

FROM RESEARCH TO INDUSTRY

cea tech

# DEVELOPPEMENT D'UN NOUVEAU MODELE DE SOURCES VIRTUELLES POUR LA PREDICTION MONTE-CARLO D'IMAGES EPID ET IMPLEMENTATION DANS PENELOPE

Journées codes de calcul SFRP, 25 – 26 mars 2014

I. Chabert, D. Lazaro, E. Barat, T. Dautremer, T. Montagu, M. Agelou, P. Dupuis, F. Gassa, L. de Carlan

list



digiteo

## PLAN

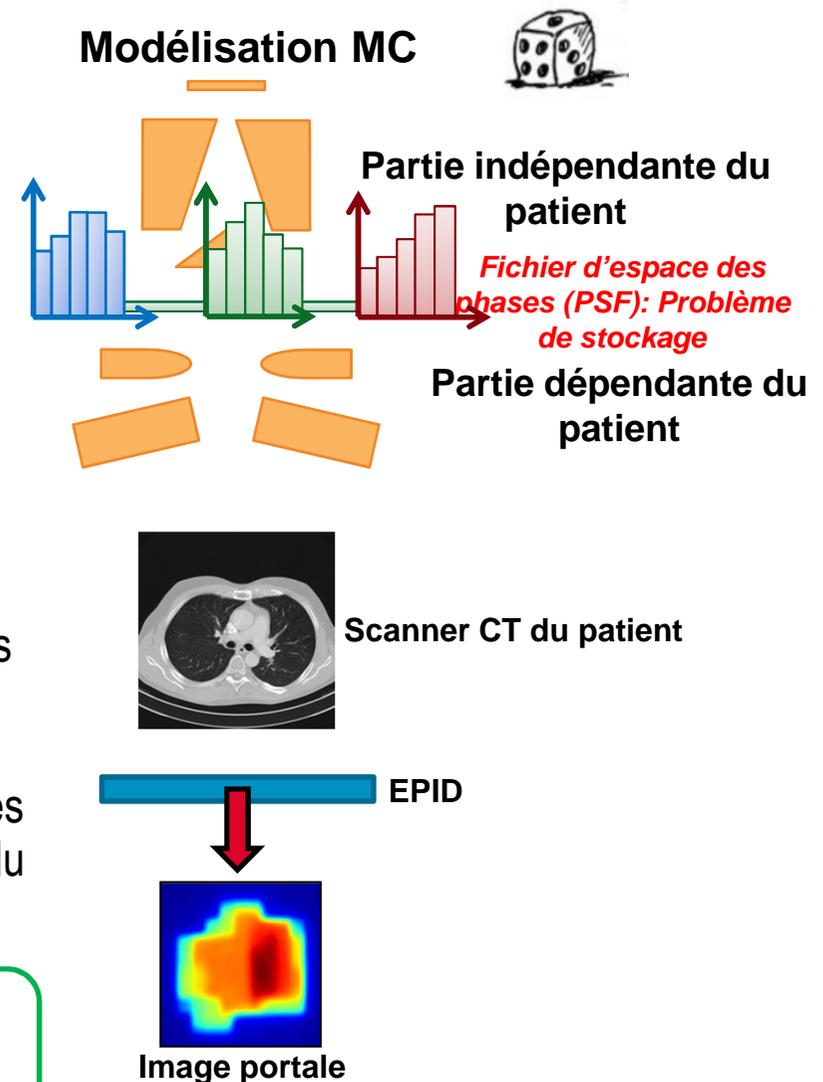
- **Contexte**
- **Construction du modèle de sources virtuelles**
- **Validation du modèle de sources virtuelles**
- **Conclusions et perspectives**

**CONTEXTE**

## Généralités

- ❑ **Objectif : Calculs précis d'images portales pour leur utilisation en dosimétrie *in vivo***
- ❑ **Simulation Monte Carlo (MC)**
  - De l'accélérateur linéaire à l'imageur portal
  - Avantage : précision des résultats
  - Inconvénient : temps de calcul très longs
- ❑ **Réduction du temps de calcul**
  - Stockage d'un fichier d'espace des phases (PSF)
  - Réutilisation du PSF pour les simulations ultérieures
- ❑ **Problèmes**
  - Taille du PSF limite le nombre de particules stockées
  - Introduction de corrélations en cas de réutilisation du PSF

Solution: Modèles de sources virtuelles (MSV)  
 → Représentation compacte du faisceau  
 → Création de nouvelles particules



## Construction du modèle à partir d'un espace des phases

### ❑ Pré-requis

- Calculer un fichier PSF à partir d'un modèle MC du linac validé
- Fichier PSF → informations pour chaque particule  
Nature, énergie, position, direction et lieu de dernière interaction

### ❑ Construction du modèle : obtention des histogrammes corrélés

- Tri des photons en fonction de la position de la dernière interaction  
→ chaque groupe de particule est une **sous-source**
- Analyse des caractéristiques de chaque sous-source (énergie, position, direction)
- Création d'histogrammes corrélés pour chaque sous-source

### ❑ Implémentation du modèle dans un code MC

- Choix d'une sous-source en fonction de son intensité relative
- Echantillonnage des caractéristiques des particules dans le/les histogramme(s) corrélé(s)
- Transport MC de la particule dans la suite de la géométrie

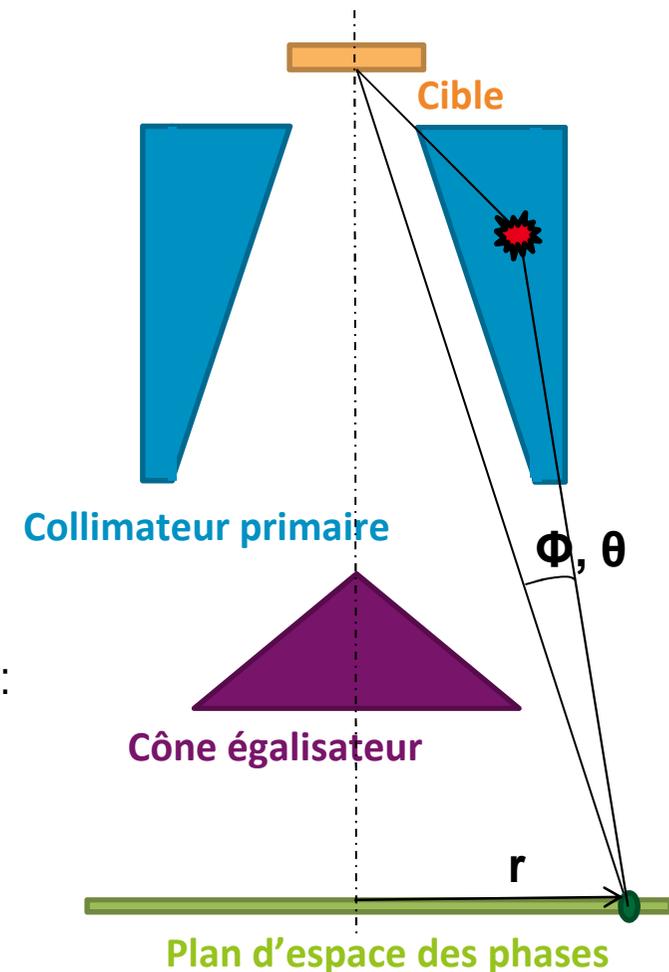
# **PRESENTATION DU MODELE**

## □ Simulation MC (PENELOPE)

- Modèle validé du linac Synergy (Elekta) en mode 6 MV
- Pas de réduction de variance
- Stockage du PSF en sortie de cône égalisateur

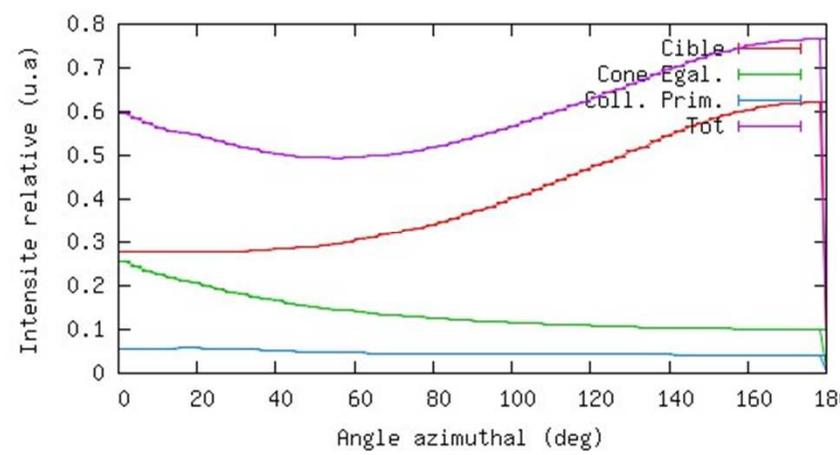
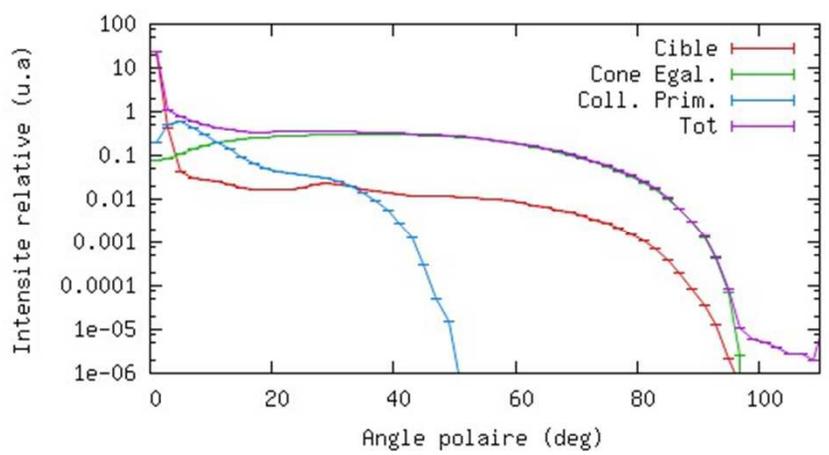
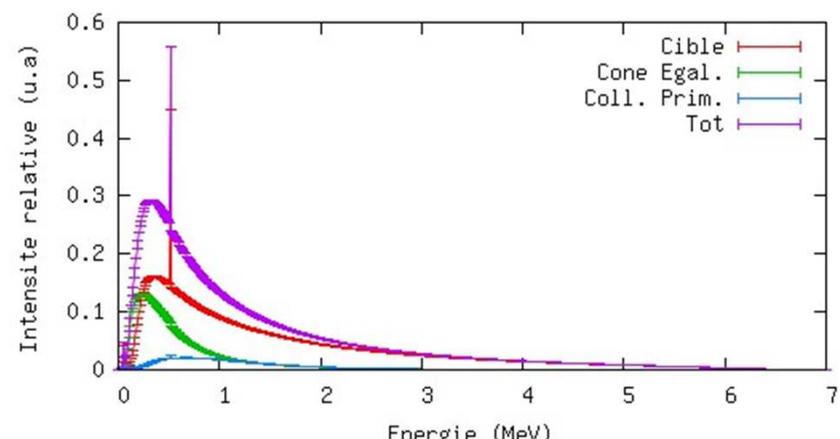
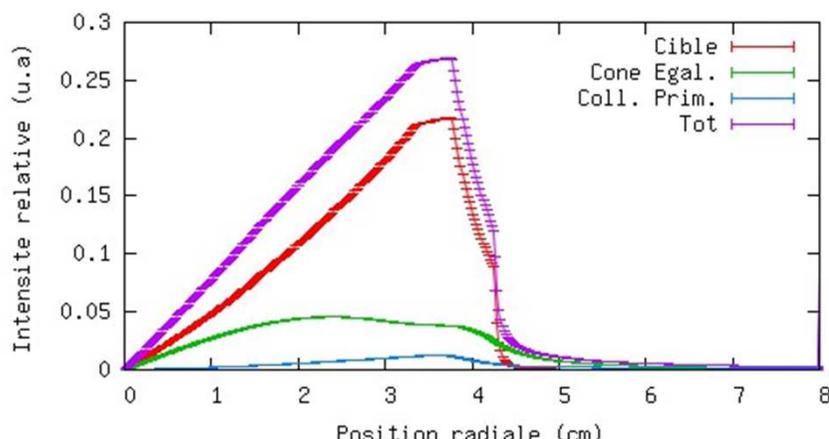
## □ Création du modèle de source

- 3 sous-sources : « Cible », « collimateur primaire » et « cône égalisateur »
- Expression de la position et de la direction des photons dans un repère mobile : *position radiale ( $r$ )*, *déviat*ion ( $\varphi$ ) et *orientation de la déviation ( $\theta$ )*
- Etude des caractéristiques physiques de chaque sous-source : *énergie ( $E$ )*, *position radiale ( $r$ )*, *direction ( $\varphi, \theta$ )*
- Création d'un histogramme en 4D pour chaque sous-source



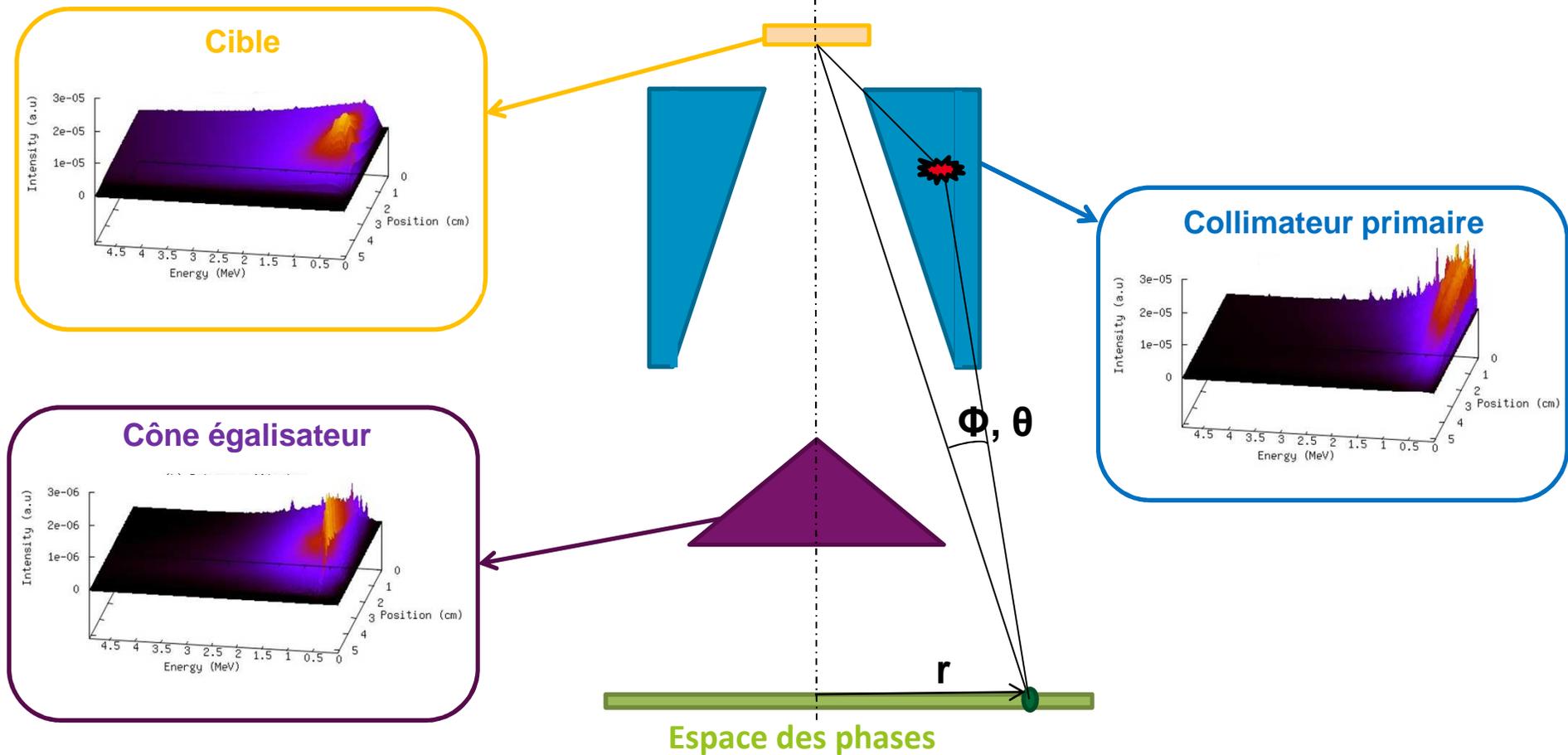
## Histogrammes 1D

**Intensités relatives des sources**  
 Cible : 69 %  
 Collimateur primaire : 8 %  
 Cône égalisateur : 23 %



## Histogrammes 2D

- Exemple : Position versus énergie



## Choix du maillage

### □ Maillage régulier

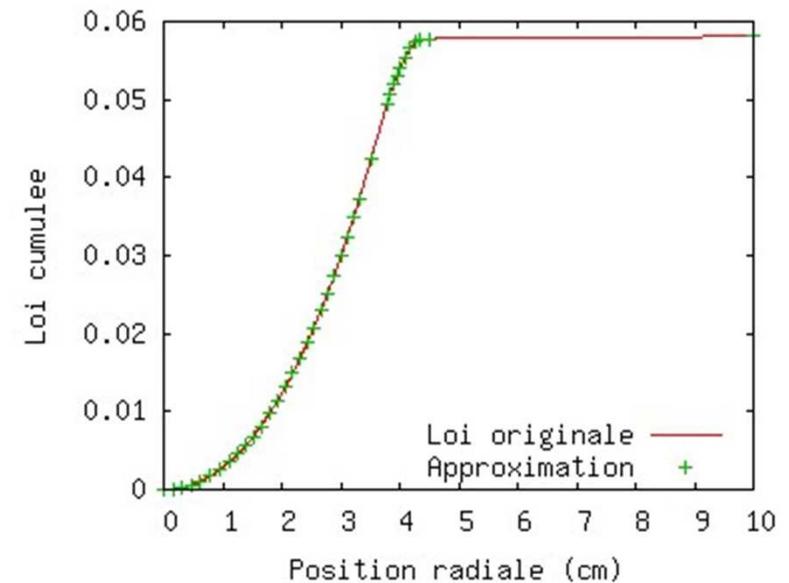
- Simple à mettre en œuvre
- Tout l'espace est parcouru avec la même précision
- Nombre de canaux à manipuler important
- Problèmes de statistiques dans les zones peu peuplées

### □ Maillage irrégulier

- Canaux plus larges au niveau des zones peu peuplées
- Contrôle fin du nombre de canaux à manipuler

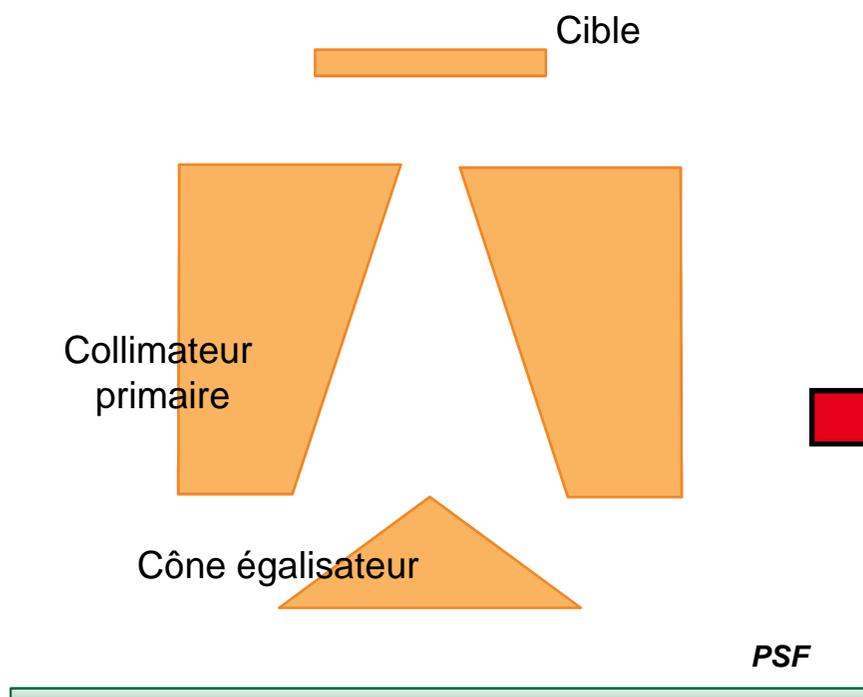
### □ Choix du maillage

- Utilisation des distributions cumulées 1D
- Approximation de chaque distribution cumulée par une fonction par morceaux (fonctions linéaires)
- Précision du modèle dépend de la fonction par morceau choisie

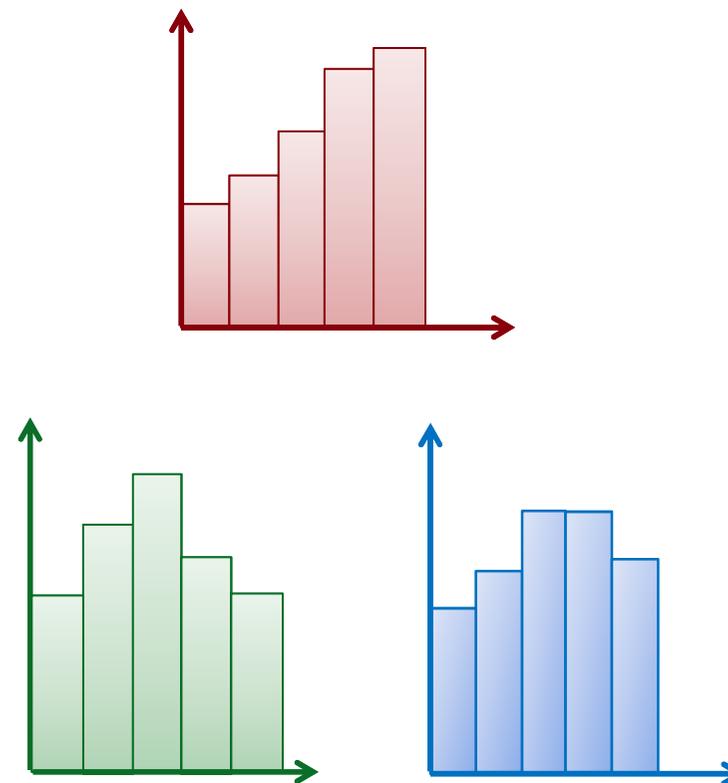


**Exemple :** Source 'Cible' – Position radiale  
Loi cumulée de référence en 1000 points  
→ Approximation en 40 points

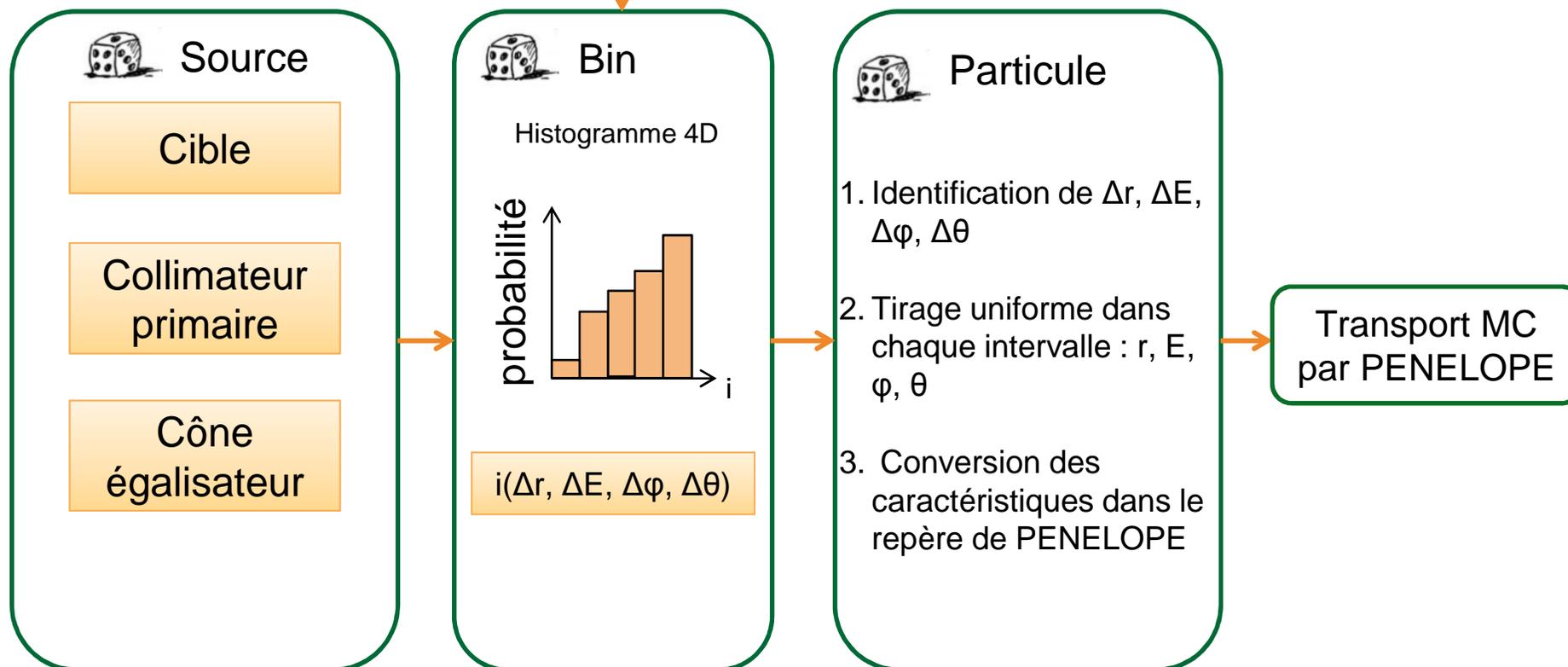
Modélisation MC + PSF 



Modèle de source virtuelle



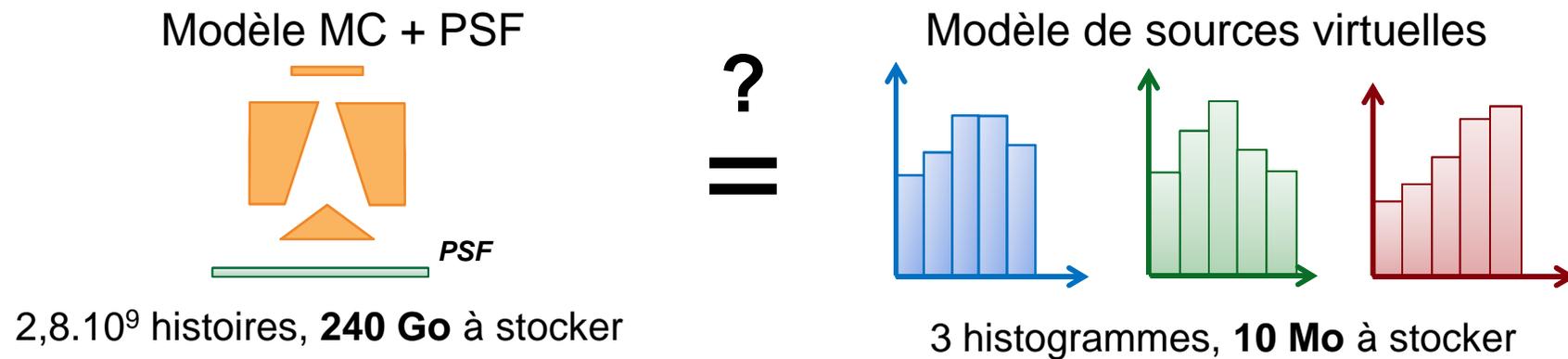
Histogrammes corrélés



# VALIDATION DU MODELE

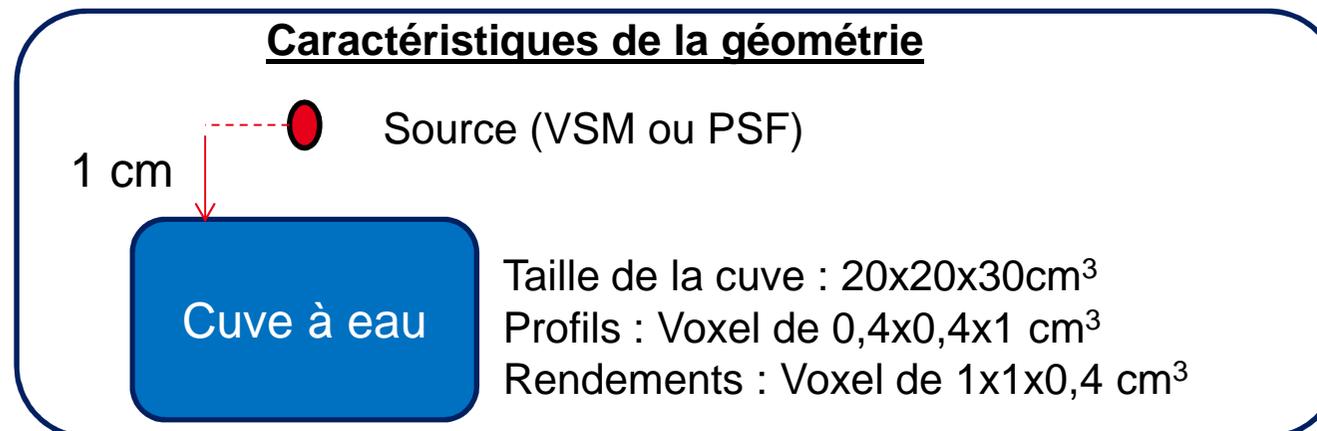
## Objectifs

- Montrer l'équivalence du PSF et du modèle de sources virtuelles (MSV)



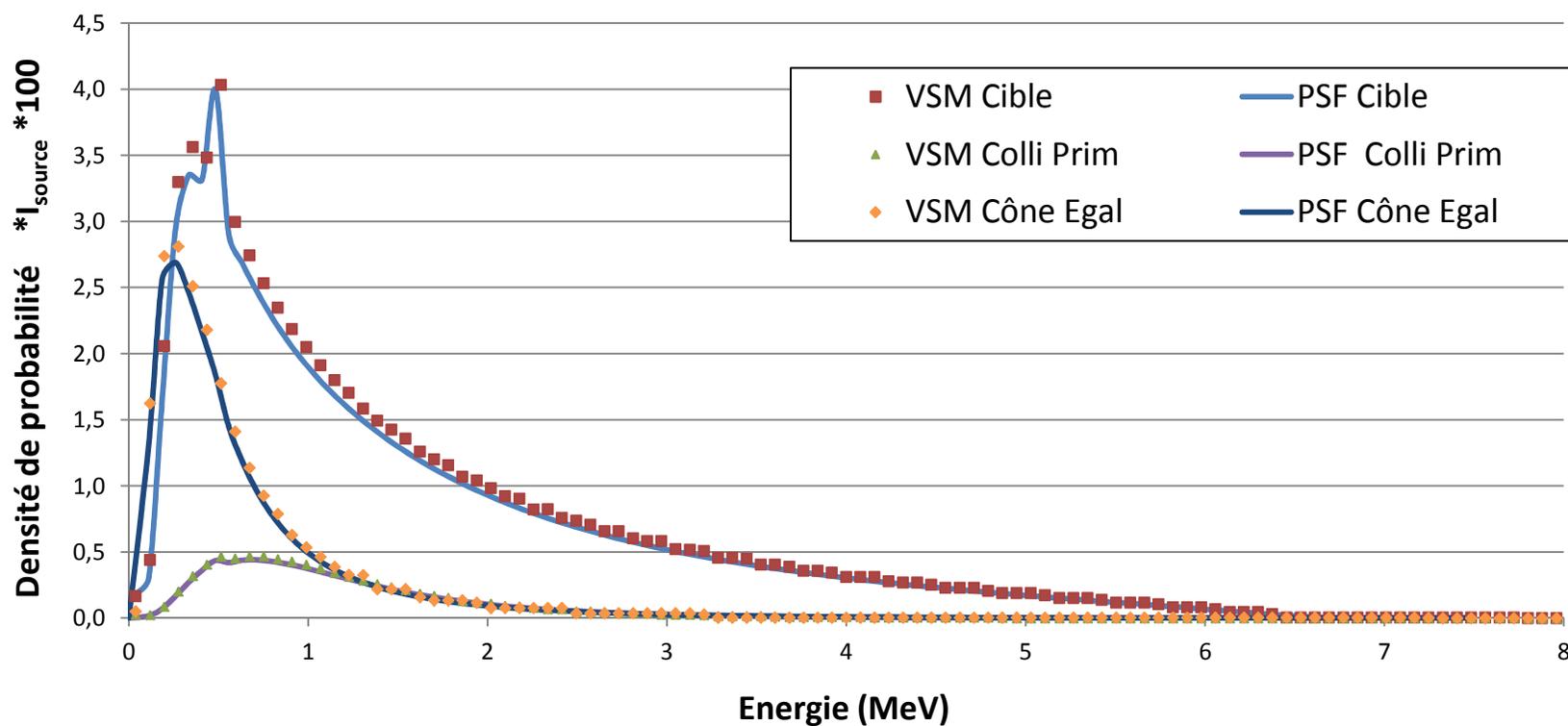
## Objectifs

- ❑ **Contrôle des caractéristiques du faisceau avec le PSF et le MSV, source par source**
  - $2 \cdot 10^8$  photons
  - Spectres
  - Distributions angulaires dans le repère de PENELOPE
  
- ❑ **Calculs de dose dans l'eau avec le PSF et le MSV, source par source, sans moyen de collimation**
  - $5 \cdot 10^8$  photons
  - Profils
  - Rendements



## Caractéristiques du faisceau

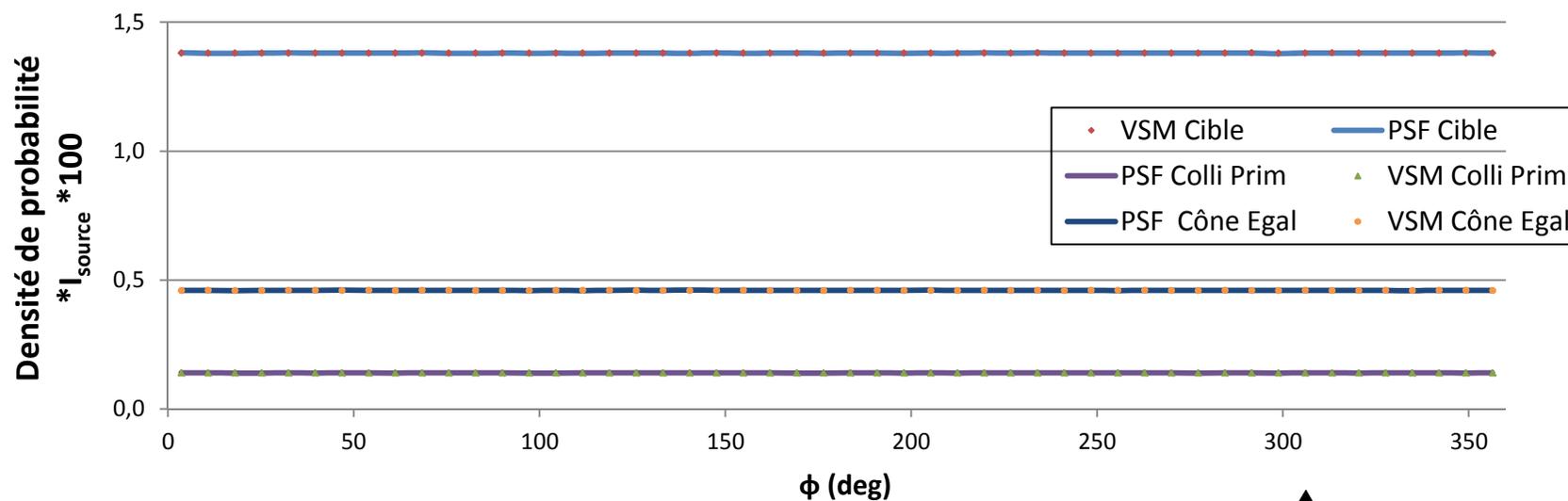
### Spectres en énergie



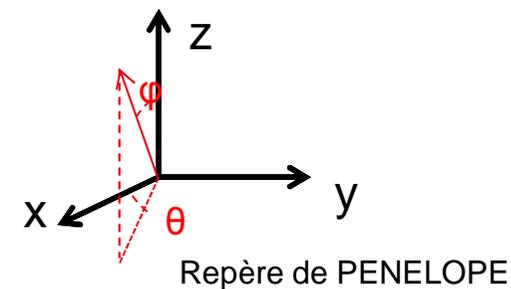
Ecart maximum VSM/PSF : 9 %

## Caractéristiques du faisceau

### Distributions en angle polaire

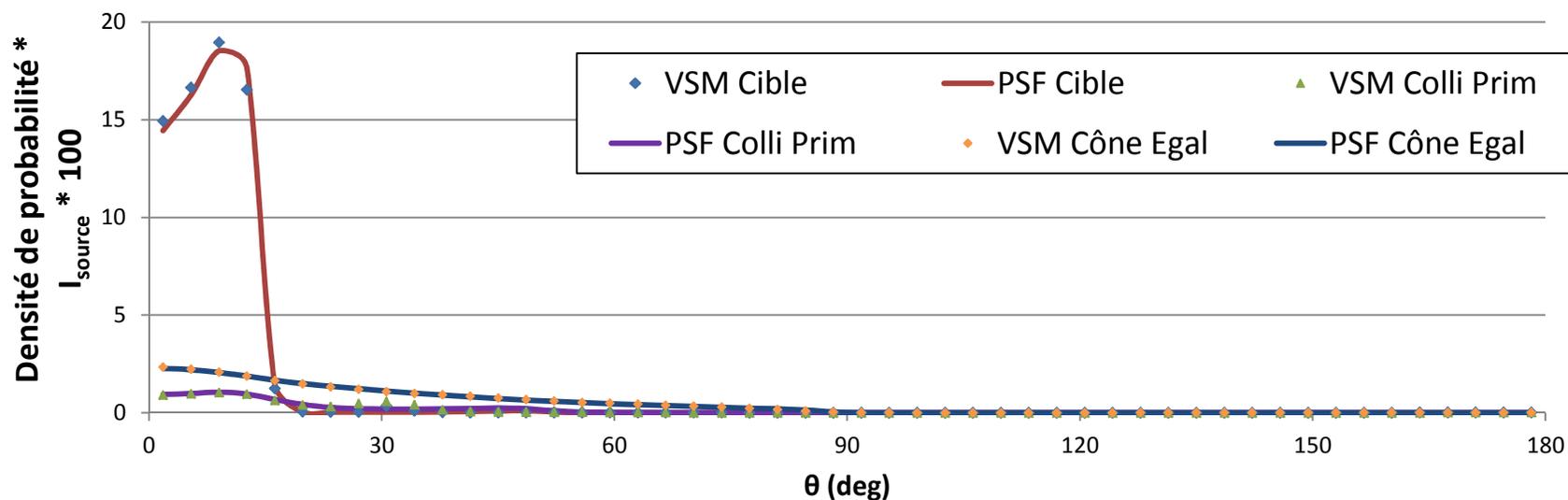


Ecart maximum VSM/PSF : 0,5 %  
→ Symétrie axiale du faisceau respectée



## Caractéristiques du faisceau

### Distributions en angle azimutal

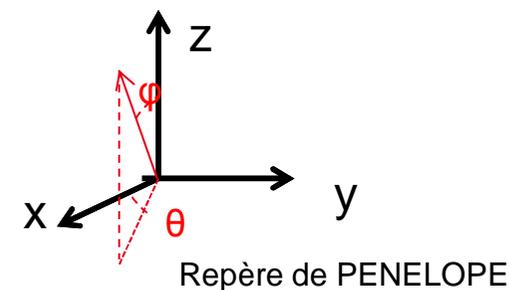


Ecarts maximum VSM/PSF :

Cible : 8,8%

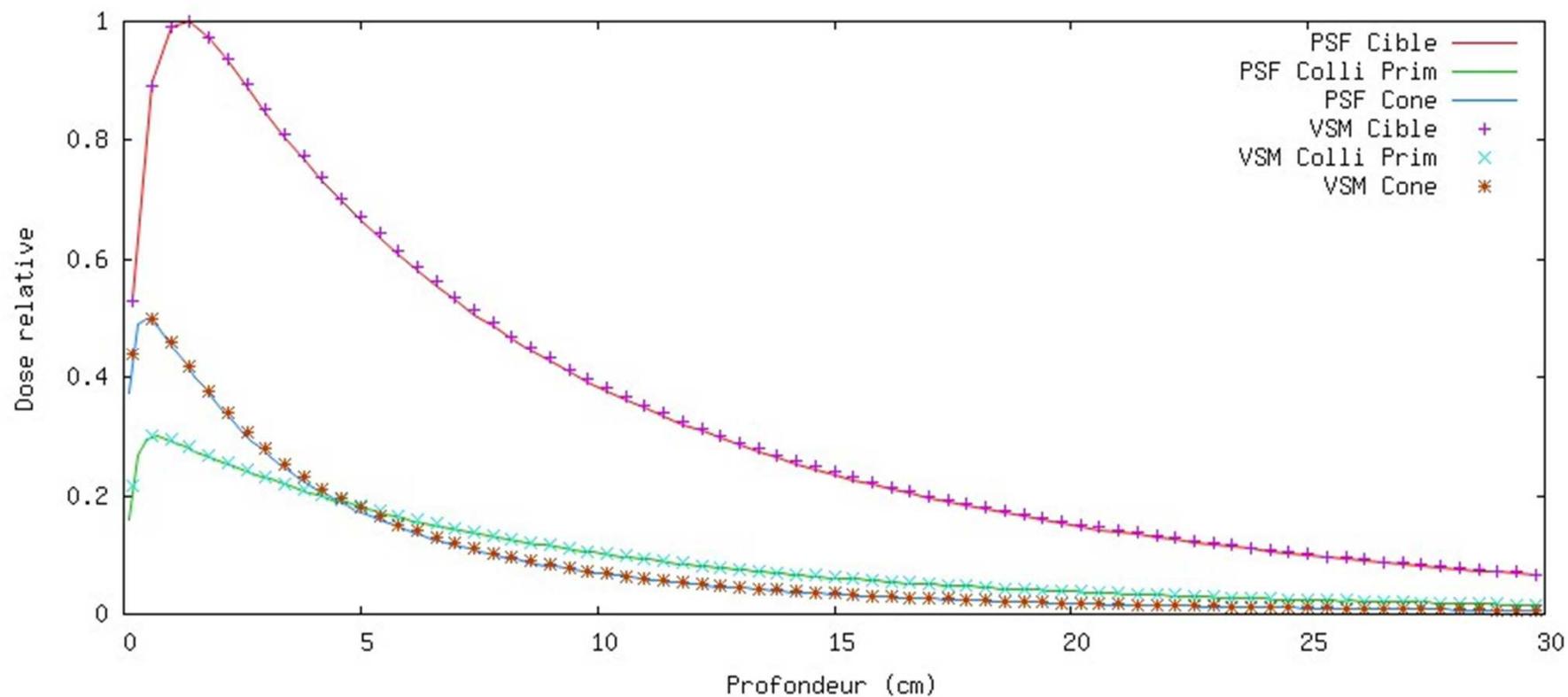
Cône : 3,9%

Collimateur primaire : 11 points compris entre 5 % et 200%



## Calculs de dose

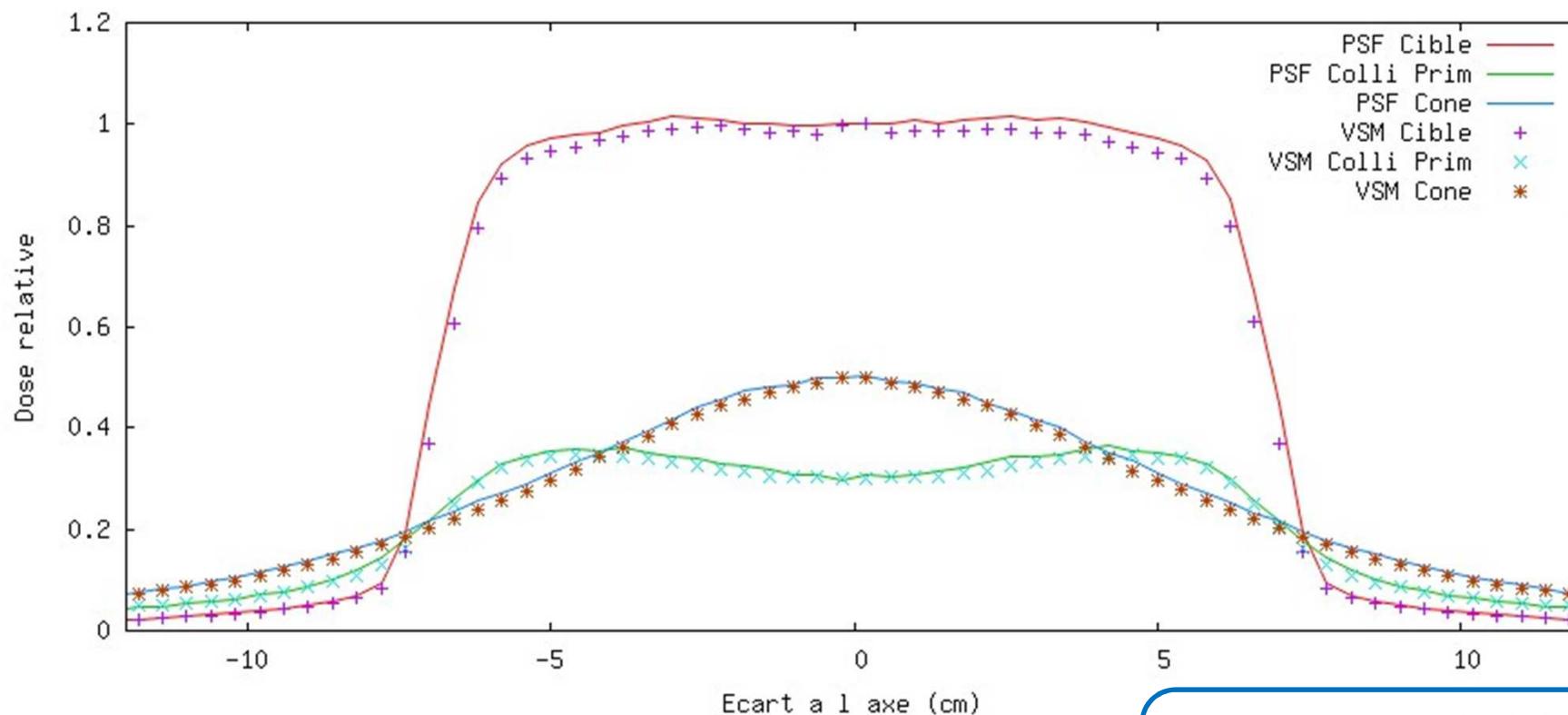
### Rendements en profondeur



Ecart maximum VSM/PSF : 2%

## Calculs de dose

### Profils à 10 cm



Ecarts maximum VSM/PSF :  
 Cible : 19%  
 Cône : 9,6%  
 Collimateur primaire : 7,7%

## **CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES**

## □ Conclusions

- Représentation compacte du fichier d'espace des phases
- Fichier d'espace des phases original de taille importante pour avoir une statistique suffisante dans tous les histogrammes 4D
- Maillage à adapter à chaque sous-source pour représenter correctement le faisceau

## □ Perspectives

- Optimisation du maillage à poursuivre :  
Prise en compte de l'évolution des distributions cumulées en 4D
- Etude des limites statistiques du modèle
- Rajouter la contribution des particules chargées (0,6%)
- Comparaison avec un autre modèle décrit dans la littérature (Fix *et al* 2004\*)
- Utilisation du modèle pour la simulation de plans de traitement et d'images portales

\*M. K. Fix, P.J. Keall, K. Dawson and J.V. Siebers, "Monte Carlo source model for photon beam radiotherapy: photon source characteristic", Med. Phys. 31 (2004) 3106-2120.

**MERCI DE VOTRE ATTENTION**

---

Isabelle Chabert  
Centre CEA-Saclay  
DRT/LIST/DM2I - Laboratoire Modélisation, Simulation et Systèmes  
[Isabelle.chabert@cea.fr](mailto:Isabelle.chabert@cea.fr)