3.fr/document/I-007485/1>
- [8] J-L. Biarrotte, “Consolidation de l’injecteur deutons Spiral2”, Février 2006, inclus dans EDMS n°I-007485 ver.1. <https://edms.in2p3.fr/document/I-007485/1>
- [9] P. Bertrand, J-L. Biarrotte, D. Uriot, “Consolidation des lignes LEBT”, Avril 2006, inclus dans EDMS n°I-008027 ver.1. <https://edms.in2p3.fr/document/I-008027/1>
- [10] D. Uriot, R. Duperrier, “Accélérateur virtuel : concept, implémentation et premier test”, Mai 2006, EDMS n°I-008036 ver.1. <https://edms.in2p3.fr/document/I-008036/1>
- [11] J-L. Biarrotte, “Comportement des polluants dans les LBEs SPIRAL2”, Juin 2006, inclus dans EDMS n°I-008062 ver. 1. <https://edms.in2p3.fr/document/I-008062/1>
- [12] J-L. Biarrotte, P. Bertrand, D. Uriot, “Beam dynamics studies for the SPIRAL-2 project”, Juin 2006, Proc. EPAC’06, Edinburgh. <http://accelconf.web.cern.ch/AccelConf/e06/Pre-Press/WEPC007.pdf>
- [13] P. Bertrand, EDMS n°I-008027 ver.1. <https://edms.in2p3.fr/document/I-008027/1>
- [14] P. Bertrand, EDMS n°I-008062 ver.1. <https://edms.in2p3.fr/document/I-008062/1>
- [15] P. Bertrand, J-L. Biarrotte, D. Uriot, “Configuration de base des lignes basse-énergie”, Version 1.0, Juillet 2006, EDMS n°I-008526 ver.1. <https://edms.in2p3.fr/document/I-008526/1>
- [16] R. Ferdinand, “Sûreté, sécurité, radioprotection – Accélérateur: fonctions et descriptions”, Février 2006, EDMS n°I-008522 ver.1. <https://edms.in2p3.fr/document/I-008522/1>
- [17] T. Thuillier, réunion SPIRAL-2 accélérateur du 02 mars 2006, GANIL, inclus dans EDMS n°I-007494 ver.1. <https://edms.in2p3.fr/document/I-007494/1>
- [18] T. Thuillier, “Emittances calculées en sortie de source q/A=1/3”, Janvier 2006, EDMS n°I-007294 ver.1. <https://edms.in2p3.fr/document/I-007294/1>

- 
- [19] R. Gobin et al., “SPIRAL2 – Rapport de fin APD - Source ECR type SILHI pour la production de deutons”, Février 2005, EDMS n°I-007512 ver.1. <https://edms.in2p3.fr/document/I-007512/1>
- [20] INP Junkerstr.99, 65206 Wiesbaden, Germany, Ver. 4.36.
- [21] J-M. De Conto, “Diffusion coulombienne et échange de charge dans SPIRAL2”, Février 2003, EDMS n°I-008528 ver.1. <https://edms.in2p3.fr/document/I-008528/1>
- [22] M.E. Rudd et al., “Cross sections for ionisation of gases by 5-4000 keV protons and for electron capture by 5-150 keV protons”, Physical Review A, Vol 28 N°6, Décembre 1983.
- [23] V. Nibart, “Projet PIAFE: transport d’ions exotiques de basse énergie sur longue distance”, Janvier 1996, thèse Université Grenoble I.
- [24] R. Duperrier, “Vide résiduel pour les faisceaux de deutons et protons dans la ligne basse énergie du linac de Spiral2”, Décembre 2006, EDMS n°I-009380. <https://edms.in2p3.fr/document/I-009380/1>
- [25] I. Popova et al., “Radiation measurements Vs predictions for SNS linac commissioning”, Juin 2006, Proc. EPAC 2006, Edinburgh. <http://accelconf.web.cern.ch/AccelConf/e06/PAPERS/TUOCF101.PDF>
- [26] R. Duperrier, N. Pichoff, D. Uriot, “CEA Saclay codes review”, Avril 2002, Proc. ICCS Conference, Amsterdam.
- [27] P. Bertrand, “LIONS\_LINAC, a new particle in cell code for linacs”, Mai 2003, Proc. PAC’03, Portland, Oregon. <http://accelconf.web.cern.ch/AccelConf/p03/PAPERS/FPAG011.PDF>
- [28] K.L. Brown, D.C. Carey, Ch. Iselin and F. Rothacker: “Transport, a computer program for designing charged particle beam transport systems”, Yellow reports CERN 73-16(1973) & CERN 80-04 (1980).
- [29] L. Farvacque et J. Payet et al. Voir <http://www.esrf.fr/ftp/pub/machine/theory/BETA89.pdf>.
- [30] Voir [http://mgt-hippi.web.cern.ch/mgt-hippi/HIPPI05\\_presentations/WP5\\_franchi.pdf](http://mgt-hippi.web.cern.ch/mgt-hippi/HIPPI05_presentations/WP5_franchi.pdf).
- [31] Voir <http://mgt-hippi.web.cern.ch/mgt-hippi>.
- [32] A. Ben Ismail, “Etude des effets transitoires de la compensation de charge d'espace sur la dynamique d'un faisceau intense”, Septembre 2005, thèse Université Paris XI. <http://www-dapnia.cea.fr/Phocea/file.php?class=std&&file=Doc/Publications/Archives/dapnia-05-08-T.pdf>
- [33] P. Bertrand, J-L. Biarrotte, D. Uriot, “Flat beams and application to the mass separation of radioactive beams”, Juin 2006, Proc. EPAC’06, Edinburgh. <http://accelconf.web.cern.ch/AccelConf/e06/Pre-Press/TUPLS081.pdf>
- [34] **A définir**
- [35] Documents de la revue LBE du 6 Septembre 2006, EDMS n°I-008765. <https://edms.in2p3.fr/document/I-008765/1>