



LABORATOIRE DE L'ACCÉLÉRATEUR LINÉAIRE

IN2P3-CNRS et Université PARIS-SUD
Centre Scientifique d'Orsay - Bât 200 - B.P. 34
91898 ORSAY Cedex (France)

Tél. : +33 1 64 46 83 12

Fax : +33 1 69 07 14 99

Web PHIL : <http://phil.lal.in2p3.fr>

Web LAL : <http://www.lal.in2p3.fr>



PHIL : PHoto Injecteur au LAL

Orsay, le 10/11/2010

MEMO TECHNIQUE :	X
COMPTE RENDU :	
DIVERS :	

N° NOTE PHIL :	2010-013

Tentative de caractérisation du système de mesure par fentes de l'émittance 2D utilisé par le CERN sur le photo-injecteur PHIN.

Julien BROSSARD
brossard@lal.in2p3.fr

Version électronique disponible :
<http://phil.lal.in2p3.fr/spip.php?rubrique100>

Diffusion : PHIL, SERA, Département accélérateur.

I Objectif de la note

L'objectif de cette note est d'étudier la précision du système de mesure par fentes de l'émittance 2D utilisé au CERN lors de la caractérisation du photo-injecteur PHIN. Cette étude est réalisée sur un certains nombre de « faisceaux types » dont les émittances et dimensions transverses – au niveau de l'entrée des fentes - sont fixés. L'objectif de cette note est de préparer la définition du futur système de mesure d'émittance – par la méthode des fentes - sur PHIL. Un autre objectif de cette note est d'étudier la précision du système lorsque la distance fentes-écran est modifiée.

II Introduction

La note [1] décrit les mesures d'émittance 2D réalisées au CERN sur le canon PHIN, à l'aide de la méthode des fentes. Les mesures réalisées au CERN permettent de mesurer – à 5.5 MeV et 1,28 nC - des émittances rms normalisées de l'ordre de 12 mm.mrad environ.

Le système de fente utilisé est décrit ci-dessous :

- largeur de fente : 0,1 mm
- espace entre les fentes (bords à bords) : 0,8 mm
- épaisseur du tungstène : 2 mm
- nombre de fentes : 25
- espacement entre les 2 fentes extrêmes : $25 \times 0,1 + 24 \times 0,8 = 21,70$ mm
- distance « L » entre les fentes et l'écran OTR : 230 mm

III Méthodologie

Un code¹ Matlab a été réalisé afin de vérifier si – sous certaines hypothèses - le dimensionnement du système utilisé par le CERN permettait de mesurer l'émittance géométrique rms de différents faisceaux. Pour cela, le code génère N (dans cette étude N=10) faisceaux transverses de profils x, x', y et y' gaussiens (non corrélés) constitués de M macro-particules (dans cette étude M= 20 000) à l'entrée des fentes. Chacun de ces N faisceaux a des dimensions transverses rms (dans cette étude $\sigma_x = \sigma_y$) et une émittance géométrique rms ($\epsilon_x = \epsilon_y$) fixés par l'utilisateur. Les écarts quadratiques moyens des distributions angulaires (x'_{rms} et y'_{rms}) sont alors déduits des 4 premières valeurs (σ_x , σ_y , ϵ_x , ϵ_y). On transporte ensuite ces particules dans les fentes (l'épaisseur est prise en compte dans ce transport), et jusqu'à l'écran. Lors de cette propagation, aucun effet de charge d'espace n'est considéré et il n'y a aucune collision : les trajectoires sont toutes rectilignes. Une fois la distribution obtenue à l'écran, on sélectionne manuellement le nombre de zones à considérer dans le calcul de reconstruction de l'émittance. La sélection manuelle dépend naturellement de l'aptitude visuelle de l'utilisateur à discriminer l'images des fentes².

Dans cette étude, les faisceaux générés ont – au niveau des fentes - des dimensions transverses de 0.5, 1.0 et 2.0 mm rms et des émittances géométriques rms comprises entre 0.2 et 1.2 mm.mrad. Le tableau ci-dessous présente la conversion des valeurs extrêmes de ces émittances géométriques rms en émittance normalisées rms pour différentes énergie (totale) du faisceau.

	E=3 MeV	E=4 MeV	E=5 MeV	E=6 MeV
0.2 mm.mrad	1,16	1,55	1,95	2,34
1,2 mm.mrad	6,94	9,32	11,68	14,04

La méthode et les formules utilisées pour reconstruire l'émittance géométrique rms est décrite dans la référence [2].

¹ dont le code source est disponible à cette adresse : <http://phil.lal.in2p3.fr/spip.php?article128>

² Dans sa thèse [3], Guillaume Devanz a étudié – dans un cas précis – l'effet du nombre de zones considérées lors de la reconstruction de l'émittance.

Remarques :

- Les fentes et l'écran sont supposés parfaitement orthogonaux à l'axe du faisceau incident.
- L'épaisseur des fentes est prise en compte dans les calculs (i.e : lors de la propagation des macro-particules).
- L'impact du système optique utilisé pour capturer les images de l'écran sur la reconstruction de l'émittance, n'est pas étudié dans cette note (pixelisation, aberrations optiques, lumière parasite...).
- Le bruit de fond est totalement négligé dans cette étude (on suppose qu'il est nul). L'interaction entre le système de fentes et le faisceau se réduit uniquement à l'écrantage des particules touchant le système (aucune création de particules).
- L'effet éventuelle de la charge d'espace est négligée : entre les fentes et l'écran, les particules ont une trajectoire rectiligne.

IV Système du CERN (L=230 mm)

La Figure 1 présente la précision obtenue par le système du CERN sur les 3 types de faisceaux étudiés. Cette figure montre qu'un tel système ne permet pas de mesurer l'émittance géométrique rms d'un faisceau de 0.5 mm rms de dimensions transverses au niveau des fentes, si celle-ci est supérieur à 0.6 mm.mrad (cela est dû à l'impossibilité de discriminer l'image des fentes au niveau de l'écran). En revanche, ces résultats montrent qu'il est toujours possible de reconstruire - avec au plus 15% d'erreur - l'émittance 2D de faisceaux ayant des dimensions transverses (au niveau des fentes) de 1 ou 2 mm rms si l'émittance rms géométrique est comprise entre 0.5 et 1.2 mm.mrad (en deçà, la reconstruction est possible, mais l'erreur devient beaucoup plus grande).

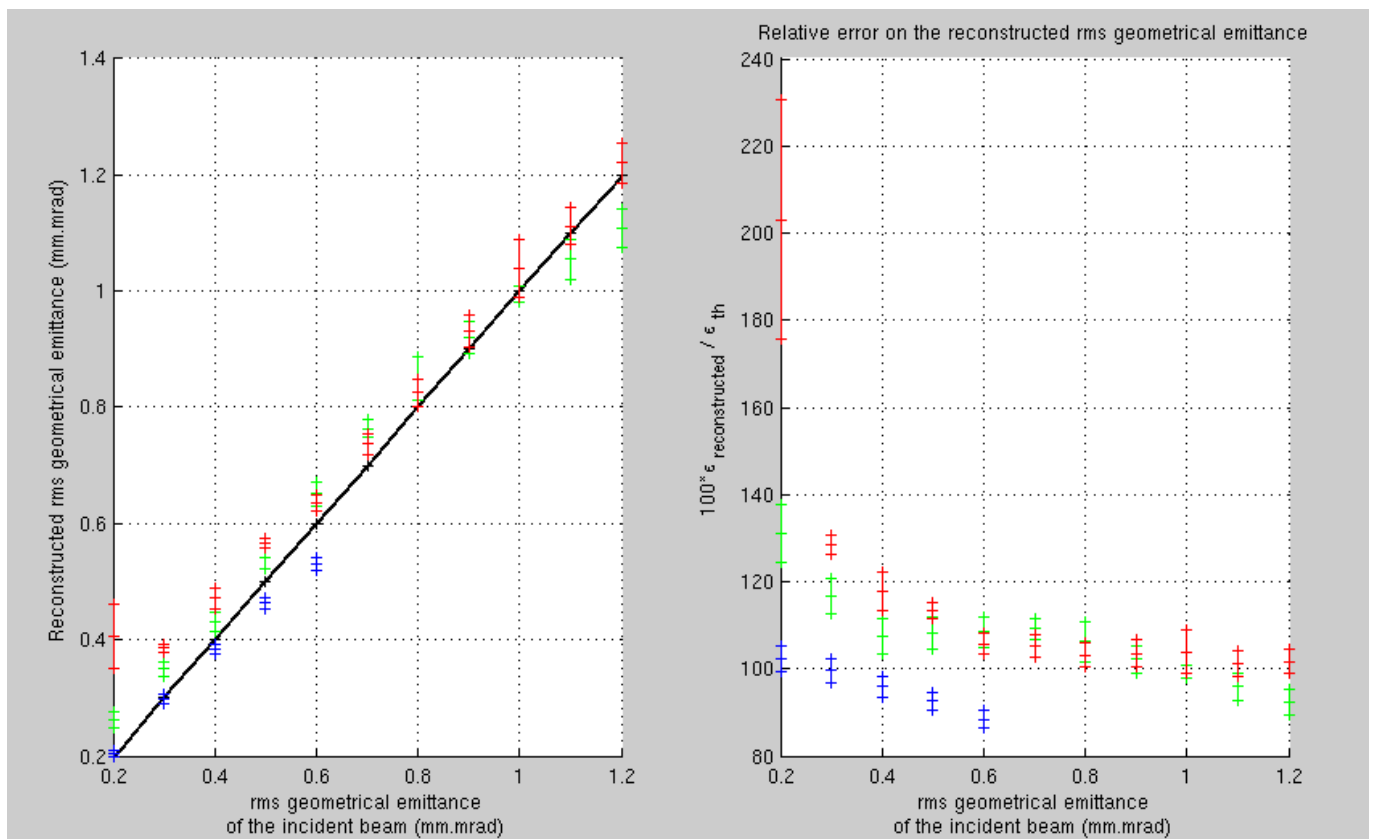


Figure 1: Système du CERN. à gauche : reconstruction de l'émittance géométrique rms sur 3 types de faisceaux différents (0.5 mm rms (croix bleues), 1 mm rms (croix vertes) et 2 mm rms (croix rouges) de dimension transverses au niveau des fentes). Ligne continue noire : cas idéal. À droite : niveaux de précision relative (%).

V Système à L=180 mm

La distance initiale fentes-écran (de 230 mm) a été diminuée de 20% (L=180 mm) environ afin de voir l'impact sur la reconstruction de l'émittance.

La Figure 2 présente la précision obtenue par ce système sur les 3 types de faisceaux étudiés. Cette figure montre que globalement la reconstruction se dégrade pour un faisceau de 2 mm de dimension transverse rms, mais s'améliore pour celle d'un petit faisceau ($\sigma_x=\sigma_y=0.5$ mm). En effet, avec ce système, il est possible de mesurer l'émittance géométrique rms d'un faisceau de 0.5 mm rms de dimension transverse (au niveau des fentes) lorsque celle-ci est comprise entre 0,2 et 0,9 mm.mrad (auparavant, au delà de 0,6 mm.mrad, cela était impossible).

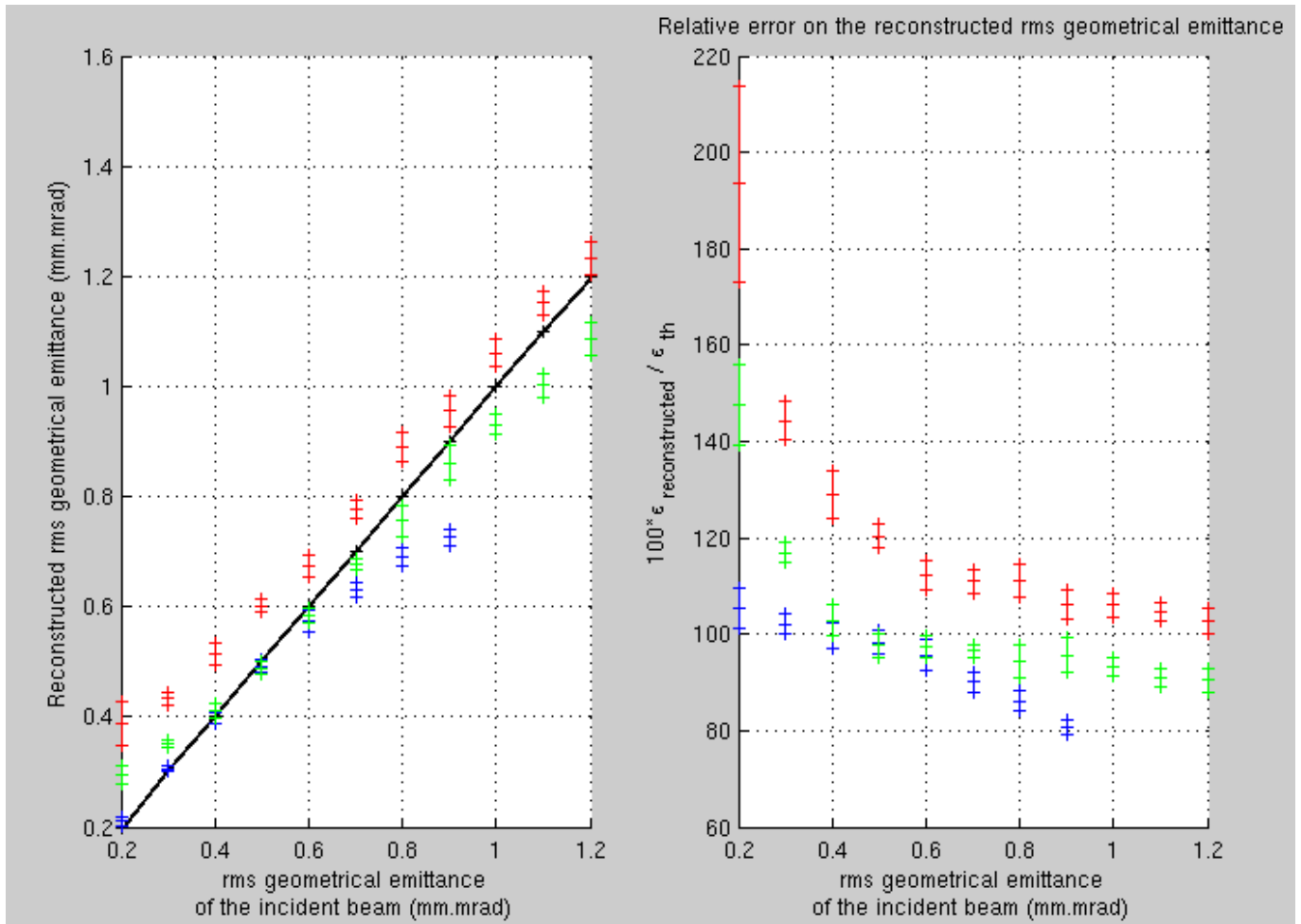


Figure 2: Système à L=180 mm. A gauche : reconstruction de l'émittance géométrique rms sur 3 types de faisceaux différents (1 mm rms (croix vertes) et 2 mm rms (croix rouges) de dimension transverses au niveau des fentes). Ligne continue noire : cas idéal. A droite : niveaux de précision relative (%).

VI Système à L=280 mm

La distance initiale fentes-écran (de 230 mm) a été augmentée de 20% (L=280 mm) environ afin de voir l'impact sur la reconstruction de l'émittance.

La Figure 3 présente la précision obtenue par ce système sur les 3 types de faisceaux étudiés. Cette figure montre que ce système est adapté (erreur de reconstruction < 6%) à la mesure d'émittance sur des faisceaux larges (2 mm de dimension transverse rms) et ayant de grandes émittance ($\epsilon_x > 0,7$ mm.mrad). En revanche, cette distance fentes-écran est inappropriée pour mesurer des émittances sur des petits faisceaux (dimension transverse rms au niveau des fentes # 0.5 mm). En effet, sur les 2 autres cas étudiés (L=180 et L=230 mm) il était possible – sur ces « petits faisceaux » - d'estimer des émittances géométriques rms entre 0.2 et 0.6 mm.mrad. Ici, au delà de 0.5 mm.mrad, c'est impossible (et la précision de la reconstruction est globalement moins bonne).

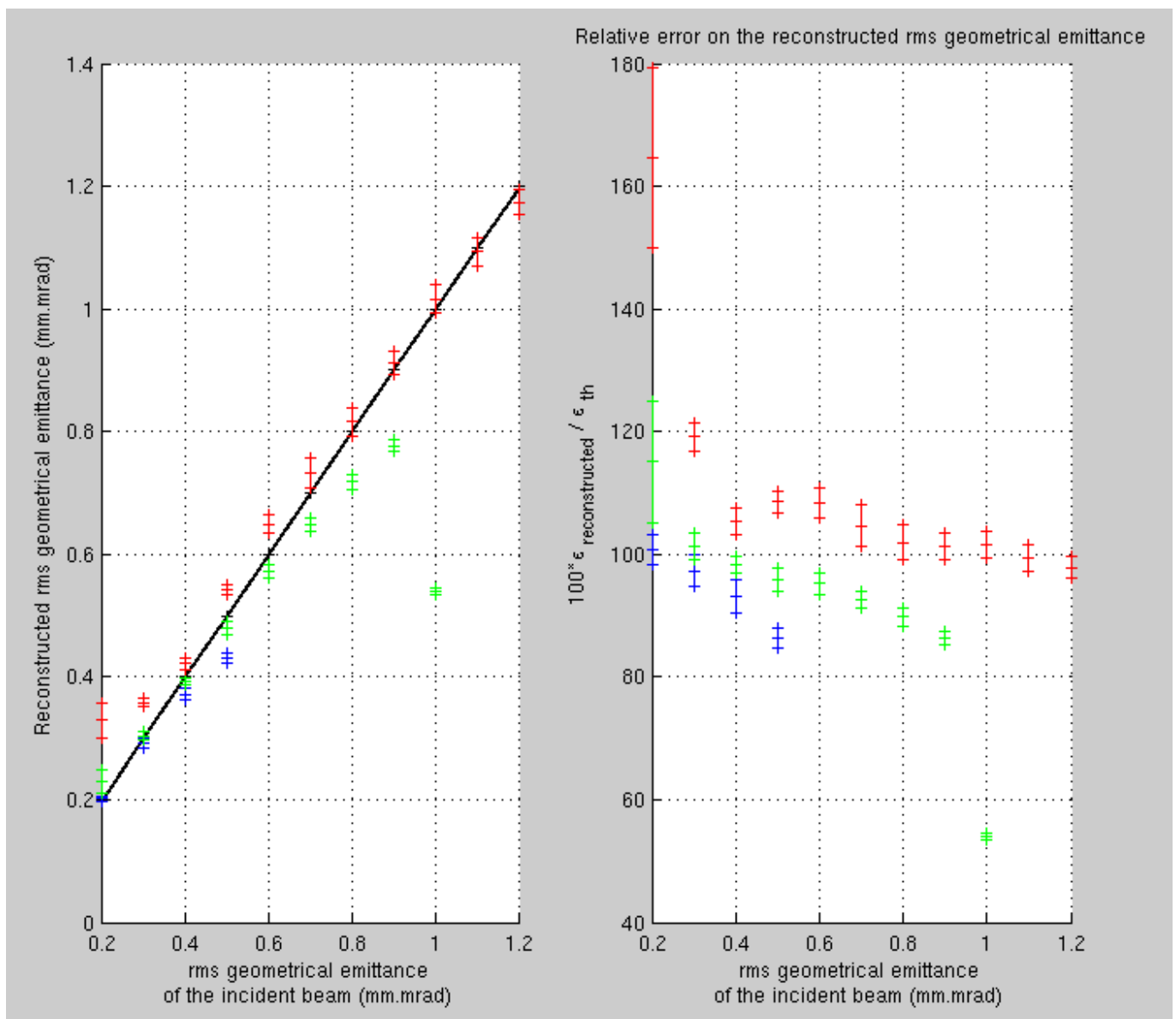


Figure 3: Système à L=280 mm. A gauche : reconstruction de l'émittance géométrique rms sur 3 types de faisceaux différents (0.5 mm rms (croix bleues), 1 mm rms (croix vertes) et 2 mm rms (croix rouges) de dimension transverses au niveau des fentes). Ligne continue noire : cas idéal. A droite : niveaux de précision relative (%).

VII Conclusions et perspectives

Cette étude montre que le système utilisé au CERN (avec $L=230$ mm) permet – dans le cadre des hypothèses de cette étude – de mesurer des émittances géométriques rms de 0.5 à 12 mm.mrad avec une erreur maximale de 15%, pour des faisceaux ayant – à l'entrée des fentes – des dimensions transverses rms de 1 ou 2 mm. Pour des émittances géométriques rms plus petites (comprises entre 0.2 et 0.5 mm.mrad), ce système permet de les mesurer - avec au plus 15% d'erreur – si les faisceaux ont de petites tailles transverses au niveau des fentes (0.5 mm rms). Le système du CERN ($L=230$ mm) est celui qui – des 3 cas testés – donne à priori le plus de possibilité pour une mesure d'émittance avec une précision raisonnable (15% d'erreur maximum).

Enfin, on peut remarquer que les « petits faisceaux » (dimensions transverses rms de 0.5 mm au niveau des fentes) et les « faisceaux larges » (dimensions transverses rms de 2 mm au niveau des fentes) ont des comportements inverses. En effet, à basse émittance géométrique ($0.2 < \epsilon_x(\text{mm.mrad}) < 0.5$), il est préférable d'avoir à mesurer un faisceau de faibles dimensions transverses, alors qu'à haute émittance ($\epsilon_x > 0.5$ mm.mrad) il est préférable d'avoir à réaliser la mesure sur des larges faisceaux (dimensions transverses au niveau des fentes de l'ordre de 2 mm rms).

Il faut cependant rester prudent sur le niveau de la précision de mesure estimée ici, car le bruit est supposé totalement nul et les faisceaux purement gaussiens, sans aucune corrélation (x,y) et/ou (x,x') . En effet, cette dernière hypothèse n'est pas représentative des propriétés d'un faisceau sortant d'un photo-injecteur [3]. Enfin, la consolidation théorique de cette étude nécessiterait une prise en compte de l'effet de charge d'espace (qui dépend de l'énergie du faisceau).

C'est pourquoi, il est envisagé – afin d'approfondir cette étude - d'utiliser un code de tracking dédié (exemple « PARMELA ») afin d'obtenir un faisceau le plus représentatif possible (corrélation, charge d'espace ...). Une autre piste pour améliorer cette étude consiste à évaluer – via un code d'interaction faisceau-matière (exemple « GEANT 4 ») – les caractéristiques (nombre, énergie, impulsion, divergence...) des particules secondaires créées par le faisceau lors de son passage au travers du système de fentes.

VIII Références :

[1] : CLIC n°809 « The transverse and longitudinal beam characteristics of the PHIN photoinjector at CERN » (<http://cdsweb.cern.ch/record/1262856/files/CERN-OPEN-2010-013.pdf>).

[2] : « Emittance Formula for Slits and Pepper-pot Measurement », Mon Zhang, Fermilab-TM-1988 : <http://lss.fnal.gov/archive/test-tm/1000/fermilab-tm-1988.pdf>.

[3] : « «Etude numérique et expérimentale de la dynamique du faisceau du photo-injecteur CANDELA et instrumentation associée », G. Devanz, Université Pierre et Marie-Curie, Paris VI, (mars 1999).