

Activité ATF2 @ LLR

Modélisation bruits de fond
– focus sur neutrons –

LAL
09/06/2011

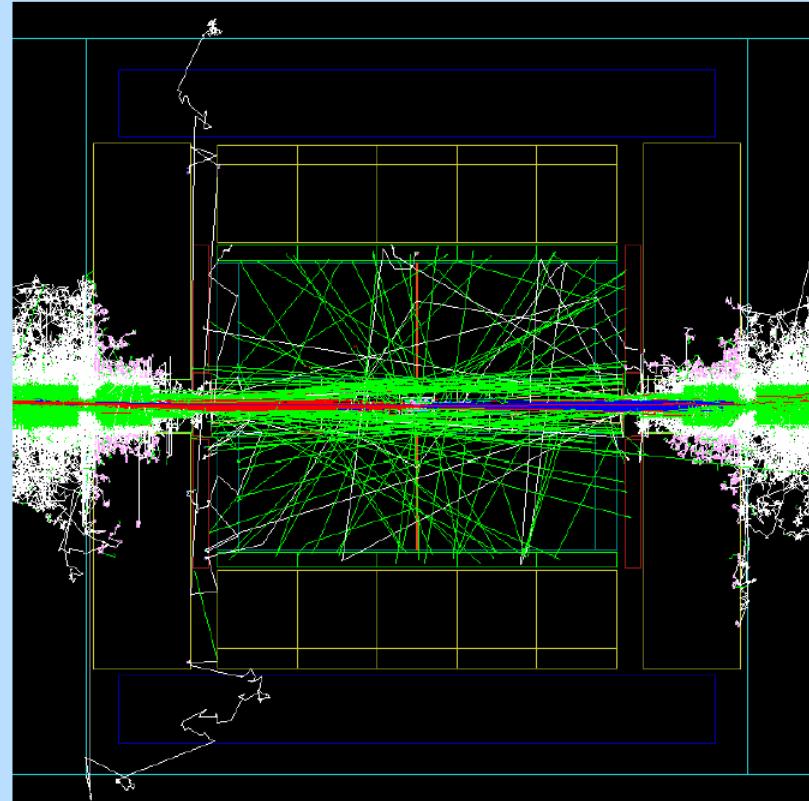
Hayg Guler
Marc Verderi
LLR, Ecole polytechnique

Introduction [1/2]

- Les études de bruits de fond à ILC/CLIC sont basées sur la simulation:
 - eg : Geant4, FLUKA, ...
 - Et des études détaillées ont été ou sont en cours de réalisation:
 - Voir par exemple la thèse d'Adrian Vogel's thesis (utilisant Geant4)
- Mais on peut se poser la question de la fiabilité de ces simulations quant aux questions de production et de transport de neutrons:
 - Les données et le MC diffèrent-ils ou non par des facteurs importants, voire des ordres de grandeurs ?
 - Et quelle est la situation en particulier avec Geant4 ?

Exemple de simulation de bruit

The Whole Detector – After 1/10 BX



Introduction [2/2]

- Il y a une collaboration française ATF2 (programme ANR-06-BLAN-0027 + LIA FJPPL/TYL):
 - dont Philip Bambade est le coordinateur
- Activité au LLR:
 - Modélisation des bruits, et en particulier des bruits neutroniques
 - Nous voulons évaluer les performances de Geant4 dans ce domaine
- Notre approche est de considérer une situation réelle
 - Et de mesurer, simuler et comparer
- Que peut-on apprendre à ATF2, où l'énergie des e^- n'est que de 1.3 GeV ?
 - A CLIC/ILC l'énergie des électrons est $O(\text{TeV})$
 - Mais dans les parties denses, l'énergie des particules perdues se dégrade rapidement
 - Ce qui génère une grande multiplicité de photons de basse énergie
 - Or la section efficace de production de neutrons par photo-production est grande à basse énergie
 - Est-ce le mécanisme dominant ?
 - Ce régime est accessible à ATF2
 - Un autre aspect est d'apprendre et de mettre en oeuvre des techniques de simulation peu communes en HEP
 - Car une simulation “brute force” est inefficace à obtenir des statistiques de travail

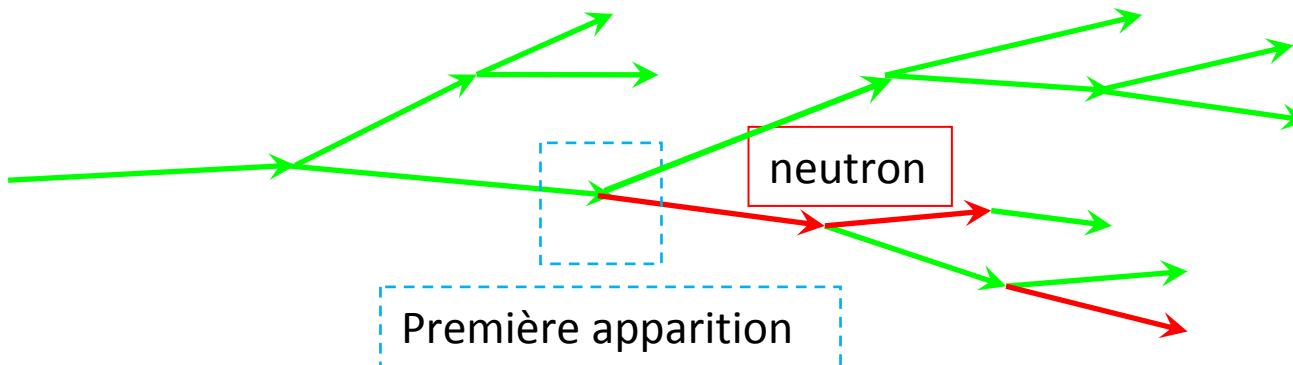
Plan

- Production de neutrons dans les gerbes électromagnétiques
- Appareillage de mesure
 - Modules de mesures
 - Pourquoi des scintillateurs CsI et plastiques ?
 - Réponse du plastique aux neutrons et effet Birks
- Technique de simulation
- Données neutrons KEK : comparaison avec la simulation Geant4

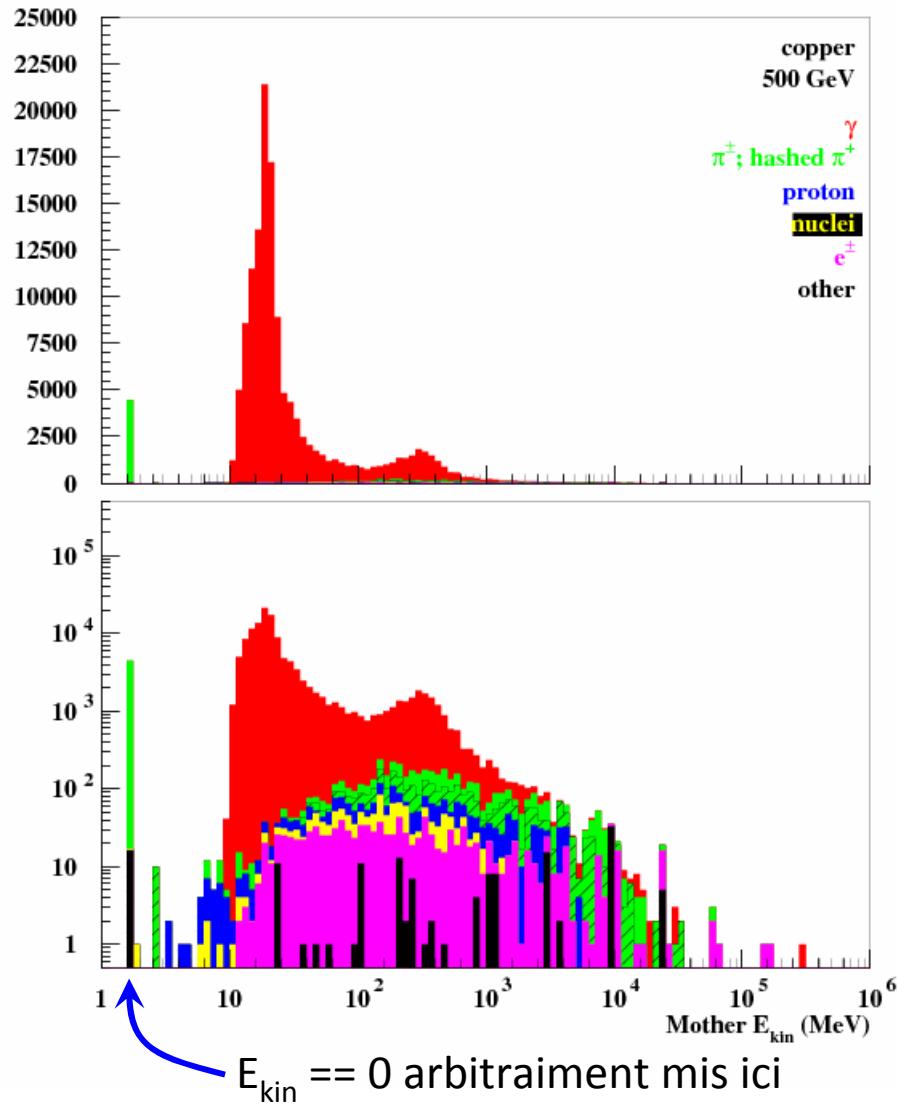
Production de neutrons dans les gerbes électromagnétiques

Production de neutrons dans les gerbes électromagnétiques

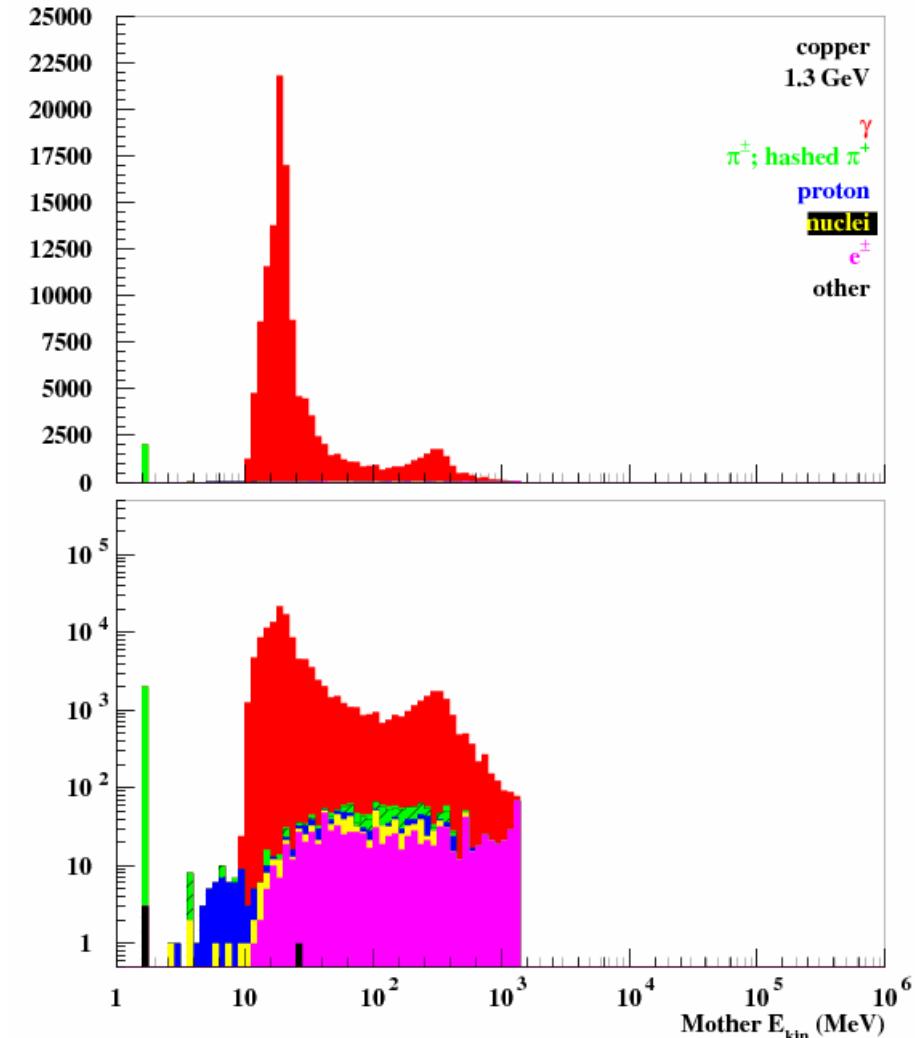
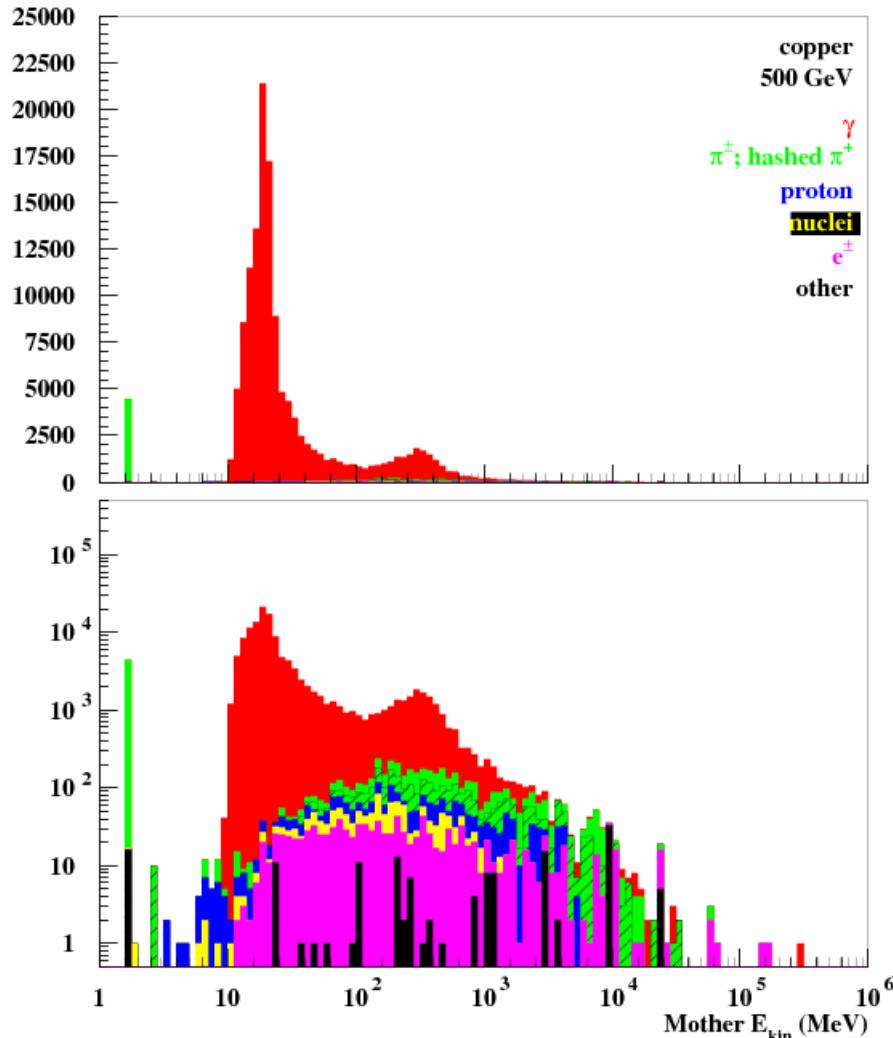
- Compare production de neutrons dans gerbes d'électrons incidents de 500 et 1.3 GeV :
 - $500 \text{ kGeV incident} = 1000 e^- \times 500 \text{ GeV}$
 - $500 \text{ kGeV incident} = 384615 e^- \times 1.3 \text{ GeV}$
- Comment les neutrons font leur (première) apparition dans la gerbe électromagnétique ?
 - Quelles sont les particules initialement génératrices de neutron ?
 - Quel est le spectre en énergie des neutrons produits ?



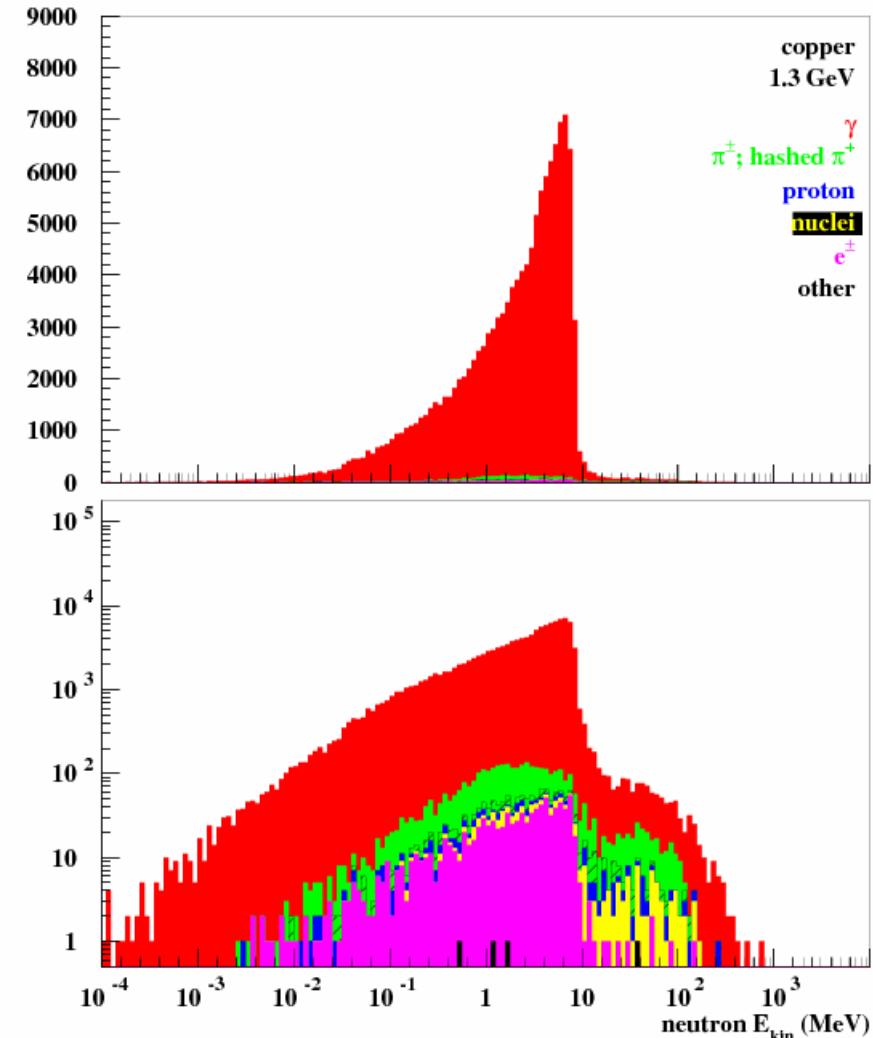
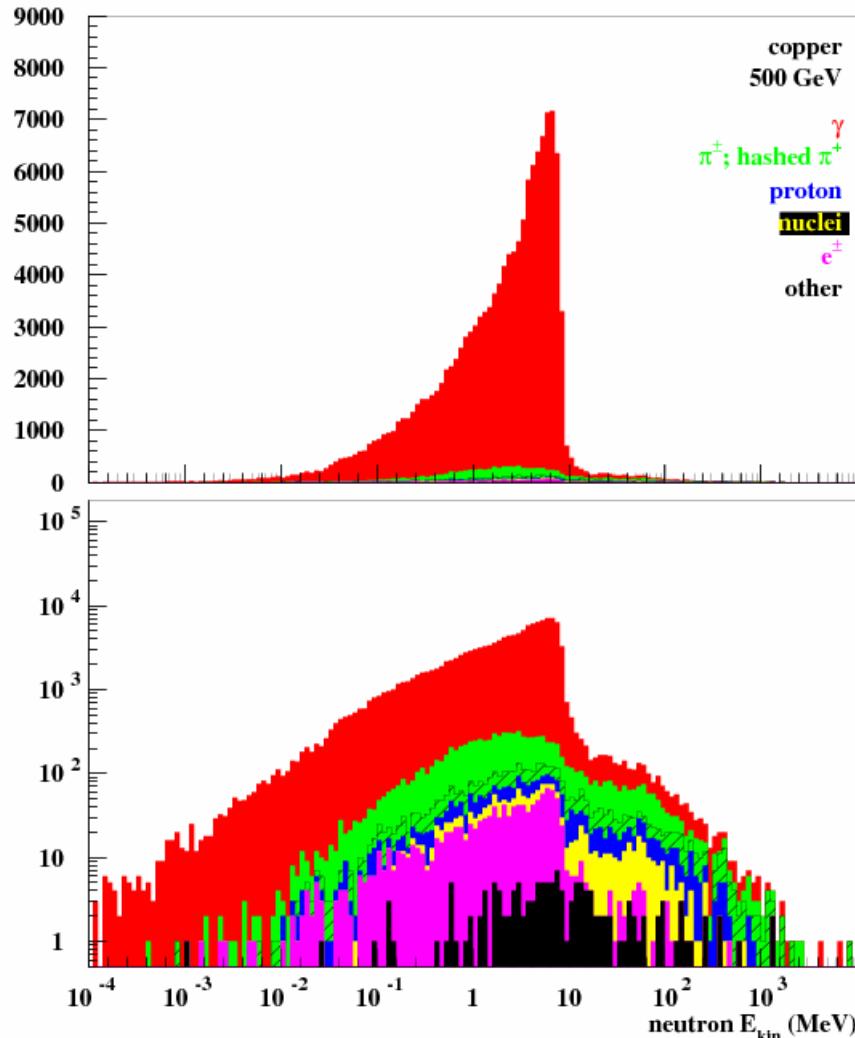
E_{kin} mère neutron, cuivre



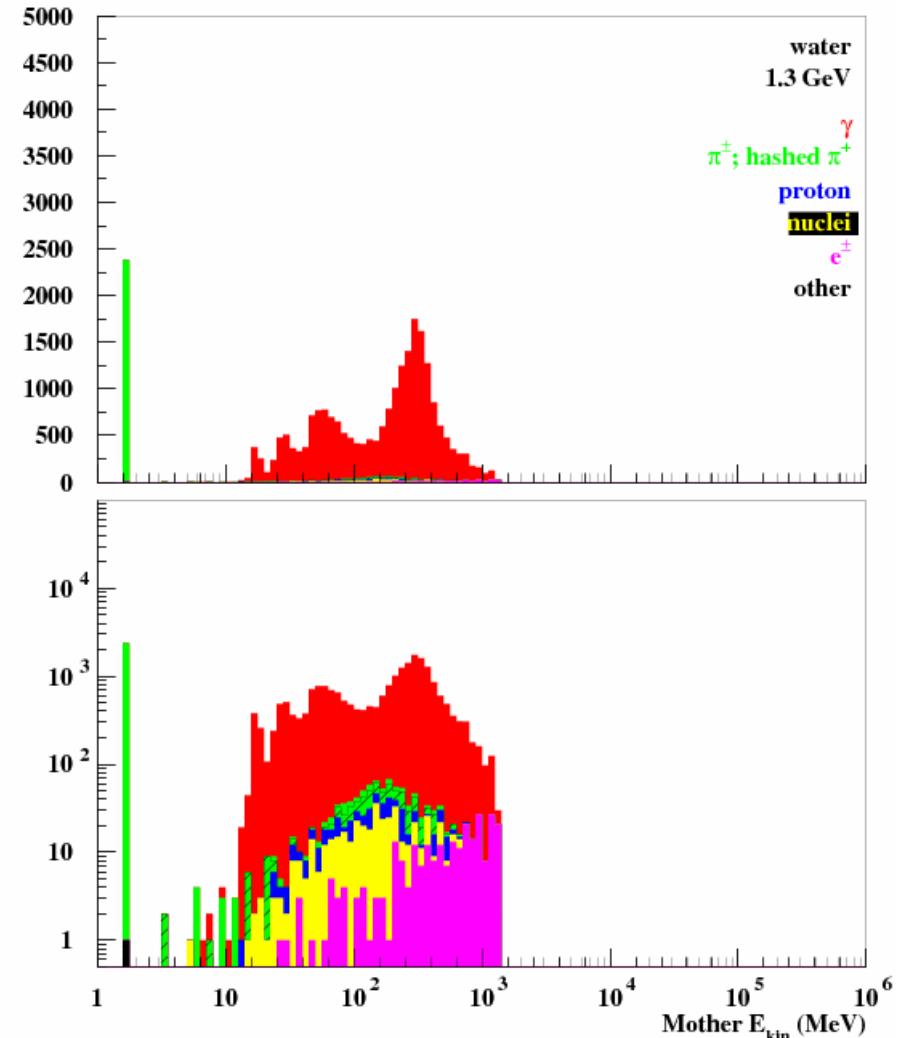
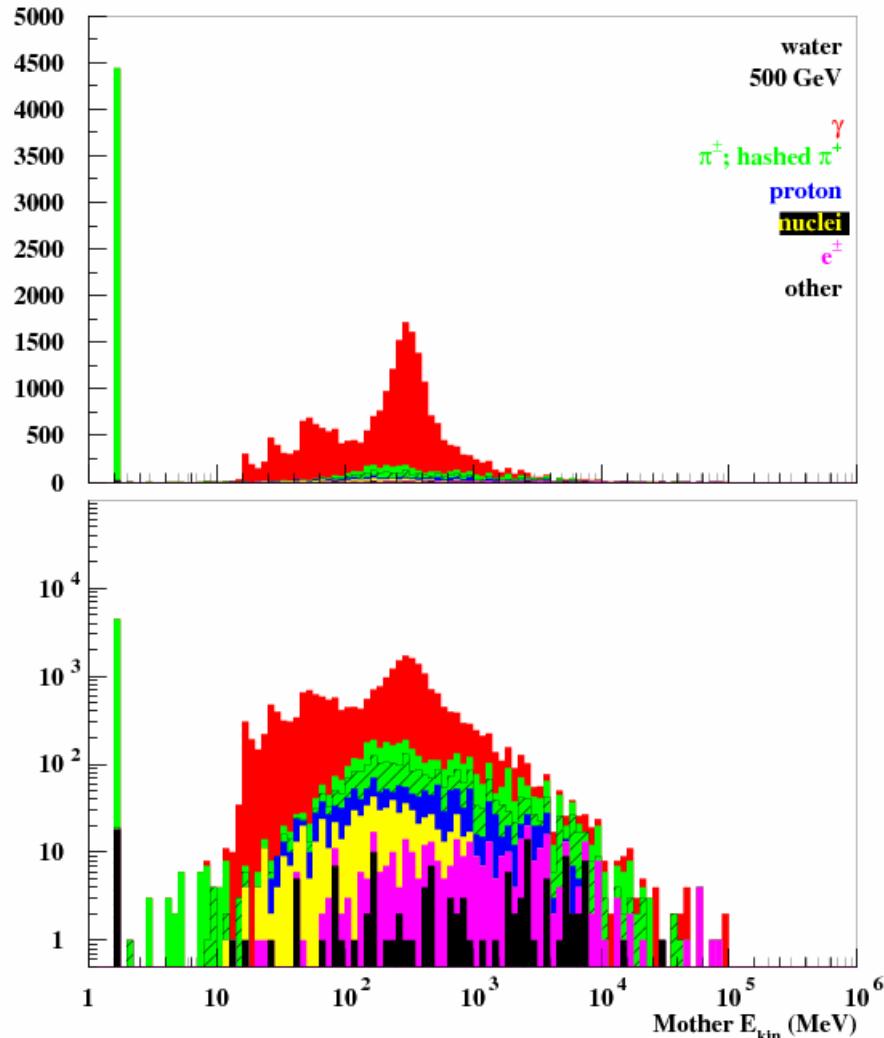
E_{kin} mère neutron, cuivre



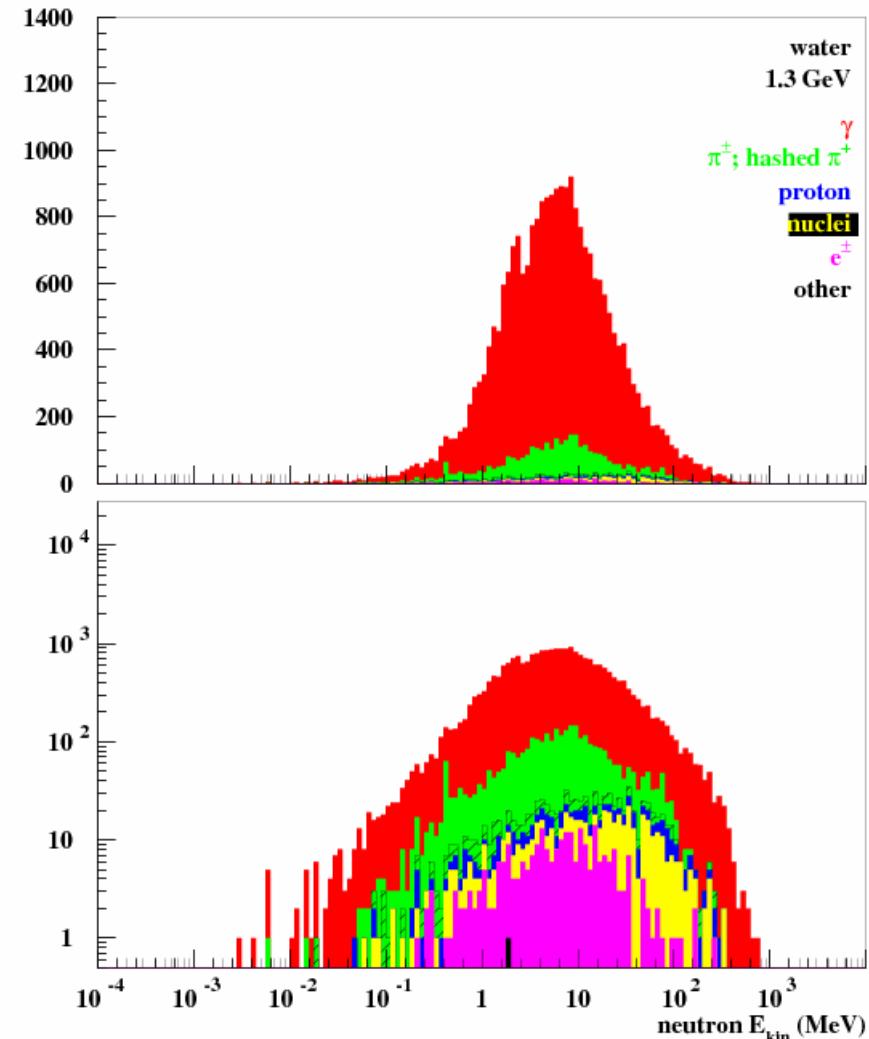
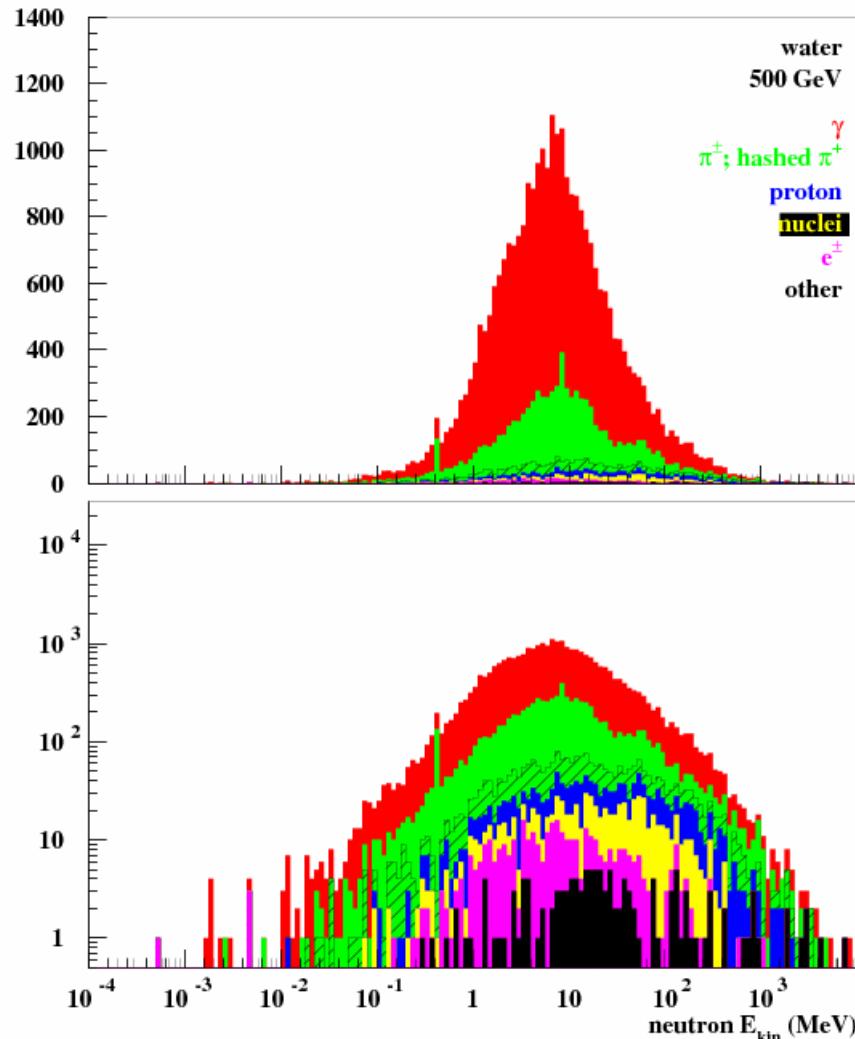
E_{kin} neutron, cuivre



E_{kin} mère neutron, eau



E_{kin} neutron, eau



ATF2 & MDI ILC/CLIC pour les neutrons

- A 1.3 GeV, on couvre l'essentiel de l'espace de phase de la production de neutrons dans les gerbes EM:
 - Le mécanisme largement dominant est la photoproduction
 - Il y a plus de sources de production à haute énergie (eg capture nucléaire de π^-), mais sans influence notable sur le spectre en énergie des neutrons
- Du point de vue de la simulation Geant4, la photo-production est gérée par un seul et même modèle à toutes les énergies:
 - CHIPS = Chiral Invariant Phase Space
 - On peut donc évaluer ce modèle à basse énergie
- Ensuite, le spectre des neutrons produits étant essentiellement les mêmes pour des électrons incidents de basse ou haute énergies, on peut tester le transport de ces neutrons dans la matière
 - ***Par exemple en regardant le flux de neutron qui sort du dump***
 - ***Et qui doivent traverser environ un mètre de fer !***
- On peut donc évaluer à ATF2 les performances de Geant4 pour les besoins de MDI ILC/CLIC !

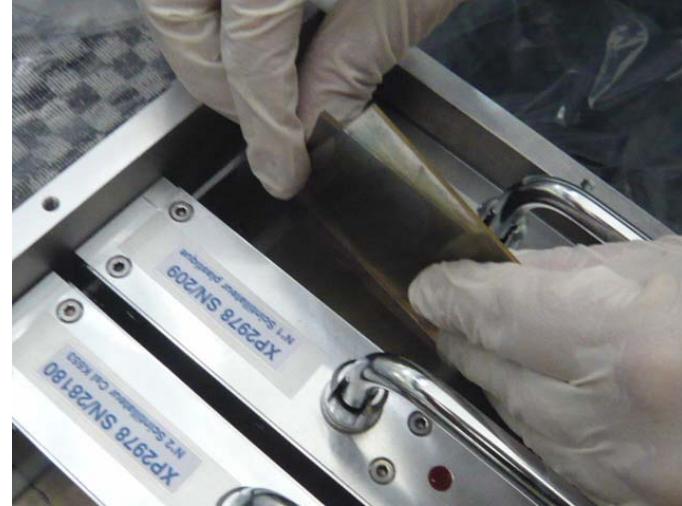
Appareillage de mesure

Modules de mesure

- Liste des modules:

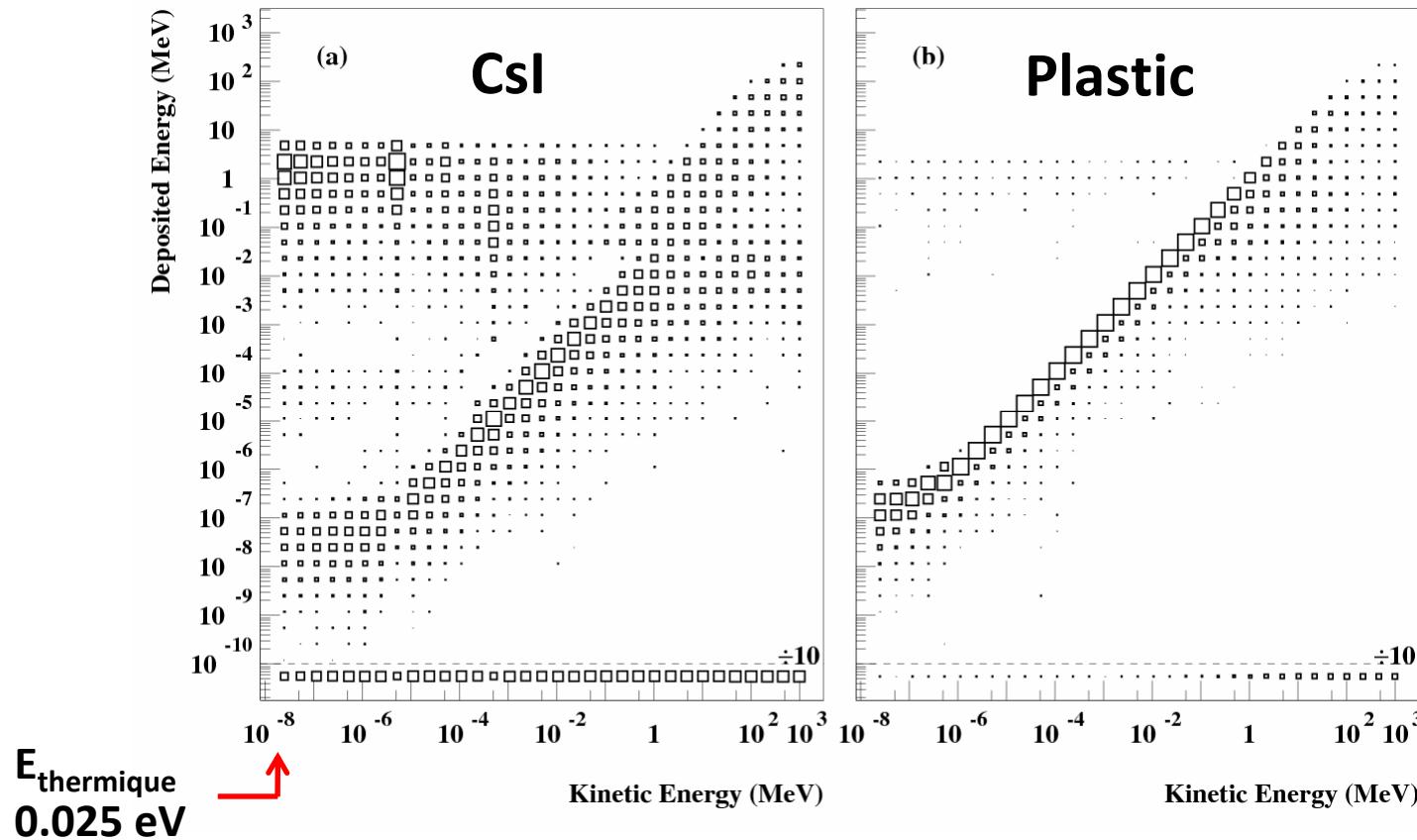
Module Number	Delivery Date	Module Name	Scintillator Type	Scintillator Dimensions (mm)	Photomultiplier Type
1	March 2009	mod-1-old-P	BC-408	60 × 60 × 38	XP2978/B
2	March 2009	mod-2-old-CsI	CsI	60 × 60 × 20	XP2978/B
3	March 2009	mod-3-old-P	BC-408	60 × 60 × 38	XP2978/B
9	March 2009	mod-ghost-old	(none)	/	XP2978/B
4	October 2009	mod-1-new-P	BC-408	60 × 60 × 38	XP2920
5	October 2009	mod-2-new-P	BC-408	60 × 60 × 38	XP2920
6	October 2009	mod-3-new-P	BC-408	60 × 60 × 38	XP2920
7	October 2009	mod-4-new-CsI	CsI	60 × 60 × 20	XP2920
8	October 2009	mod-5-new-CsI	CsI	60 × 60 × 20	XP2920

- Exemple de montage:



Pourquoi scintillateurs CsI et plastique ?

- Scintillateurs rapides : permettent de faire du temps de vol
 - Utile pour bruit EM; et pour neutrons : $\text{ToF} \sim E_{\text{kin}}$
- Réponse différentes et complémentaires aux neutrons :



Effet Birks dans scintillateurs plastiques

- Scintillateurs organiques connus pour phénomènes de saturation de l'émission de lumière, pour particules de hauts dE/dx
 - Effet Birks
- Paramétrisation(s):

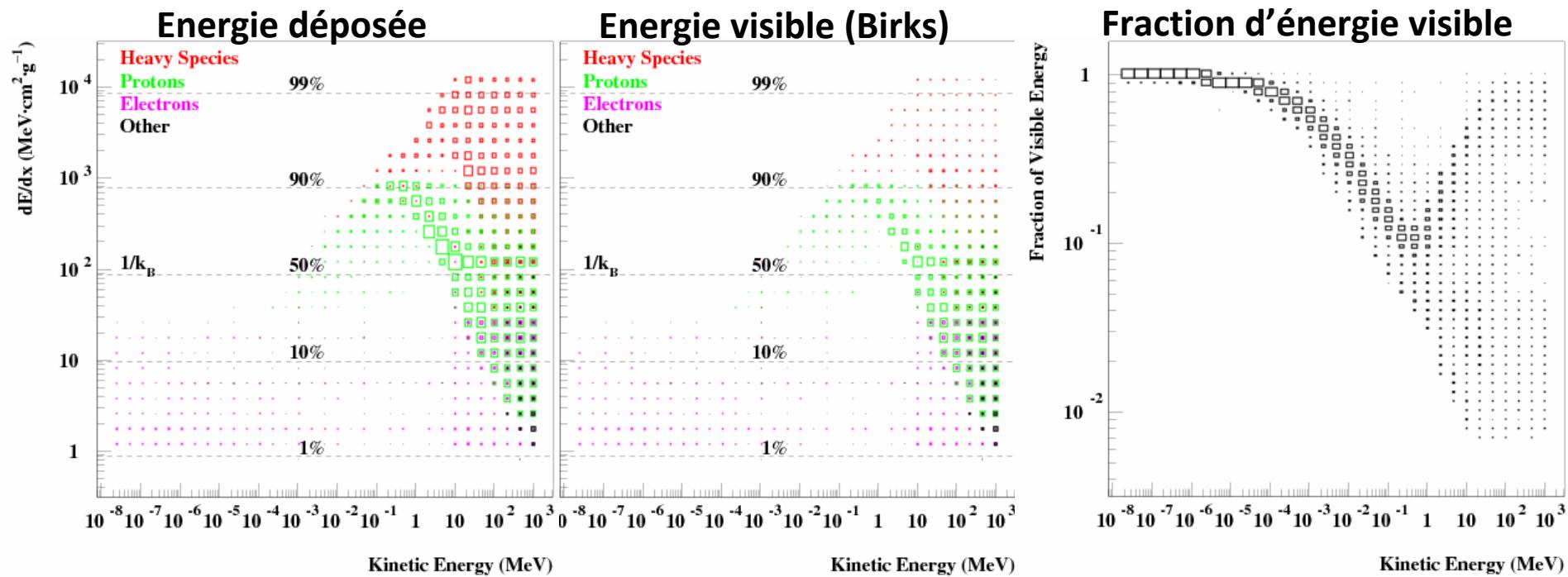
$$\frac{dE_{vis.}}{dx} = \frac{dE/dx}{1 + k_B dE/dx}$$

$$k_B \sim 10^{-2} \text{ g.cm}^{-2} \cdot \text{MeV}^{-1}$$

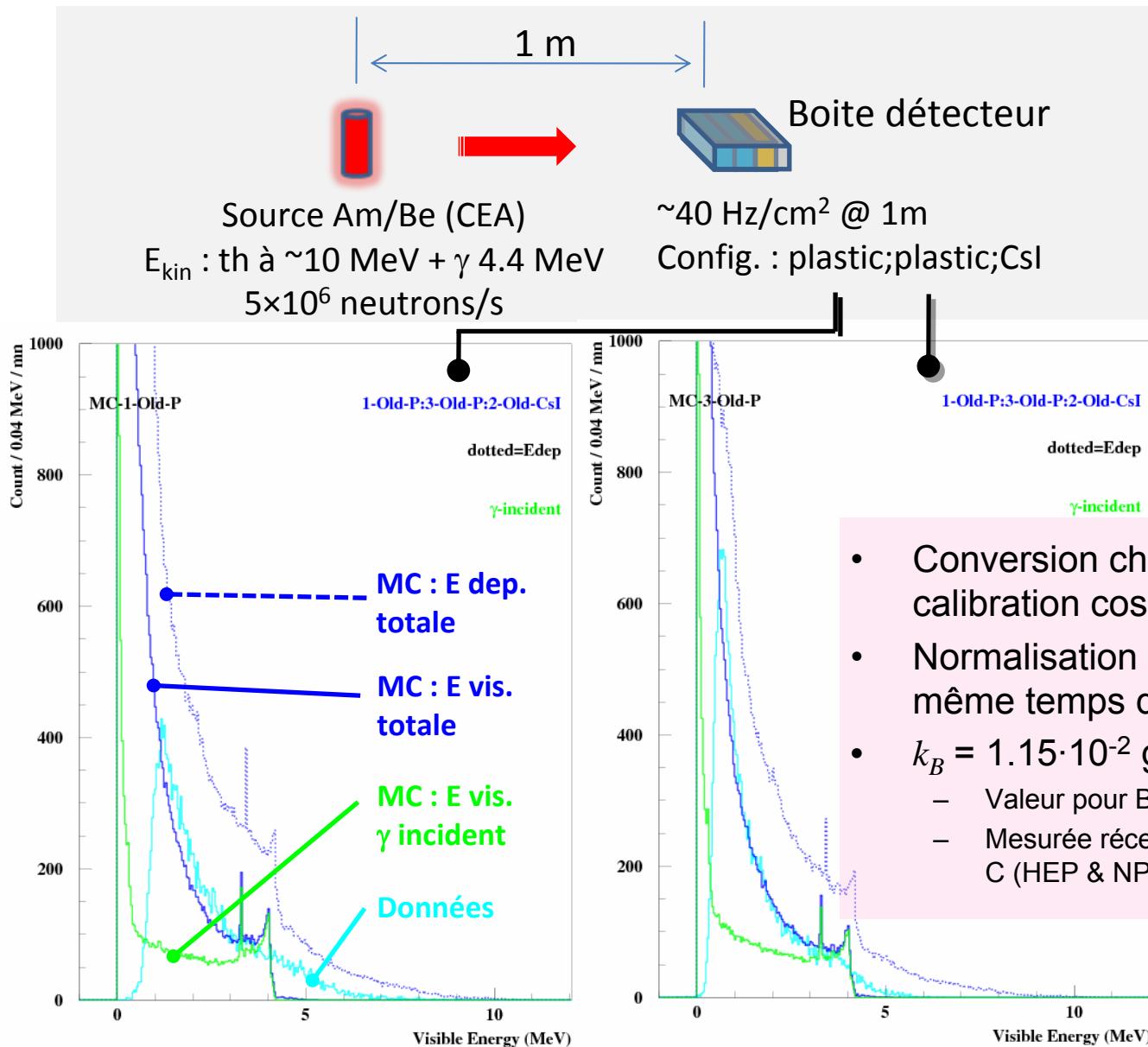
ou

$$\frac{dE_{vis.}}{dx} = \frac{dE/dx}{1 + k_B dE/dx + c(dE/dx)^2}$$

$$c \sim 10^{-5} (\text{g.cm}^{-2} \cdot \text{MeV}^{-1})^2$$

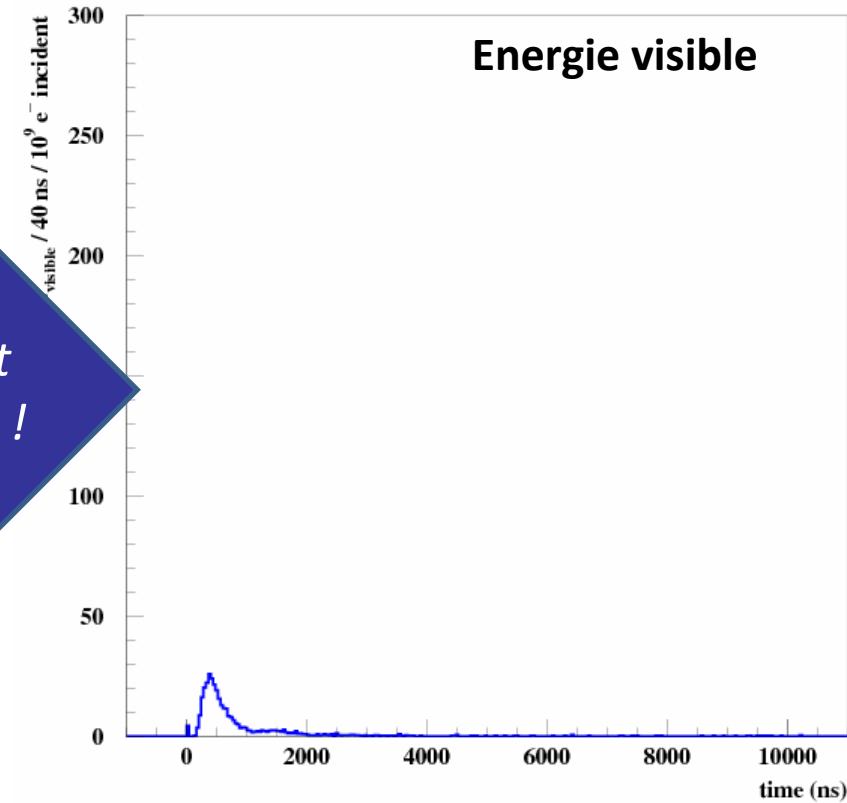
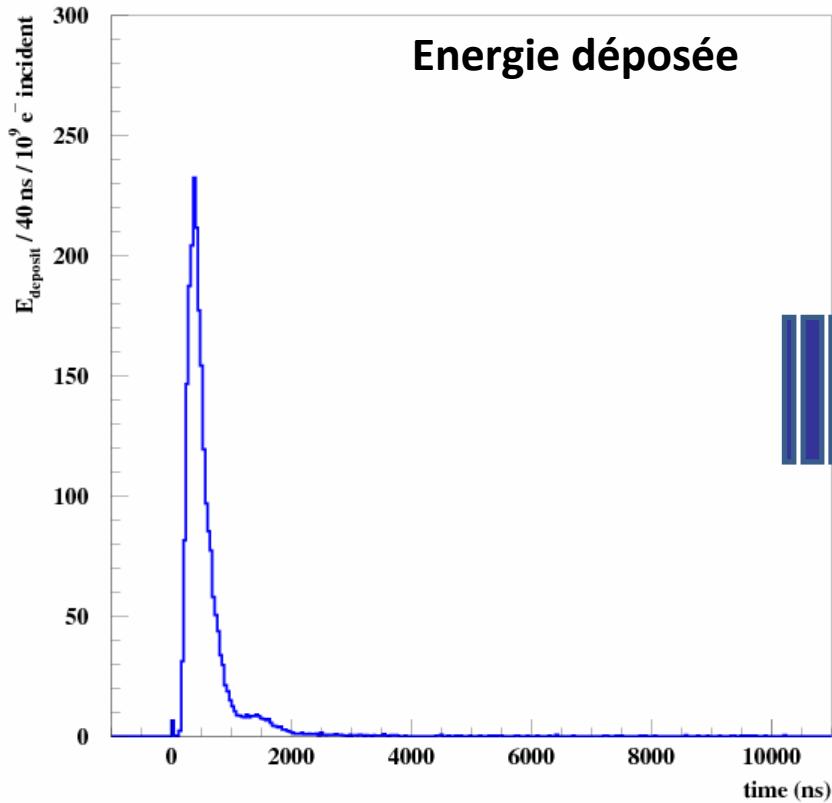


Observation effet Birks avec source Am/Be



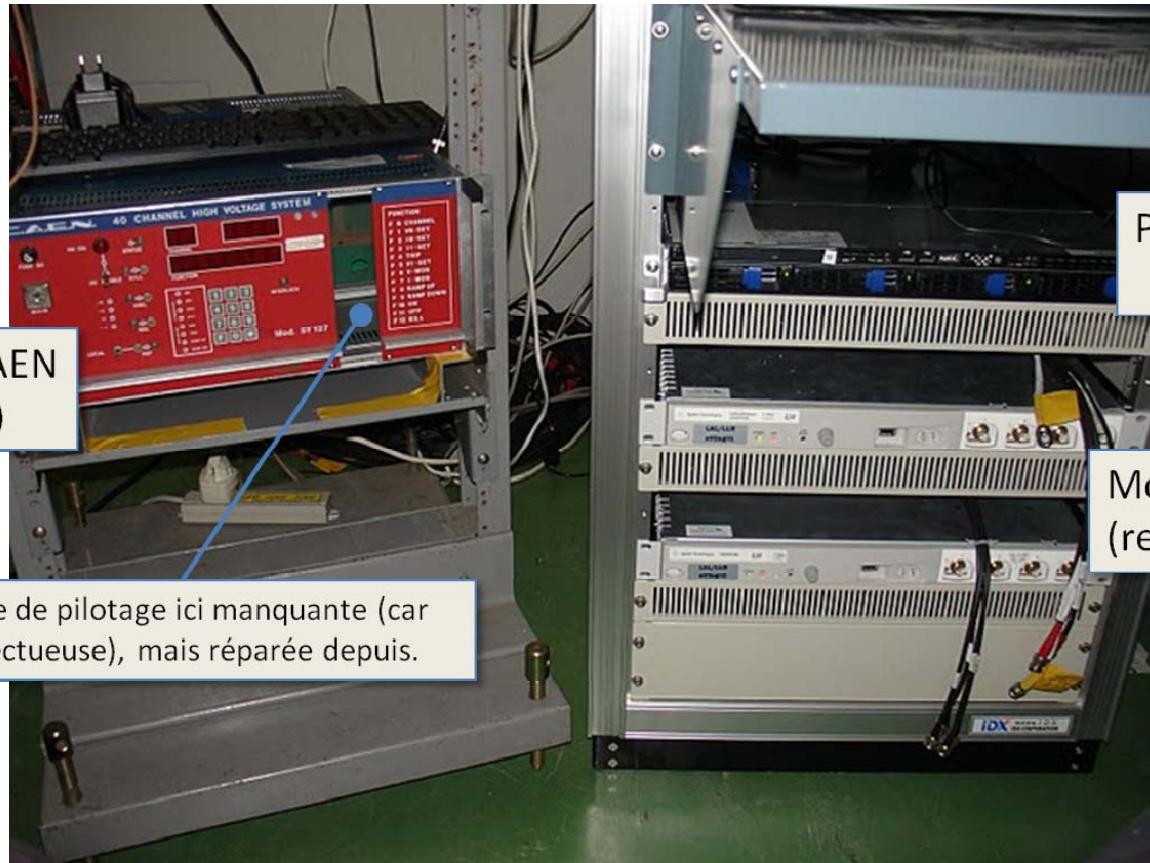
Influence de l'effet Birks sur les signaux observés au KEK

- Simulation forme d'onde flux de neutrons sortants du

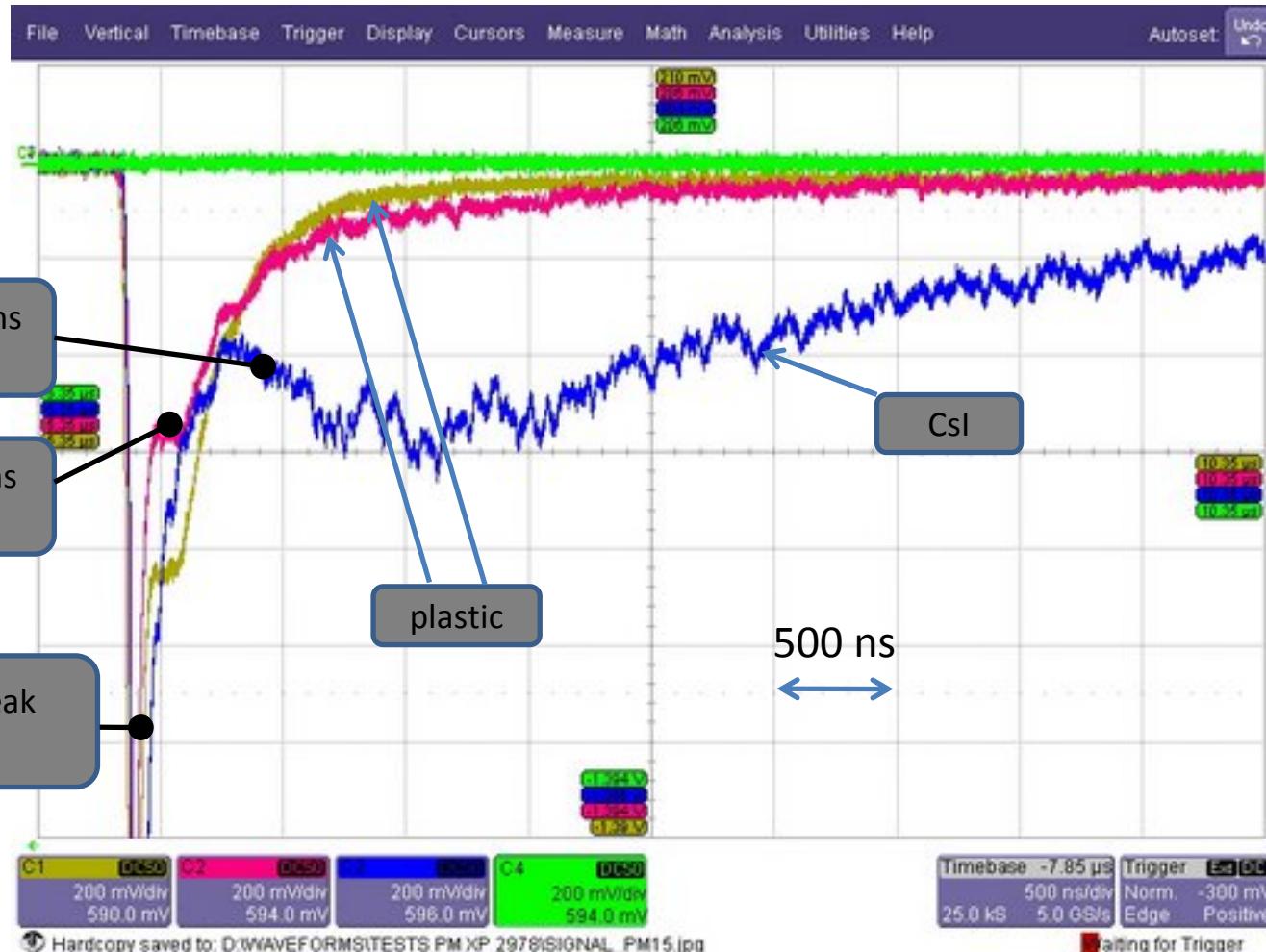


- Grosse suppression de signal !
 - Erreur systématique sur cet effet à estimer.*

Acquisition LLR @ KEK



Exemples de signaux auprès du beam dump déclenchement = kicker



Technique de simulation

Simulation setup

- Geant4 version et configuration physique:
 - Geant4, v9.3 – ref 06
 - Physics list utilisée :
 - QGSP_BERT_HP, pour démarrer
 - Il y a d'autres choix possibles
- Nous avons implémenté une description détaillée de nos modules de mesures et une description réaliste du beam dump
- Si nous nous contentons de tirer des électrons de 1.3 GeV dans le dump, nous avons ~ 1 coup / 10 k e^- incidents !
 - Impraticable...
- Nous utilisons une méthode de réduction de variance / event biasing : le “splitting”
 - Geometrical splitting

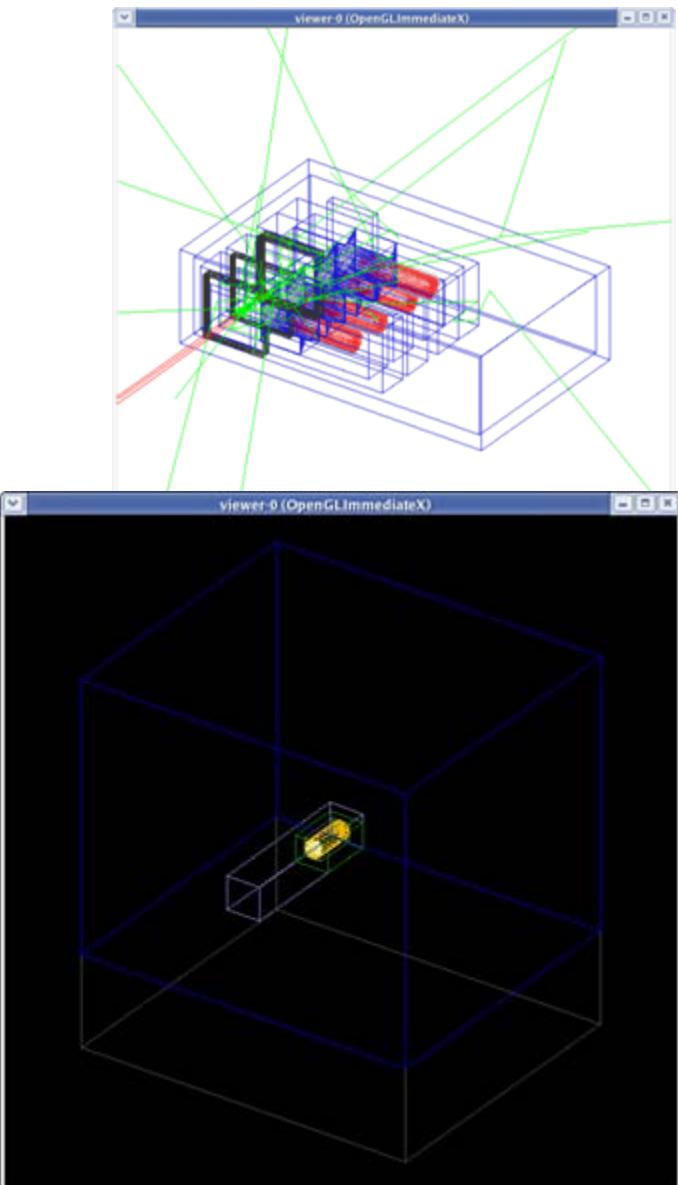


Illustration de la technique de « splitting »

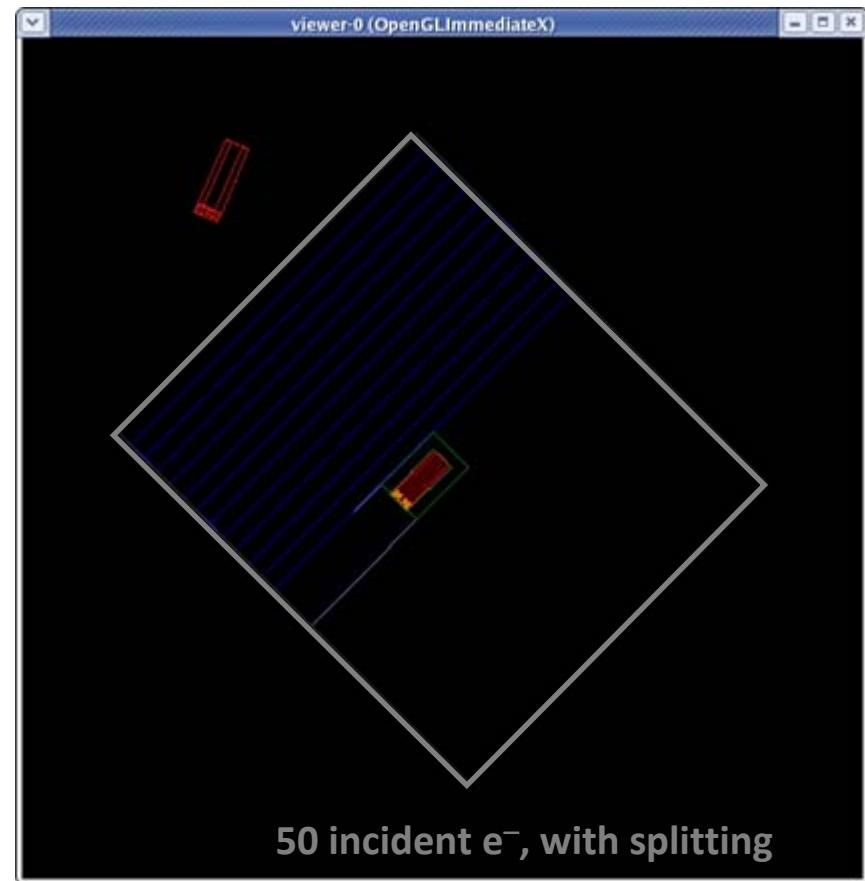
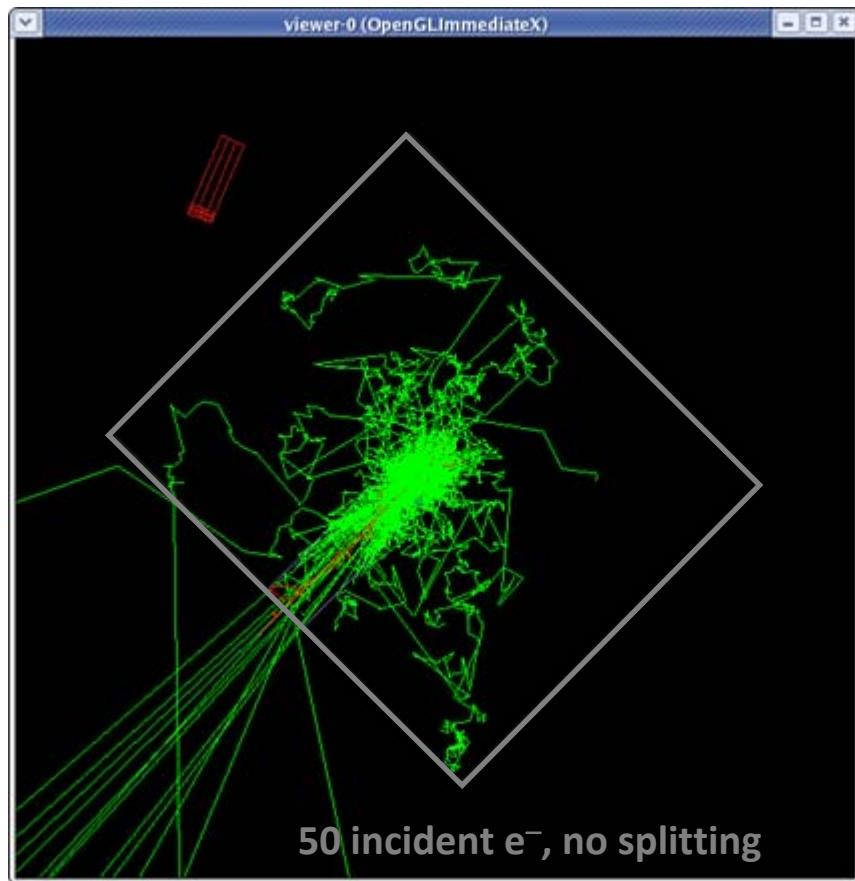
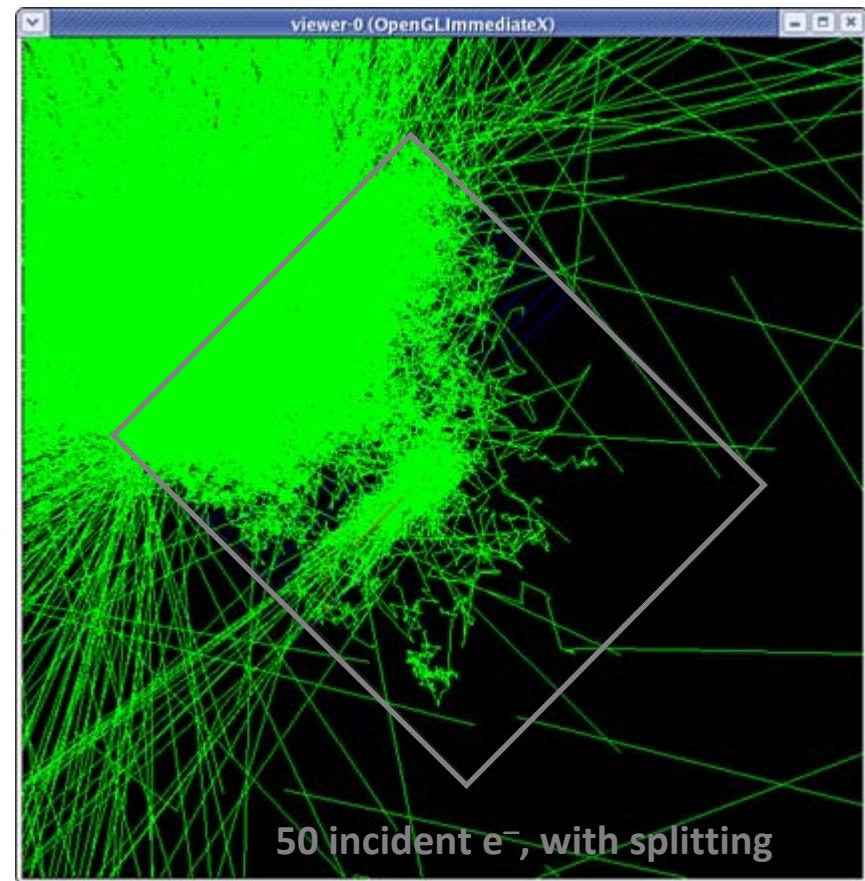
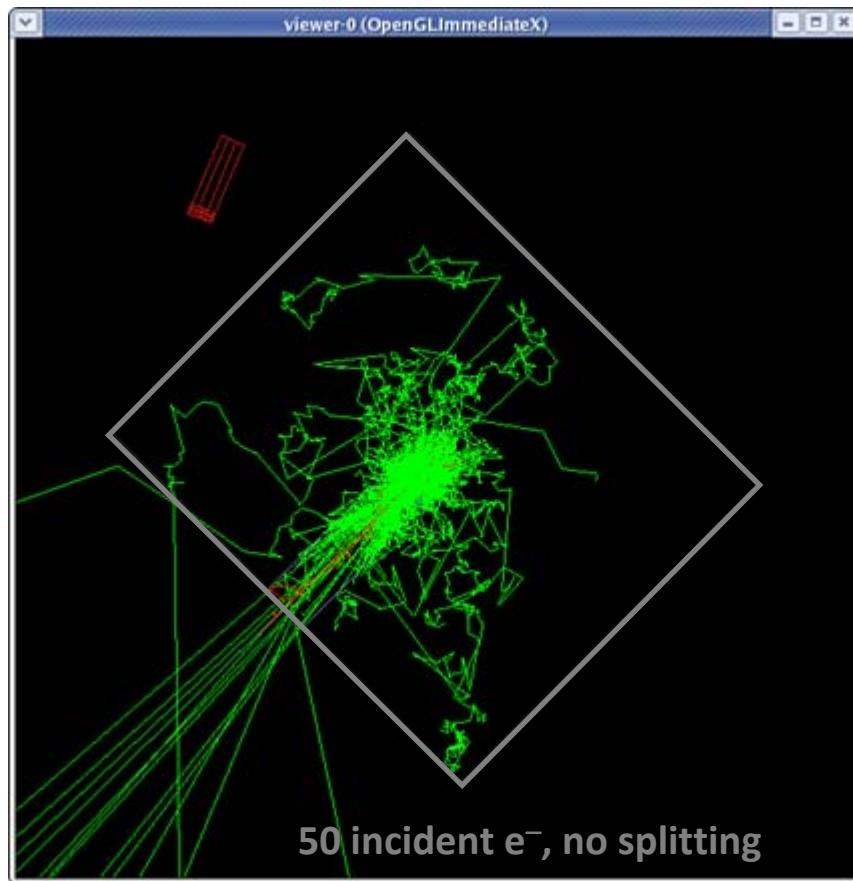


Illustration de la technique de « splitting »



En utilisant cette technique nous sommes ~3 ordres de grandeur plus efficace qu'avec une simulation standard !

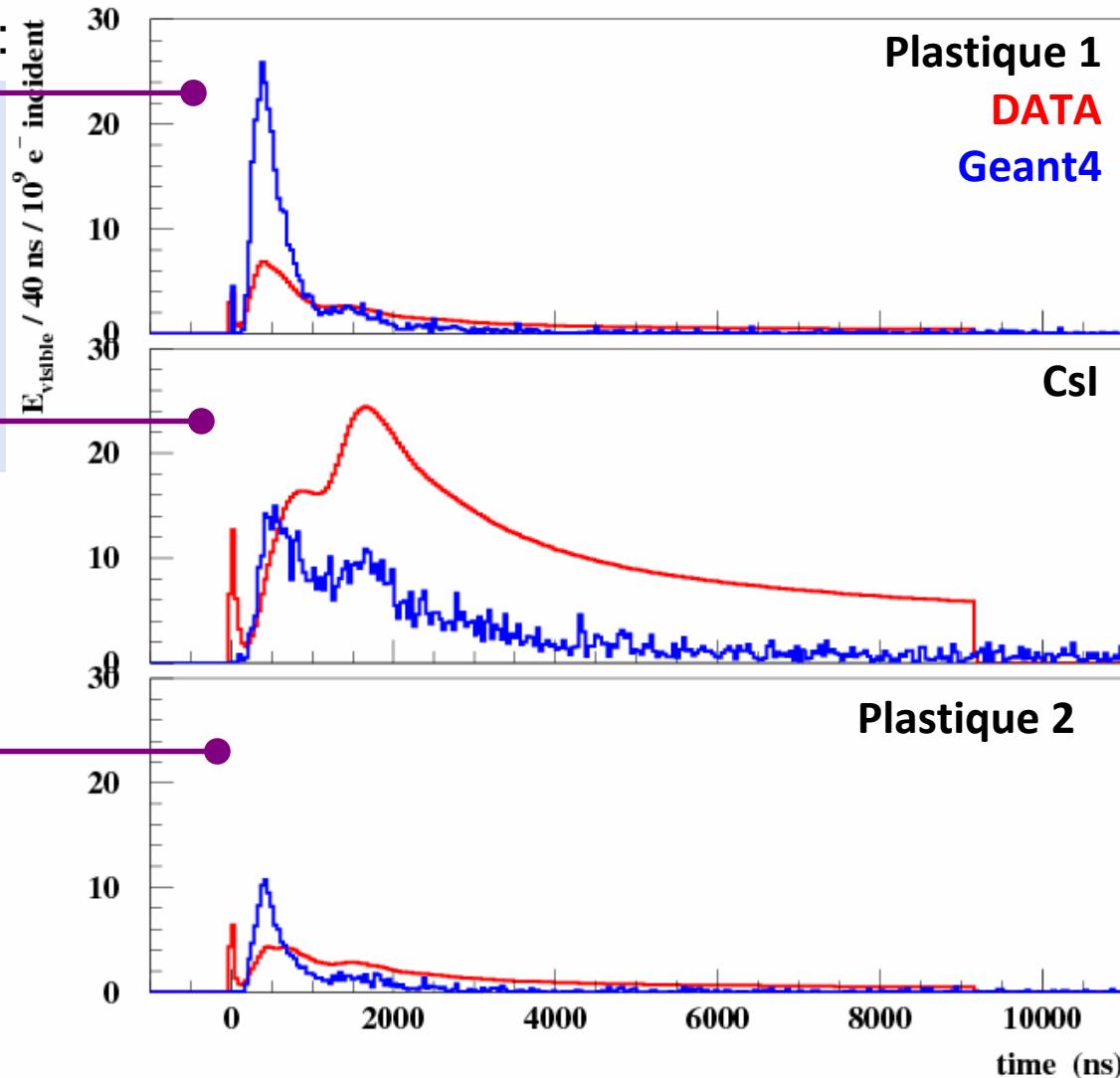
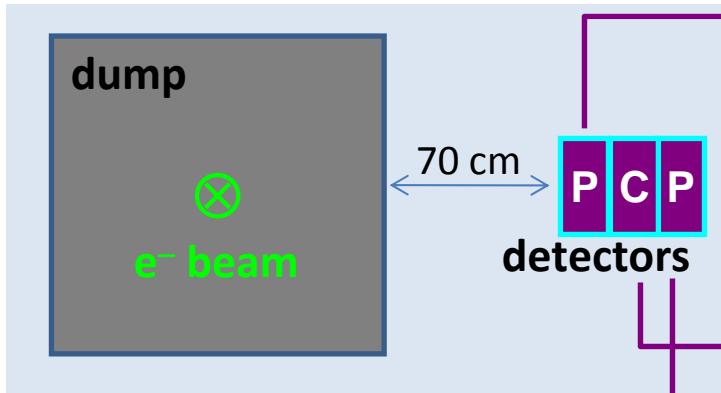


DONNÉES NEUTRON KEK : COMPARAISON SIMULATION GEANT4



Comparaison données / Geant4

- Setup idem précédemment :



- On met “tout ensemble”:

- Données:

- Formes d'onde mesurées
 - Calibration cosmique
 - Nombre d'électrons incidents (EPICS)

- Simulation:

- Simulation avec biasing
 - Effet Birks (plastique)

- Plots normalisés à $10^9 e^-$ incidents, 1.3 GeV.

Commentaires

- Comparaison “pas très belle”, mais...
- La simulation est mise à rude épreuve:
 - Les neutrons traversent 1 mètre de fer !
 - Et subissent N interactions / diffusions
 - Les défauts de simulation “s’accumulent”
- Systématiques sont à étudier
 - Quelles sont les parts de différence imputables à la simulation et aux effets de détections respectivement ?
- Dans une motivation “MDI” ILC/CLIC:
 - Geant4 reproduit les grosses caractéristiques
 - Il n'y a pas des ordres de grandeurs entre simulation et données
 - ⇒ Utilisation de Geant4 pour prédire les flux de neutrons générés par rayonnement dégradé dans matériaux denses auprès du point d'interaction réaliste !
 - ⇒ Facteur de sécurité à considérer à ce jour : 3 à 5

Suite sur étude neutrons

- Compléter par autres mesures auprès du dump
 - Données plus grandes distances (4.4 m existantes)
 - Mesure derrière dump
 - Mesures avec plus de profondeur en temps (quelques échantillons existants)
- Compléter avec comparaison avec autres “physics lists” de Geant4
 - “physics list” = ensemble de processus et modèles physiques
- ***Etudes des systématiques***
 - Avec notamment contrôle réponse aux neutrons
 - Birks pour plastique
 - Signal faible dans CsI
 - On aimerait pouvoir refaire des mesures avec source Am/Be avec meilleur accès à la partie basse énergie
 - Possible : nous avons un jeu de PM à plus haut gain
 - Peut-être utiliser le photon de 4.4 MeV, émis dans 60 % des cas, pour tagger l'émission du neutron, et mesurer l'énergie cinétique de ce neutron par ToF ?
 - Et source Am/Be disponible (et déjà utilisée) au KEK
 - Et s'assurer des calibrations, pertes dans les câbles, etc.

Conclusion

- Etude production et transport neutrons motivée par besoins MDI ILC/CLIC
- ATF2, bien qu'à basse énergie, couvre l'essentiel de l'espace de phase pour le problème
- LLR a développé un jeu de petits détecteurs modulaires indépendants
 - Utilisables seul ou agencés en « mini-calorimètres »
 - Et aux sensibilités complémentaires en terme de neutrons
- L'étude de la forme d'onde des signaux sortant du beam dump est sensible:
 - Au taux de production de neutron
 - Au transport des neutrons dans la matière
- La comparaison avec la simulation requiert la mise en œuvre des méthodes « d'event biasing »
- Les effets systématiques sont à quantifier, mais on peut déjà dire que:
 - Geant4 reproduit raisonnablement les flux de neutrons
 - Une marge de sécurité d'un facteur 3 à 5 doit être suffisante
 - Cela répond déjà aux besoins en terme de MDI.