

## SIMULATIONS MCNP AU LMDN ; LABORATOIRE DE MICRO-IRRADIATION, DE MÉTROLOGIE ET DE DOSIMÉTRIE DES NEUTRONS DE L'IRSN

SFRP – 7èmes Journées scientifiques Francophones  
Codes de calcul en Radioprotection Radiophysique et  
Dosimétrie ... et l'apport de L'intelligence Artificielle

M. Petit & al.



## La présentation !

- Le LMDN ... et MCNP !
- Beaucoup d'expériences -> faciliter/automatiser les modélisations
  - Le logiciel INCA
- Des besoins de R&D incompatibles avec l'utilisation "ingénieur" de MCNP
  - Le logiciel EASY-PTRAC
- Des sources neutroniques particulièrement ... complexes !
  - Les logiciels TARGET et NeusdesC
- Et ensuite !!!

# Installations du LMDN 1/2 centre de Cadarache



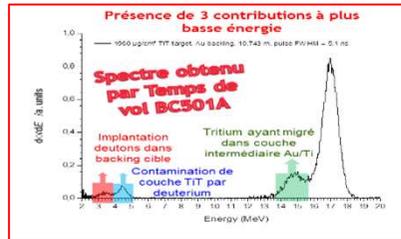
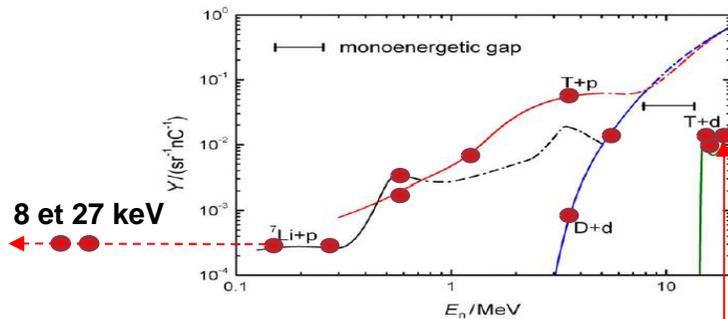
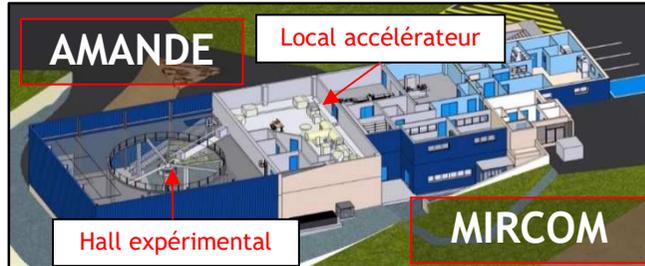
Limite de la zone  
clôturée de Cadarache  
(hors ITER)



# Installations du LMDN 2/2

AMANDE : Production de champs neutroniques monoénergétiques

CEZANE : Production de champs neutroniques étendus



17 MeV



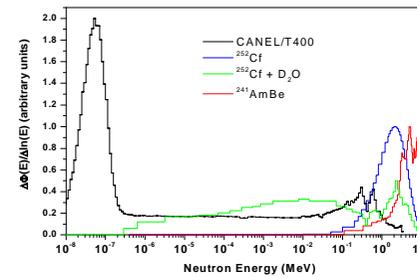
Sources de  $^{252}\text{Cf}$  et  $^{241}\text{AmBe}$



CARAT



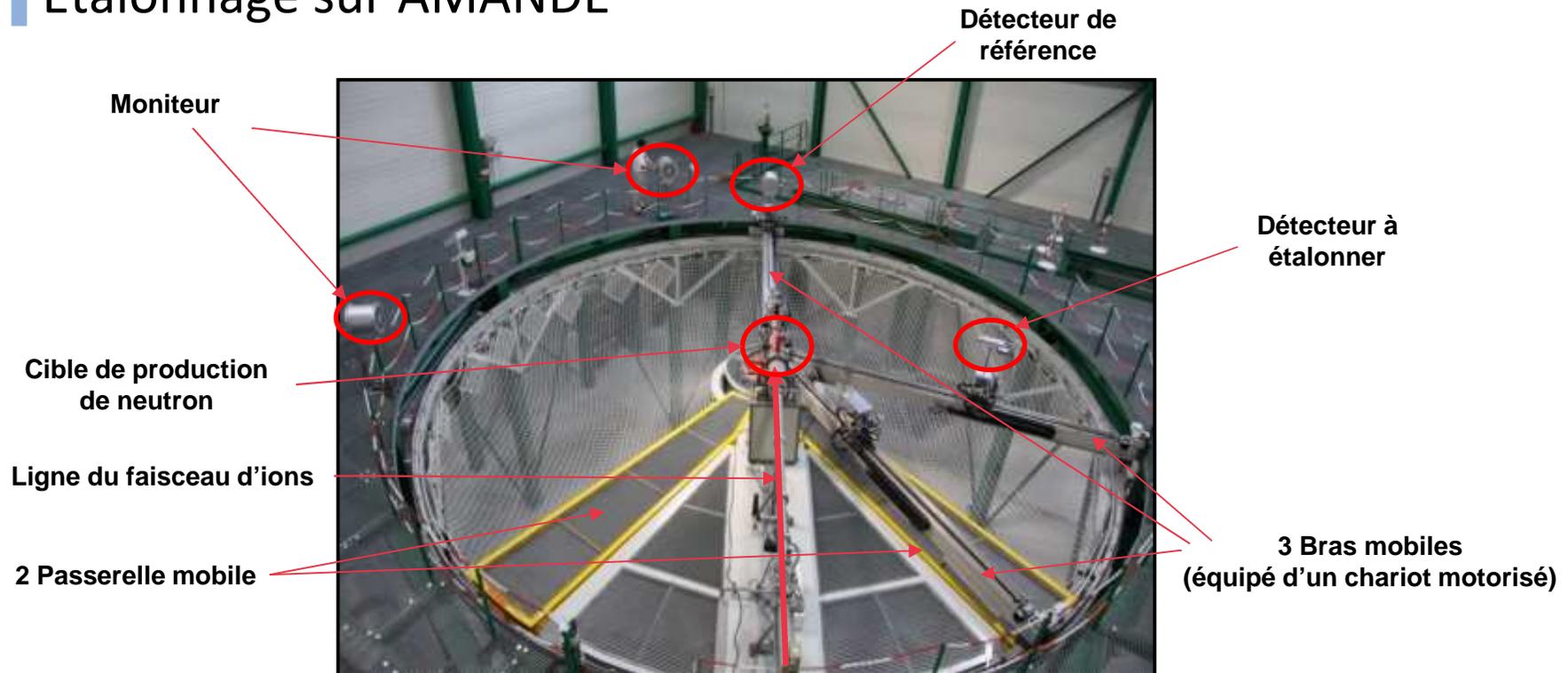
Champs réalistes et thermiques



Laboratoire associé au LNE pour la métrologie des neutrons (fluence et grandeurs dosimétriques associées)

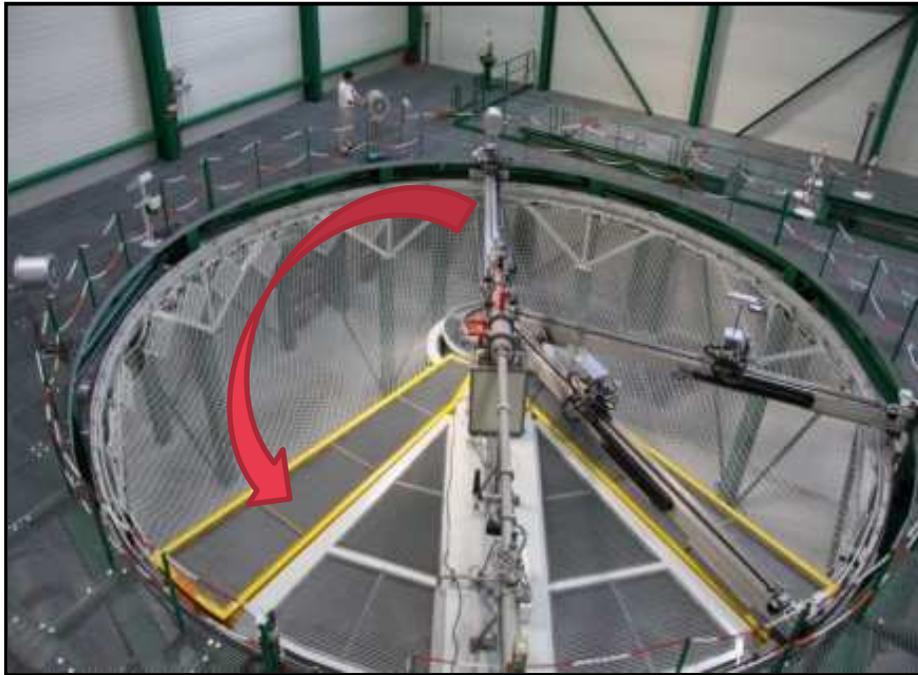
# INCA Interface de Configuration CEZANE - AMANDE

## Etalonnage sur AMANDE



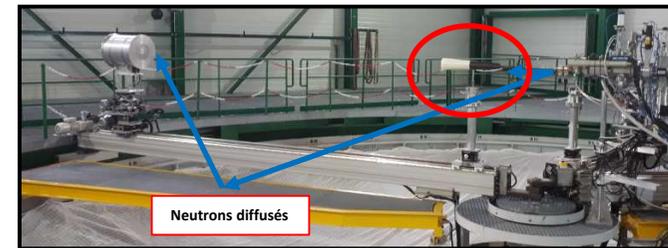
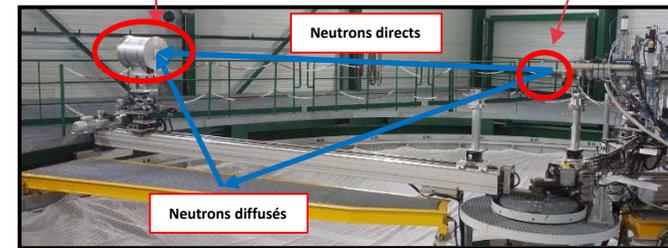
# INCA Interface de Configuration CEZANE - AMANDE

## Etalonnage sur AMANDE



Détecteur de référence

Cible de production de neutron

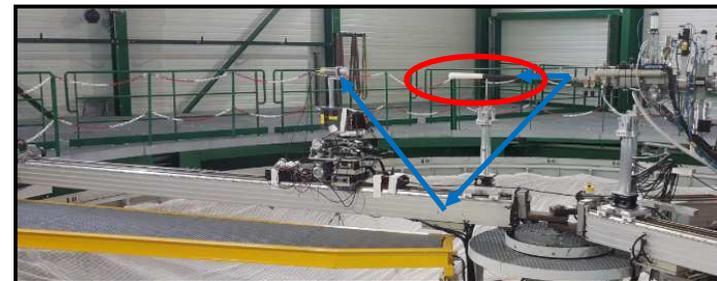
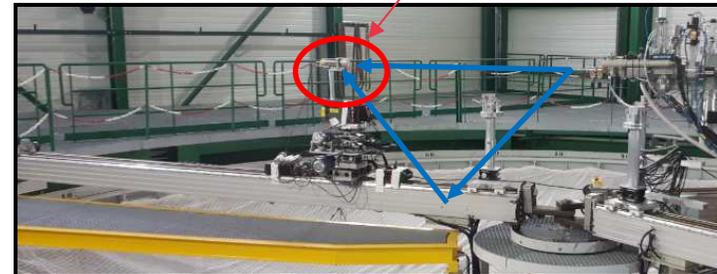


# INCA Interface de Configuration CEZANE - AMANDE

## Etalonnage sur AMANDE



Détecteur à étalonner

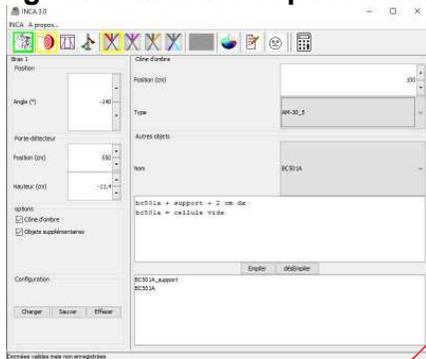


**Beaucoup de mouvement ; quel impact sur les fluences neutroniques et donc la réponse des détecteurs  
-> simulation MCNP -> comment aider les modélisations ?**

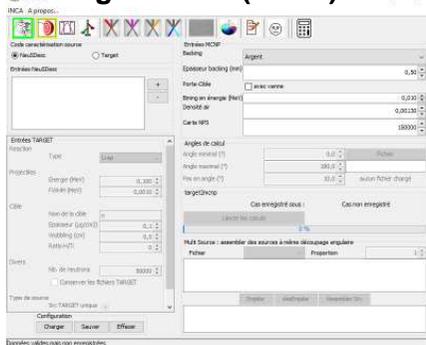
# INCA Interface de Configuration CEZANE - AMANDE

## L'interface INCA

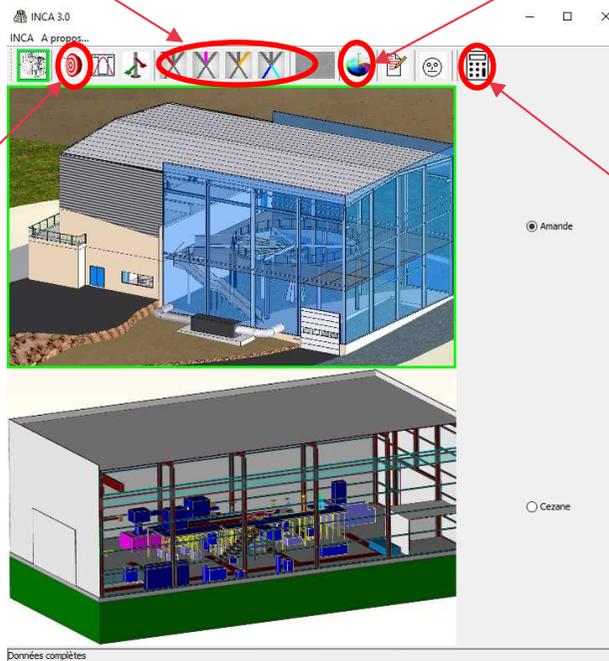
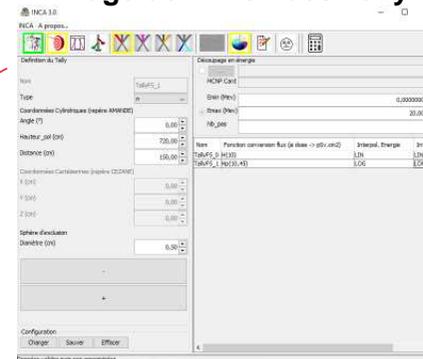
Page bras mobiles et passerelles



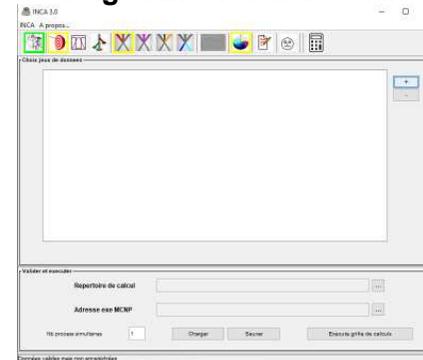
Page source (SDEF)



Page définition des Tally

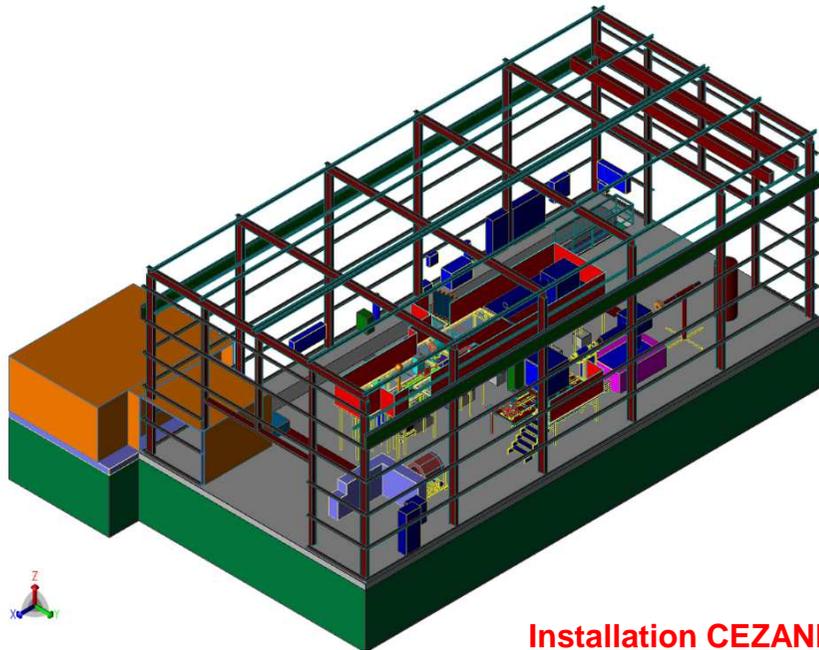


Page lancement des calculs



# INCA Interface de Configuration CEZANE - AMANDE

## Comment cela fonctionne dans MCNP ?



Installation CEZANE



1 – un fichier contient la modélisation "de base" avec une position par défaut des éléments dit « insérés »

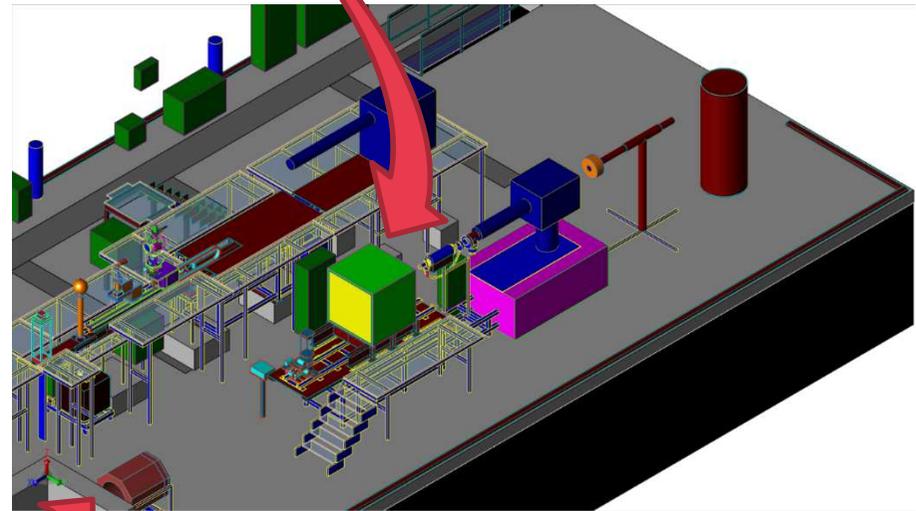
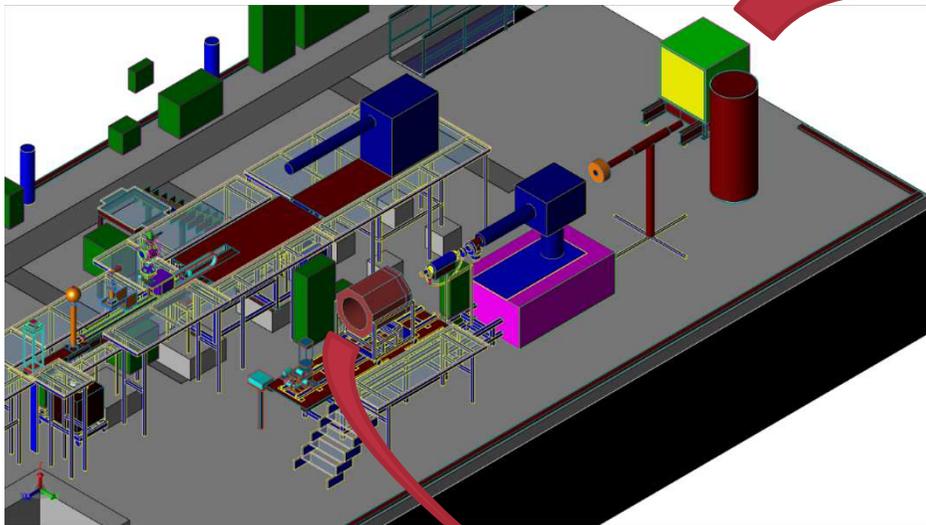
- quelques 1000 (CEZANE) à 2500 (AMANDE) volumes
- les éléments insérés sont dans des « englobants » dit « univers dans MCNP »

Les vues graphiques 3D ont été réalisées par Pavel KLENOV avec SuperMC User Manual-EN <http://www.fds.org.cn/en/#/>

# INCA Interface de Configuration CEZANE - AMANDE

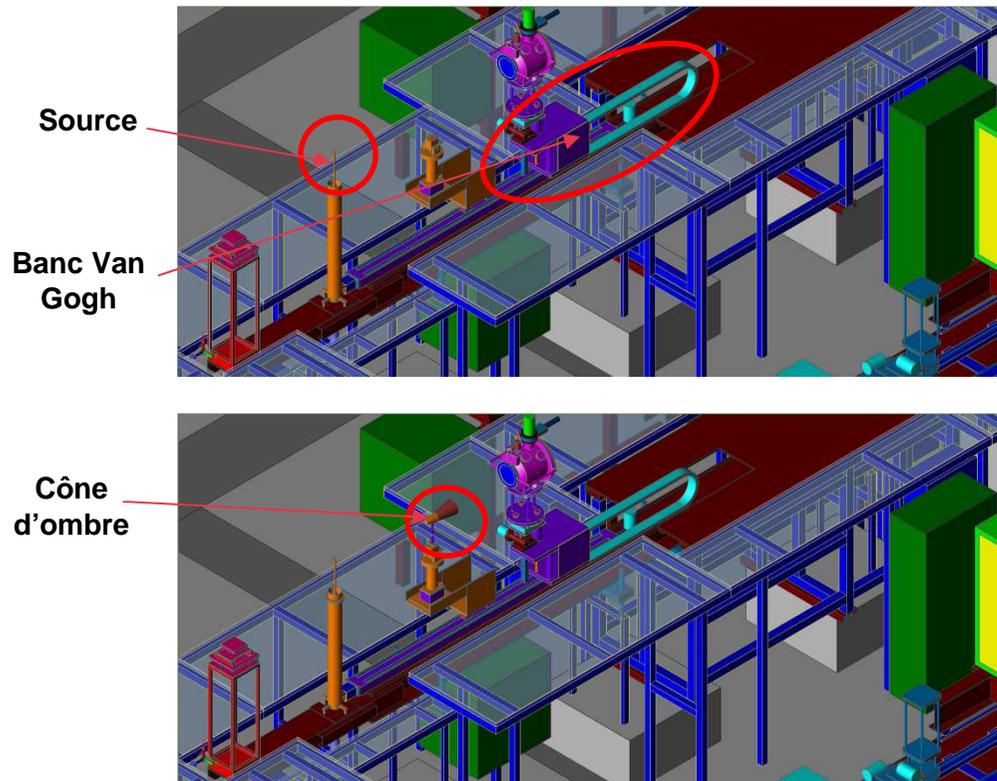
Comment cela fonctionne dans MNCP ?

2 – On peut bouger les éléments dit « insérés »  
-> réalisation d'une translation voire rotation



# INCA Interface de Configuration CEZANE - AMANDE

## Comment cela fonctionne dans MNCP ?

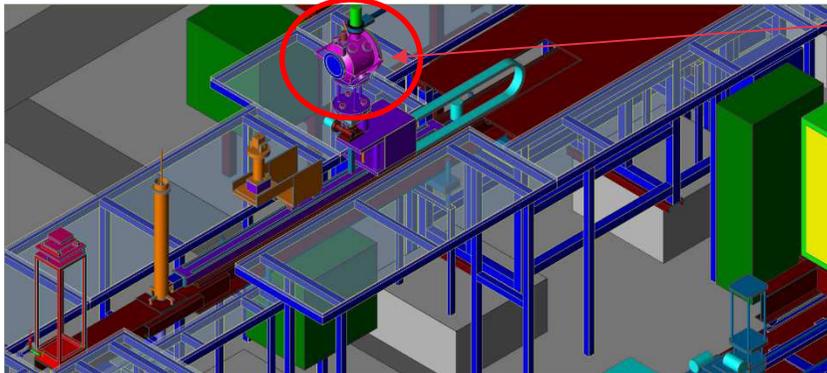


3 – INCA va placer les insérés selon la demande de l'utilisateur

- Translation (et rotation pour AMANDE) du banc Van Gogh
- Ajustement de la hauteur du plateau d'étalonnage
- Rotation du plateau d'étalonnage (avec ce qu'il y a dessus (cf. ci-après !))

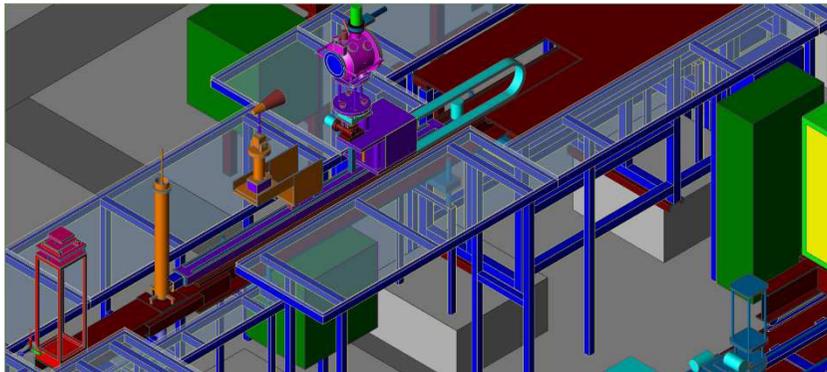
# INCA Interface de Configuration CEZANE - AMANDE

## Comment cela fonctionne dans MCNP ?



4 – INCA va insérer des éléments dit « insérables »  
-> Un insérable est modélisé indépendamment dans un petit fichier MCNP.

- a- INCA va prendre la modélisation et la mettre dans un englobant qui sera placé sur le banc d'étalonnage (on peut empiler les éléments !)
- b- INCA va générer un modèle avec et sans cône (le cône est remplacé par de l'air)



1- Les expérimentateurs peuvent bénéficier d'une modélisation complète de l'environnement d'étalonnage en réalisant un « simple » fichier MCNP du dispositif à étalonner

## EASY-PTRAC – ou comment faire de MCNP un code de chercheur !

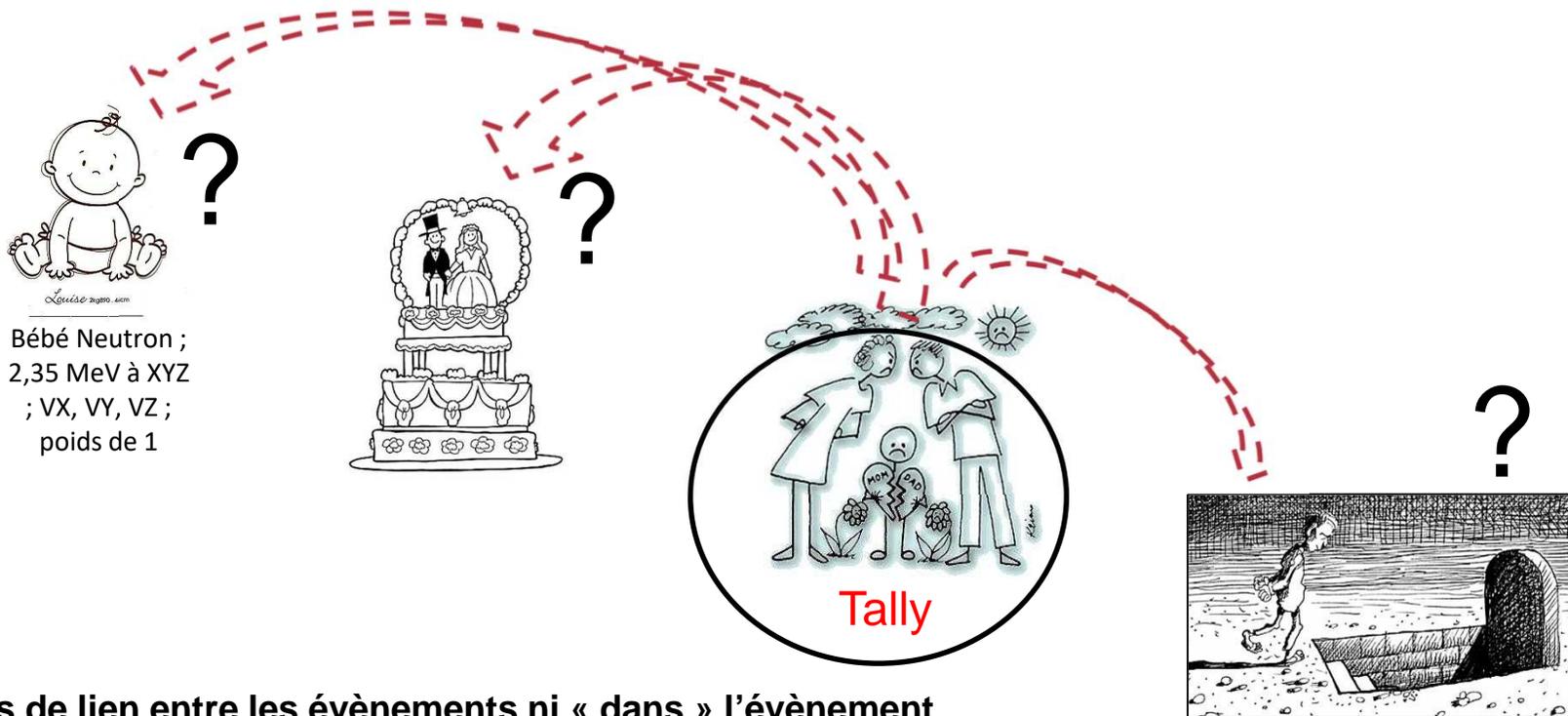
### ■ Les tally de MCNP

- L'Evaluation point (F5)
- Le volumique (F4) neutron / gamma / dose
- Le surfacique (F2)
- Le détecteur (F8)
- Le depot d'énergie (F6)
- Etc.

### ■ On peut les “adapter”

- Découpage en énergie / multiplication / conversion dose / etc.

# EASY-PTRAC – ou comment faire de MCNP un code de chercheur !



**Pas de lien entre les évènements ni « dans » l'évènement**

**Avis personnel !!! MCNP est un code scientifique dédié aux ingénieurs ... pas aux chercheurs. En effet, le code "demande" d'utiliser les tally résultats ... Or pour la recherche, il est (toujours ?!) nécessaire d'avoir le détail du transport des particules. Cependant l'information peut être disponible via la carte « Ptrac » de MCNP**

# EASY-PTRAC – ou comment faire de MCNP un code de chercheur !

■ Le fichier Ptrac de sortie est un peu accueillant !!!

```
56302      1000      14  9.85500E-04
3000        1        40      990        2        0
-0.28729E+00 -0.32477E-01  0.71960E+03 -0.59647E+00 -0.80261E+00  0.64670E-02  0.53062E+00  0.10000E+01  0.00000E+00
3000        2      4004        0      987        2        0
-0.55045E+02 -0.73716E+02  0.72019E+03 -0.59647E+00 -0.80261E+00  0.64670E-02  0.53062E+00  0.10000E+01  0.91156E+01
3000        3  971971.3      142      969        2        0
-0.37247E+03 -0.50084E+03  0.72363E+03 -0.59647E+00 -0.80261E+00  0.64670E-02  0.53062E+00  0.10000E+01  0.61957E+02
3000        4      958.2      179      959        2        0
-0.37253E+03 -0.50092E+03  0.72363E+03 -0.59647E+00 -0.80261E+00  0.64670E-02  0.53062E+00  0.10000E+01  0.61967E+02
3000        5      4051      179      957      17        0
-0.37275E+03 -0.50123E+03  0.72364E+03 -0.59647E+00 -0.80261E+00  0.64670E-02  0.53062E+00  0.10000E+01  0.62005E+02
3000        6      956.2      179      960        2        0
-0.37278E+03 -0.50127E+03  0.72364E+03 -0.59647E+00 -0.80261E+00  0.64670E-02  0.53062E+00  0.10000E+01  0.62010E+02
3000        7      946.2      179      970        2        0
-0.37686E+03 -0.50675E+03  0.72368E+03 -0.59647E+00 -0.80261E+00  0.64670E-02  0.53062E+00  0.10000E+01  0.62688E+02
4000        8      950.2      179      950      15        0
-0.37993E+03 -0.51089E+03  0.72371E+03 -0.59647E+00 -0.80261E+00  0.64670E-02  0.53062E+00  0.10000E+01  0.63200E+02
3000        8      6000        2      950      15        1
-0.38031E+03 -0.51140E+03  0.72372E+03  0.78308E+00  0.70728E-01 -0.61788E+00  0.41016E+00  0.10000E+01  0.63263E+02
3000        9      950.2      58      970        2        1
-0.37936E+03 -0.51132E+03  0.72297E+03  0.78308E+00  0.70728E-01 -0.61788E+00  0.41016E+00  0.10000E+01  0.63400E+02
4000       10      950.1      72      949      15        1
-0.37851E+03 -0.51124E+03  0.72229E+03  0.78308E+00  0.70728E-01 -0.61788E+00  0.41016E+00  0.10000E+01  0.63524E+02
4000       10      1001        2      949      15        2
-0.37827E+03 -0.51122E+03  0.72210E+03  0.31458E+00  0.60355E+00 -0.73264E+00  0.22560E+00  0.99999E+00  0.63558E+02
```

# EASY-PTRAC – ou comment faire de MCNP un code de chercheur !

■ EASY-PTRAC le rend “lisible” - 1 évènement = 1 ligne

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
	output	particule_n	filiation	particule_ty	event_type	volume_nu	material_nu	X_coordina	Y_coordina	Z_coordina	Theta_x	Theta_y	Theta_z	Energy	Importance	Time	Surface_nu	Angle_with_NXS	
1	out0	64867	primary	null	Src	990	2	-0,35946	0,30747	719,85	0,67294	-0,7397	9,24E-04	0,24173	1	0			
3	out1	64867	primary	null	Sur	647	2	-0,33554	0,28118	719,85	0,67294	-0,7397	9,24E-04	0,24173	1	0,005227	3	102	
4	out1	64867	primary	null	Sur	643	27	-0,01951	-0,06621	719,85	0,67294	-0,7397	9,24E-04	0,24173	1	0,0743	3	102	
5	out1	64867	primary	null	Sur	644	3	0,13851	-0,2399	719,85	0,67294	-0,7397	9,24E-04	0,24173	1	0,10884	3	102	
6	out1	64867	primary	null	Sur	645	5	0,62862	-0,77865	719,85	0,67294	-0,7397	9,24E-04	0,24173	1	0,21596	1	15	
7	out1	64867	primary	null	Sur	646	5	0,69822	-0,85515	719,85	0,67294	-0,7397	9,24E-04	0,24173	1	0,23117	1	14	
8	out1	64867	primary	null	Sur	649	2	1,0103	-1,1981	719,85	0,67294	-0,7397	9,24E-04	0,24173	1	0,29937	1	13	
9	out1	64867	primary	null	Sur	990	2	1,0449	-1,2362	719,85	0,67294	-0,7397	9,24E-04	0,24173	1	0,30693	1	13	
10	out1	64867	primary	null	Sur	987	2	61,867	-68,092	719,93	0,67294	-0,7397	9,24E-04	0,24173	1	13,6	4004	0	
11	out1	64867	primary	null	Sur	969	2	420	-461,75	720,43	0,67294	-0,7397	9,24E-04	0,24173	1	91,873	3	136	
12	out1	64867	primary	null	Sur	959	2	420,06	-461,83	720,43	0,67294	-0,7397	9,24E-04	0,24173	1	91,888	2	179	
13	out1	64867	primary	null	Sur	957	17	420,32	-462,11	720,43	0,67294	-0,7397	9,24E-04	0,24173	1	91,944	4051	179	
14	out1	64867	primary	null	Sur	960	2	420,35	-462,14	720,43	0,67294	-0,7397	9,24E-04	0,24173	1	91,951	2	179	
15	out1	64867	primary	null	Sur	949	15	424,95	-467,2	720,43	0,67294	-0,7397	9,24E-04	0,24173	1	92,957	2	179	
16	out2	64867	primary	null	Col	949	15	425,33	-467,61	720,43	0,59152	-0,51473	0,62061	0,14694	0,99999	93,038			

**Le calcul Monte Carlo génère 5 types d'évènements :**

- **Src**, la création de la particule numérique
- **Sur**, le passage d'une surface
- **Col**, une collision
- **Ter**, la fin du transport
- **Bnk**, la création d'une particule secondaire

**Pour info, le Ptrac permet de recalculer "à la main" certain Tally comme le 2 et le 4 ou de calculer "à sa main" certain autre comme le 6 ou le 8.**

# EASY-PTRAC – ou comment faire de MCNP un code de chercheur !

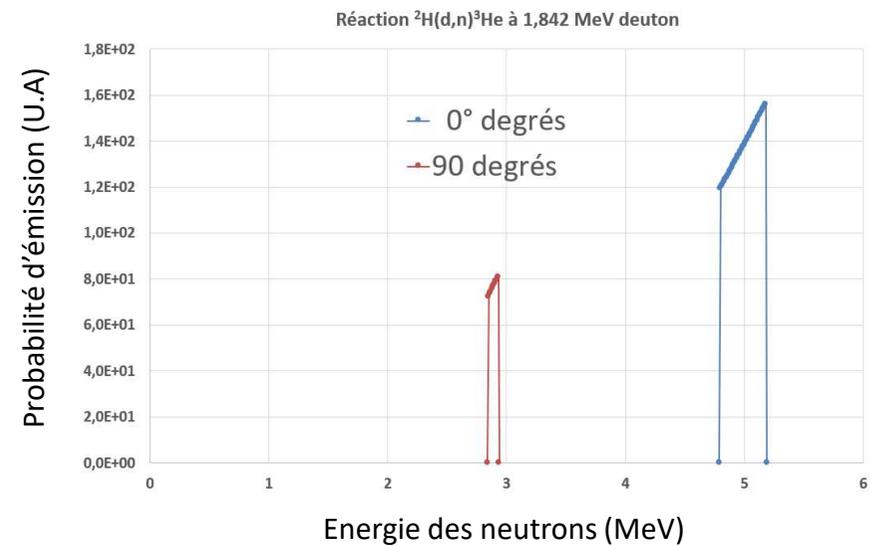
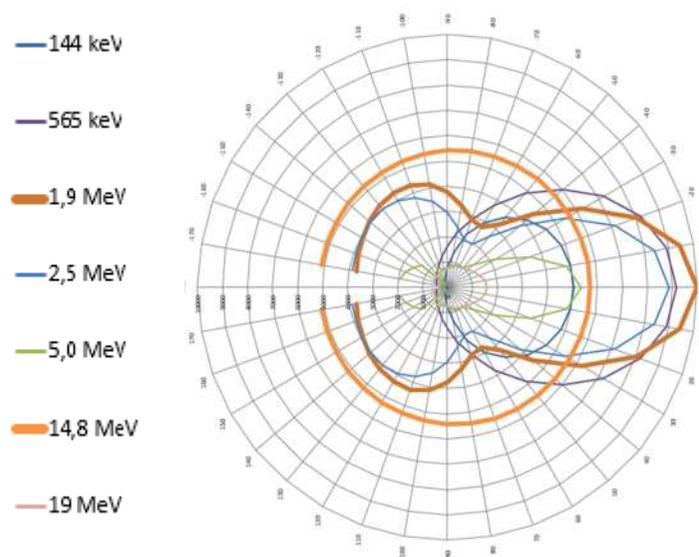
Mais MCNP fait du tout ou rien sur les histoires -> on peut partiellement préfiltrer les histoires écrites dans le Ptrac (sur la contribution à un Tally par exemple). Si l'histoire est éligible, tous les évènements de l'histoire sont écrits. Il y a alors souvent trop d'informations par rapport au besoin.

## ■ Fonctions “tri” de EASY-PTRAC

- Fonction tri sur les histoires -> Définition d'un filtre sur la base des évènements
  - passage par une surface, un volume, etc.
  - Possibilité de faire une combinaison de plusieurs filtres avec des “ET”, des “OU” et des filtres de rejection (je ne prends pas si ...)
- Fonction tri sur les évènements
  - Choix d'un évènement sur la base d'une spécificité de l'évènement
    - Type d'évènement, passage par un volume, etc.
    - Pour l'évènement choisi, on peut décider de ce que l'on souhaite avoir en évènement de sortie (cet évènement, celui juste avant ou juste après, le premier, tous ceux avant etc.)
- Ensuite le travail de l'ingénieur ou du chercheur commence
  - Passage sur un outil de traitement (programme C++, Fortran, root, ...)
  - Compactage des données, tri, etc.

# Problématique de la définition de la sources de MCNP ...

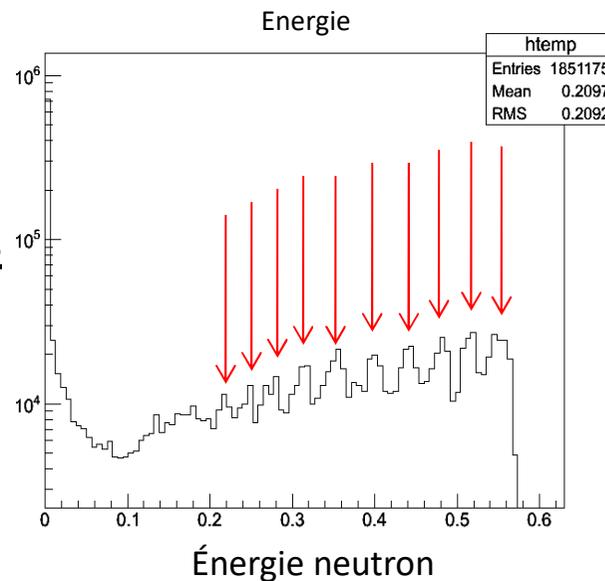
- La carte source "SDEF" de MCNP peut être très simple ! Exemple nécessaire et suffisant (!) : "SDEF"
- Ou très complexe ! Exemple d'AMANDE !
  - Il existe pour chaque réaction une distribution angulaire unique
  - Et pour chaque Angle une distribution en énergie



## Problématique des la définition de la sources de MCNP ...

- Heureusement les physiciens s'en sont occupés ! Il existe deux codes qui peuvent aider !
  - "TARGET" de la PTB (Allemagne)
  - "Neusdesc" de l'IRMM (Union Européenne)
- Au LMDN, "TARGET" a été utilisé en premier lieu ... cependant ...

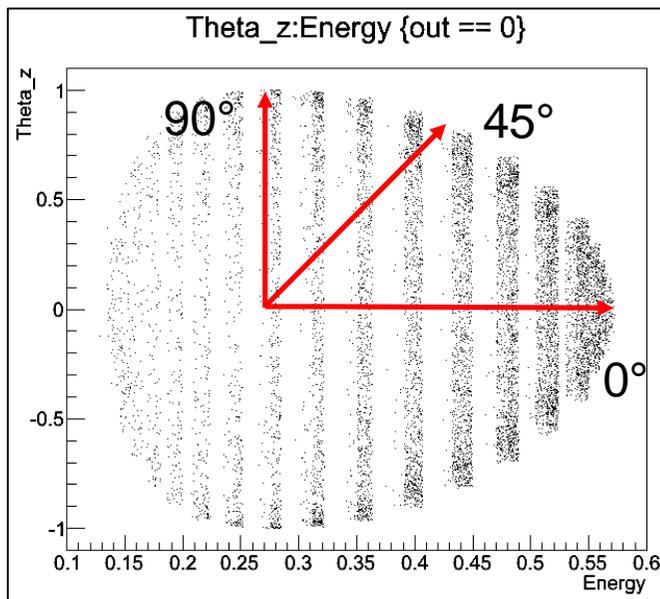
**Des structures étranges en énergie sont visibles**



**EASY-PTRAC !!!**

## Problématique de la définition de la sources de MCNP ...

Source neutron généré par la routine "TRAGET2MCNP" de INCA



- Le code TARGET génère des neutrons dans une direction donnée (exemple 40°)
- INCA récupère les neutrons et recrée la distribution à l'angle donnée
- MCNP gère la même distribution entre 35° et 45°



- Explication



- Solution (simple)

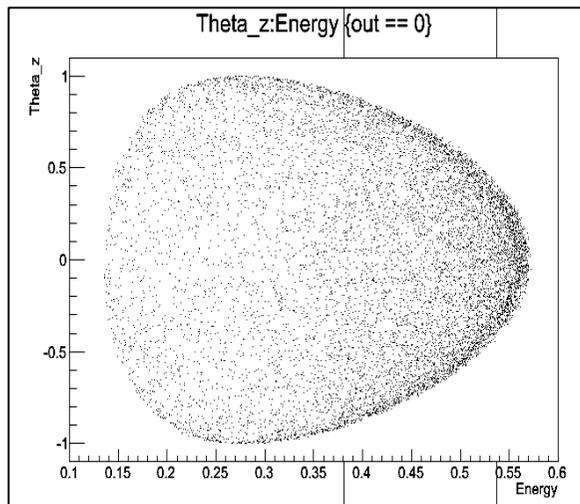


- Solution adoptée : faire la distribution degré par degré  
-> c'est ... long

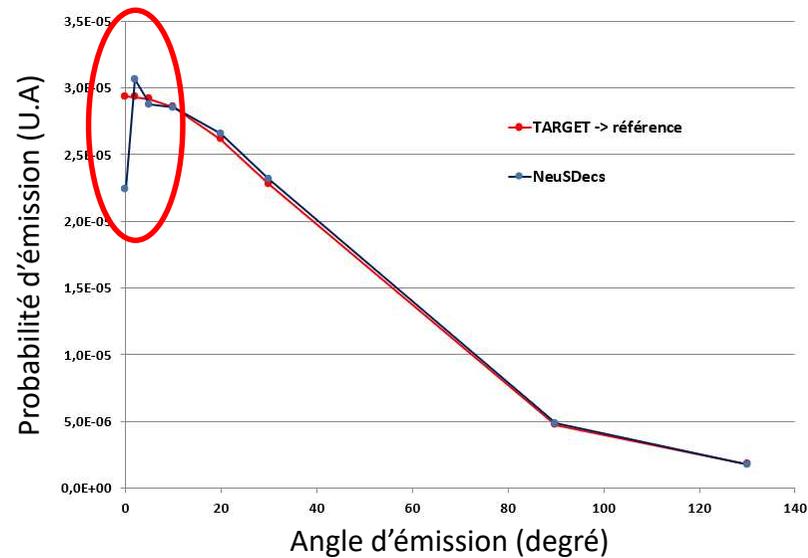
# Problématique de la définition de la source de MCNP ...

Le LMDN s'est intéressé à NeuSDesc (Neutron Description)

Carte SDEF de MCNP directement donnée par NeuSDesc



➔ Cela semble ok !!! Mais ...



# Problématique de la définition de la source de MCNP ...

## Extrait de la carte SDEF de NeuSDesc

Ds2 s	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15 & Etc ...
si3	A	0.9998	1.0000										
sp3		0.9997	1.0000										
si4	A	0.9994	0.9998										
sp4		0.9992	1.0000										
si5	A	0.9986	0.9994										
sp5		0.9986	1.0000										
si6	A	0.9976	0.9986										
sp6		0.9980	1.0000										
si7	A	0.9962	0.9976										
sp7		0.9975	1.0000										
si8	A	0.9945	0.9962										
sp8		0.9969	1.0000										

COS	Angle (°)
0,9998	1,15
0,9994	1,98
0,9986	3,03
0,9976	3,97
0,9962	5,00
0,9945	6,01
0,9925	7,02
0,9903	7,99

Ds2 s	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15 & Etc ...
si3	A	0.9998477	1.0000										
sp3		0.9997	1.0000										
si4	A	0.9993908	0.9998477										
sp4		0.9992	1.0000										
si5	A	0.9986295	0.9993908										
sp5		0.9986	1.0000										
si6	A	0.9975641	0.9986295										
sp6		0.9980	1.0000										
si7	A	0.9961947	0.9975641										
sp7		0.9975	1.0000										
si8	A	0.9945219	0.9961947										
sp8		0.9969	1.0000										

Cos(1°)

Carte NeuSDesc Modifié par INCA

Carte générée par NeuSDesc

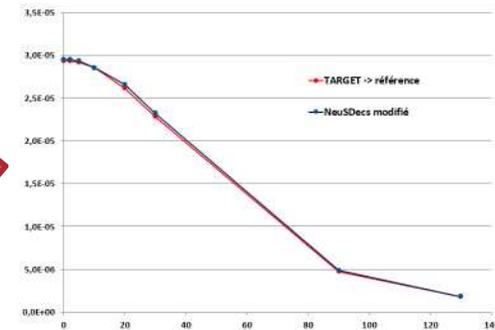
- La définition de la source est en cosinus
- La probabilité d'émission est en sinus



• Explication



• Solution (simple)



## Et ensuite !?

- Réalisation d'un couplage MCNP -> GEANT4 fait à l'IRSN de FAR et que l'on doit importer au LMDN !
- Modification du code source de MCNP afin de pouvoir faire transporter des particules "à la demande".
- Revoir le calcul d'incertitude par Monte Carlo

## Conclusion

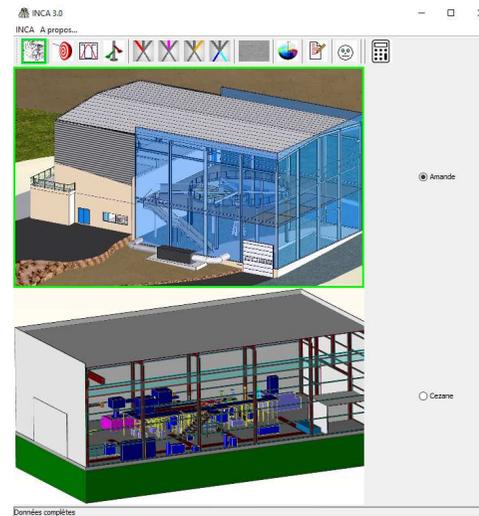
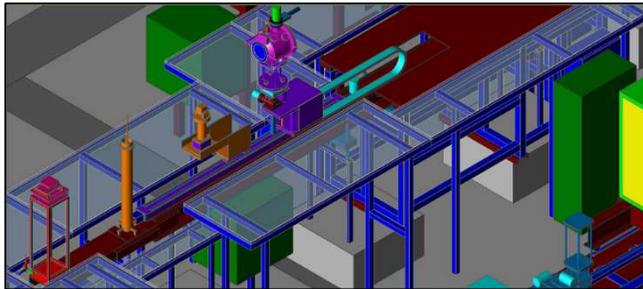
- Le LMDN a développé des outils spécifiques pour gérer les nombreuses simulations nécessaires à son activité
- INCA permet de configurer automatiquement/facilement des fichiers complets d'expériences complexes
- L'outil EASY-PTRAC permet d'exploiter plus facilement la puissance du calcul Monte Carlo par MCNP
- En cas de modélisation d'une source de neutrons monoénergétiques par un accélérateur, il est recommandé d'utiliser NeuSDesc en modifiant adroitement la description comme indiqué

# Remerciement à ceux qui ont contribué à ce travail !

Pavel KLENOV pour beaucoup de choses dont les modélisations MCNP

Nicolas VISSYRIAS pour beaucoup de choses dont le codage de EASY-PTRAC

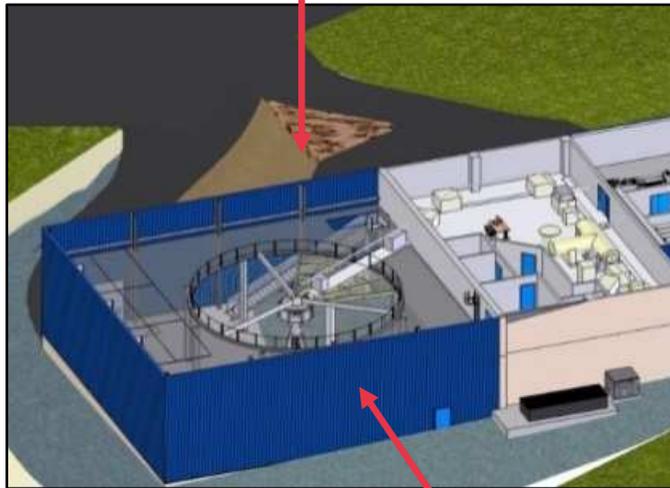
Ainsi que Laurent BINDEL, Cédric DOSSAT, Rémi GOUTTEBROZE, Vincent GRESSIER, Frédéric JASSERAND, Donovan MAIRE, Imanté RASKYNITE et mes excuses à ceux que j'oublie !



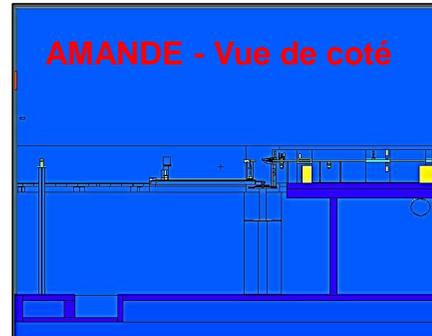
Merci pour votre attention !!!

# EASY-PTRAC – ou comment faire de MCNP un code de chercheur !

AMANDE - Vue de dessus



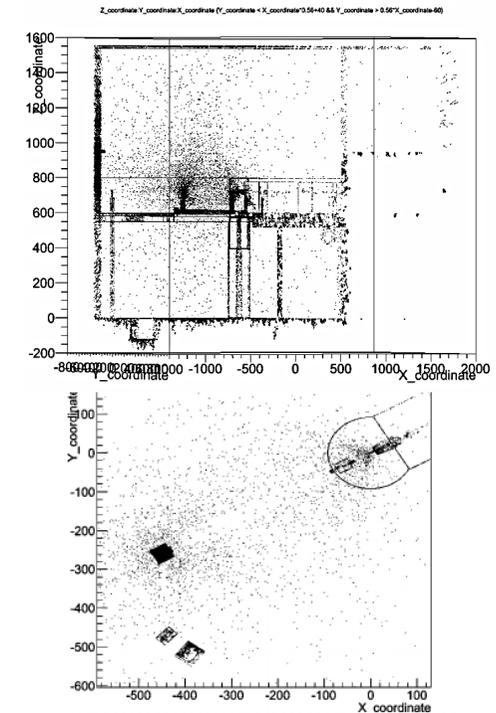
AMANDE - Vue de côté



AMANDE - Vue de dessus



AMANDE - Vue de côté



## Exemple d'utilisation

- D'où proviennent les neutrons diffusés qui arrivent sur le détecteur de référence d'AMANDE ?
- Ici : vue des points de collision des neutrons avant d'arriver sur le détecteur de référence.