

Notice d'utilisation du logiciel CosmoDCL

[Site internet du projet <http://ch.lagoute.free.fr/CosmoDCL>]

Table des matières

I. Qu'est-ce que CosmoDCL ?.....	3
II. Configuration de l'interface du détecteur	3
III. Fonctionnalités du logiciel.....	4
Fenêtre de l'application :	4
Caractéristiques du logiciel :	4
Description des champs :	5
IV. Exemples de simulations réalisées avec le logiciel CosmoDCL.....	11
Variation altimétrique du flux de muons	11
Anisotropie zénithale	12
Charge électrique du rayonnement cosmique primaire	12
Mise en évidence de la loi de Poisson	13
Simuler la dispersion sur le résultat d'une mesure	13
Etudier l'évolution de l'incertitude relative au cours du temps, lors d'une mesure	14

I. Qu'est-ce que CosmoDCL ?

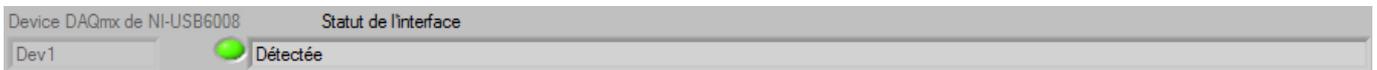
CosmoDCL, contraction de « Détecter les rayons Cosmiques au Lycée », est un détecteur de muons fonctionnant avec deux scintillateurs plastiques associés à des photomultiplicateurs. L'ensemble est relié à un système électronique interfacé par un ordinateur, piloté par le logiciel éponyme, développé sous NI-Labview, et prévu pour fonctionner sous Windows XP/Vista/7 (<http://ch.lagoute.free.fr/CosmoDCL>).

Le logiciel peut fonctionner de manière autonome, en mode de simulation, si l'on ne dispose pas du cosmodétecteur.

II. Configuration de l'interface du détecteur

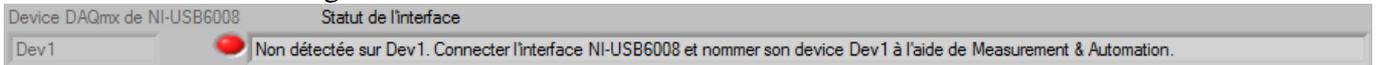
Une fois l'installation effectuée, relier l'interface du cosmodétecteur au port USB de l'ordinateur, puis lancer le logiciel CosmoDCL. Au bas de la fenêtre principale de l'application, une DEL indique le statut de l'interface.

- Si la DEL est verte :

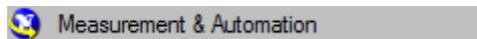


l'interface est reconnue et l'application fonctionne normalement.

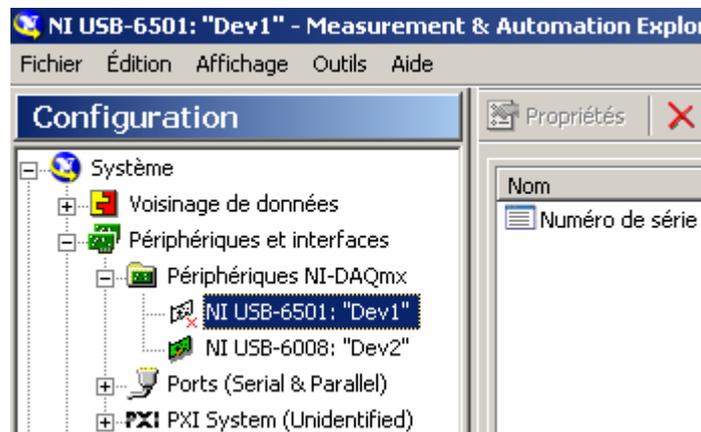
- Si la DEL est rouge :



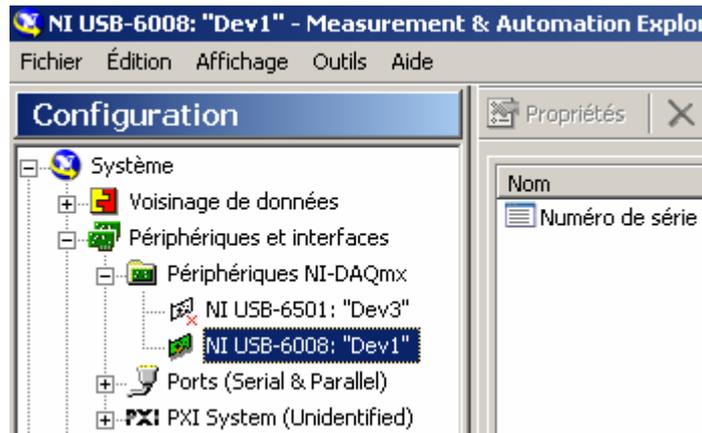
l'interface n'est pas reconnue. Le logiciel n'autorise que la simulation. Il est alors nécessaire de modifier le nom du device associé automatiquement à l'interface NI-USB6008, à l'aide du logiciel Measurement & Automation, qui s'est installé en même temps que les pilotes DAQmx. Le logiciel se trouve dans le menu Programme/National Instruments/Measurement & Automation :



Voici un exemple de configuration entraînant la non reconnaissance de l'interface par le logiciel CosmoDCL :



Le nom du device devant être "Dev1", après l'avoir renommé, on obtient :

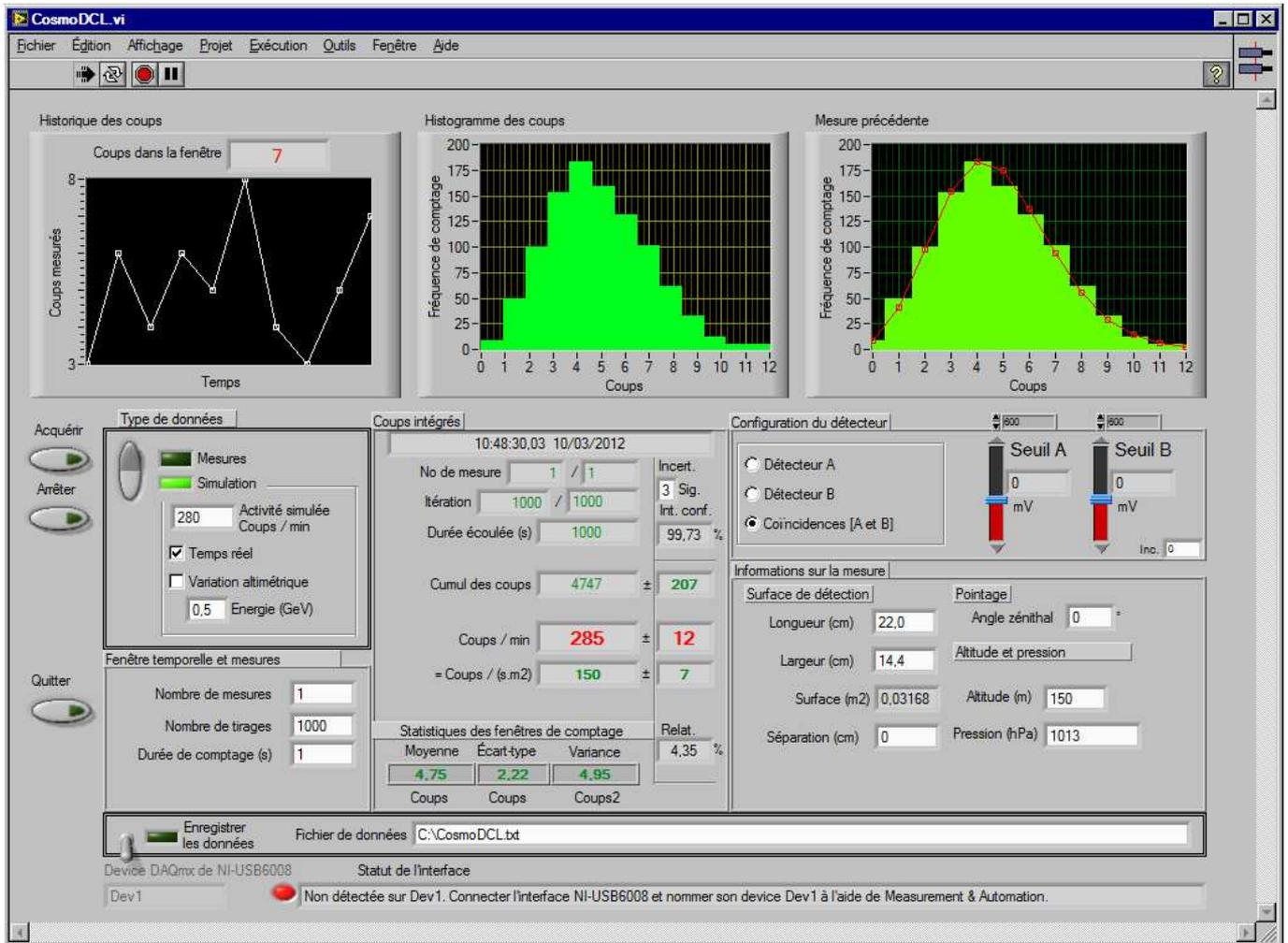


Il faut relancer CosmoDCL.exe : la DEL passe au vert.

III. Fonctionnalités du logiciel

Fenêtre de l'application :

Le logiciel CosmoDCL se présente sous la forme d'une fenêtre d'application :



Caractéristiques du logiciel :

La principale fonction du logiciel est de compter des impulsions en provenance du cosmodétecteur CosmoDCL, ou à défaut, de compter des impulsions simulées par un générateur de nombres aléatoires.

Description des champs :

Bouton Acquérir : Lance une mesure ou une simulation selon le *type de données* sélectionné.



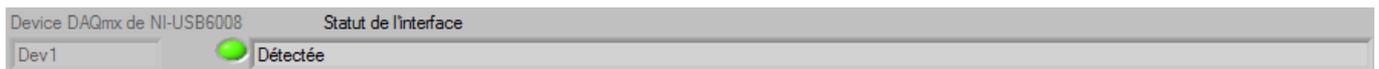
Bouton Arrêter : Interrompt les mesures ou simulations en cours.



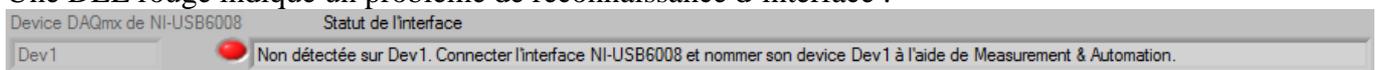
Bouton Quitter : Cesse l'exécution du code du programme. La fenêtre de l'application ne se ferme pas pour autant car une autre fenêtre container prend le relais. Il est alors possible de relancer le code Menu Exécution/Exécuter (Ctrl+R), fonctionnalité utile en cas de nécessité d'effectuer plusieurs tests de reconnaissance de l'interface NI-USB6008, ou bien de quitter en fermant le container.



Device DAQmx et Statut de l'interface : Une DEL verte indique que l'interface NI-USB6008 est reliée au port USB de l'ordinateur, et reconnue par le programme :

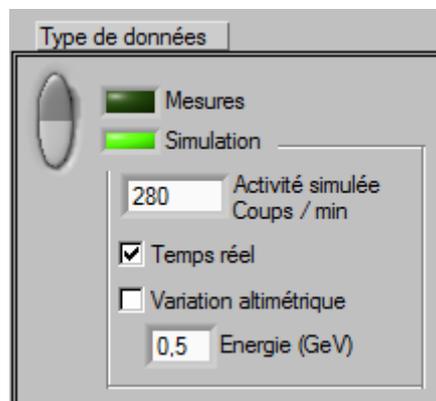


Une DEL rouge indique un problème de reconnaissance d'interface :



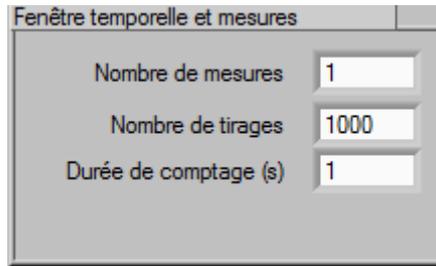
Se reporter à la procédure d'installation et configuration pour résoudre ce problème.

Type de données : Sur *Mesure*, le logiciel traite les données issues du détecteur. Sur *Simulation*, le logiciel génère une statistique poissonnienne d'*activité simulée* réglable, qui correspond à la moyenne espérée des *Coups / min sur détecteur*. La simulation est accessible même en l'absence du cosmodétecteur. La simulation peut se faire en temps réel ou non, en cochant ou décochant la case correspondante. Si la case *variation altimétrique* est cochée, l'*activité simulée* est supposée être celle du flux de muons à travers le détecteur au niveau de la mer. Si l'altitude diffère de 0, le logiciel corrige cette activité en tenant compte de son accroissement avec l'élévation, en supposant que le faisceau de muons est monocinétique, avec une énergie caractéristique donnée en GeV dans le champ *Energie*.

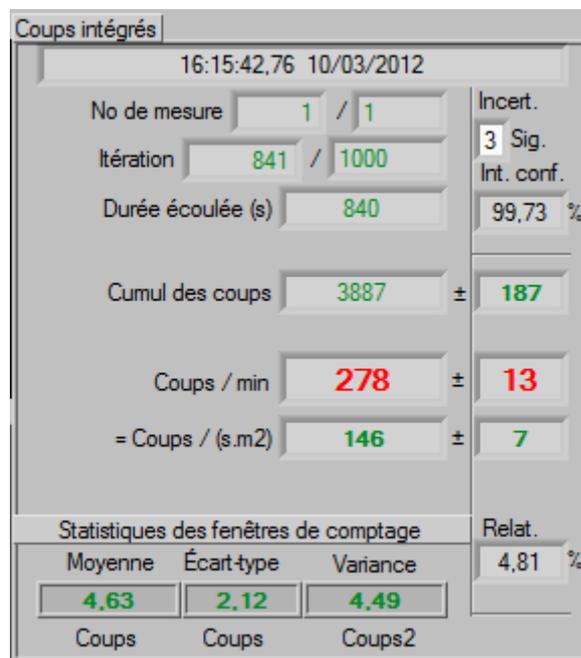


Fenêtre temporelle et mesures : La *Durée de comptage* représente la durée des fenêtres temporelles d'enregistrement des coups. Le logiciel mémorise l'ensemble des coups enregistrés dans un nombre de fenêtres temporelles successives égal au *Nombre de tirage*, ce qui constitue une mesure. Par défaut, une

mesure dure $1000 \times 1 = 1000$ s. L'enregistrement des données s'effectue à l'issue d'une mesure. Il est possible de programmer plusieurs mesures successives en réglant le champ *Nombre de mesures* à une valeur différente de l'unité.



Coups intégrés : Le premier champ indique la date et l'heure du début de la mesure en cours, ou du début de la dernière mesure effectuée :



No de mesure représente le numéro de la mesure en cours, lorsque plusieurs mesures sont programmées. *Itération* indique le numéro de la fenêtre temporelle en cours d'acquisition. *Durée écoulée* représente la durée écoulée depuis le début de la mesure en cours. Cette durée peut légèrement différer du produit du nombre de fenêtres temporelles déjà acquises multiplié par leur durée, en raison des délais de traitement des tâches de calcul par le logiciel.

Le *Cumul des coups* donne le nombre de coups enregistrés depuis le début de la mesure en cours. Le flux à travers l'instrument (rapport du *Cumul des coups* à la *Durée écoulée*) est indiqué en temps réel dans la rubrique *Coups / min.* :

$$\text{Flux à travers l'instrument} = \text{Cumul des coups} / \text{Durée écoulée}$$

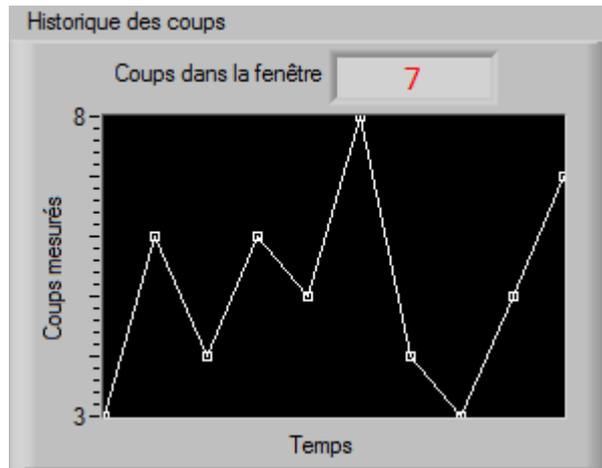
Le champ *Coups / (s.m2)* rapporte cette mesure à l'unité de surface en la divisant par la surface *S* des raquettes de détection, renseignée dans l'onglet *Informations sur la mesure* :

$$\text{Coups} / (\text{s.m}^2) = \text{Flux à travers l'instrument} / (60 \times S)$$

L'intervalle de confiance, réglable en nombre n d'écart types (« sigma »), s'affiche en pourcentage dans le champ *Int. conf.* L'écart type relatif à n sigma, permettant de calculer l'incertitude associée au *Cumul des coups*, *Coups / min* et *Coups / (s.m2)*, s'affiche en pourcentage dans le champ *Relat.* Il se calcule selon :

$$\text{Ecart type relatif} = n / (\text{Cumul des coups})^{1/2}$$

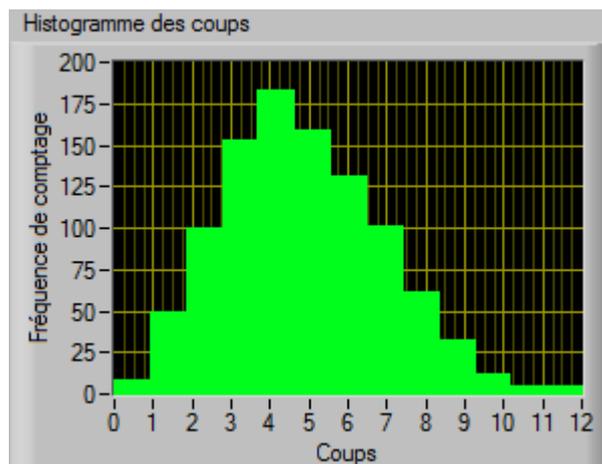
Historique des coups : Affiche en temps réel les coups enregistrés dans les fenêtres temporelles de comptage successives. Dans cet exemple, les coups enregistrés ont été 3, 6, 4, 6, 5, 8, 4, 3, 5 et 7. La valeur en cours s'affiche en rouge :



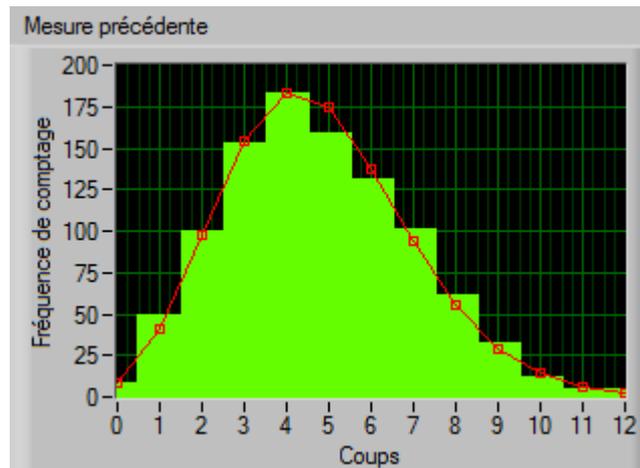
Statistique dans la fenêtre de comptage : Donne en temps réel la *moyenne*, l'*écart type* et la *variance* des coups dans les fenêtres temporelles depuis le début de la mesure en cours.

Statistiques des fenêtres de comptage		
Moyenne	Écart-type	Variance
4,75	2,22	4,95
Coups	Coups	Coups2

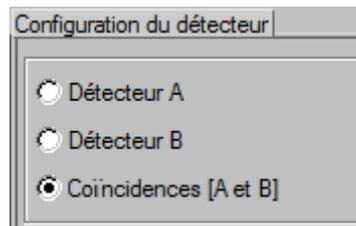
Histogramme des coups : Donne en temps réel l'histogramme du nombre de coups enregistrés dans les fenêtres temporelles depuis le début de la mesure.



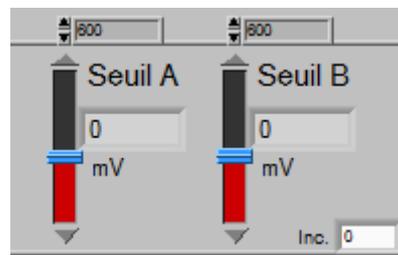
Mesure précédente : Lorsqu'une mesure se termine, *l'histogramme des coups* est recopié sur ce graphique et ajusté par une loi de Poisson (courbe en rouge) de même valeur moyenne.



Configuration du détecteur : On sélectionne le type d'acquisition, *Détecteur A* seul ou *Détecteur B* seul, pour des mesures de radioactivité naturelle, ou *Coïncidences [A et B]*, pour détecter des muons. Ce paramètre n'a aucune influence en mode *Simulation*.



Seuils de détection : Des curseurs verticaux permettent d'ajuster les seuils de tension de détection sur chacune des deux voies.



Les signaux, en sortie des photomultiplicateurs, sont discriminés de sorte que ceux dont l'amplitude est inférieure au seuil de tension sont ignorés. Les seuils sont fixés par défaut à environ 600 mV. Les valeurs indiquées en mV, sont des valeurs mesurées. Elles varient légèrement d'un instrument à l'autre. Il est possible de saisir directement des requêtes de seuil dans les champs rectangulaires situés au-dessus des curseurs. Les seuils de détection n'ont aucune influence en mode *Simulation*.

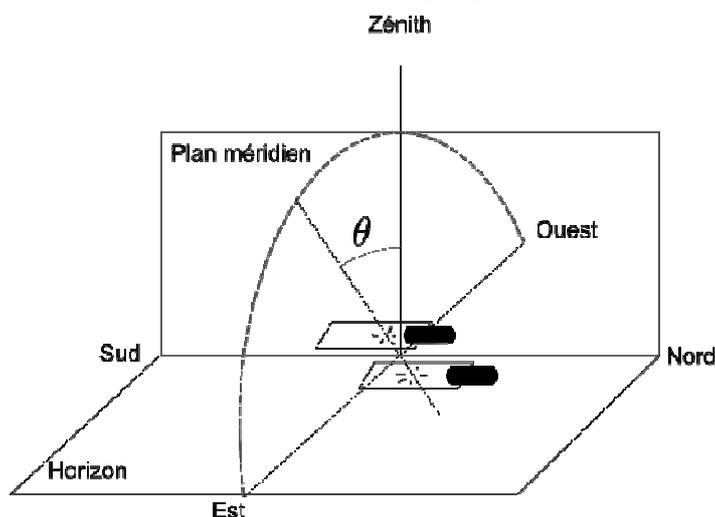
Le champ *Inc.*, pour incrément de seuil, est la valeur dont les seuils sont augmentés lorsque des mesures multiples sont demandées (*Nombre de mesures* > 1). Cette fonctionnalité permet de relever facilement l'évolution du taux de comptage en fonction des seuils de tension.

Pour effectuer une succession de mesures à seuils constants, il suffit de laisser *Inc.* à sa valeur nulle, par défaut.

Informations sur la mesure : On entre les paramètres géométriques des scintillateurs rectangulaires, *Longueur* et *Largeur*. La surface de détection en m^2 qui s'affiche dans le champ *Surface* est la valeur utilisée pour calculer le nombre de *Coups / (s.m2)*.

Informations sur la mesure	
Surface de détection	
Longueur (cm)	22,0
Largeur (cm)	14,4
Surface (m2)	0,03168
Séparation (cm)	0
Pointage	
Angle zénithal	0 °
Altitude et pression	
Altitude (m)	150
Pression (hPa)	1013

La distance de *Séparation* des plaques est un paramètre indicatif qui n'a aucune influence sur les paramètres de mesure affichés. L'intérêt de ce champ est qu'il fait partie des paramètres enregistrés dans le fichier de sauvegarde des données. On peut l'utiliser pour préciser par exemple, la distance verticale ou horizontale entre les deux scintillateurs, la distance d'une plaque à une source radioactive...



En configuration de mesure, l'*angle zénithal* est un paramètre destiné à renseigner le fichier de données sur l'orientation des raquettes de détection lors de la mesure. En configuration de simulation en coïncidences, l'*angle zénithal* affecte l'activité simulée de manière à restituer l'anisotropie zénithale du flux de muons. Un angle zénithal positif signifie une visée à l'ouest du méridien. Un angle négatif indique une visée vers l'est. La simulation permet de mettre en évidence l'anisotropie est-ouest.

Le paramètre *Altitude* renseigne le fichier de données sur l'altitude de la mesure. En mode simulation, ce paramètre affecte l'activité simulée afin de permettre d'étudier la variation altimétrique du flux de muons (cf. Type de données).

Le paramètre *Pression* renseigne le fichier de données sur la pression atmosphérique lors de la mesure. Ce champ n'a pas d'influence sur les paramètres de mesure affichés, il n'est qu'indicatif.

Enregistrer les données : Les résultats, qu'ils soient issus des simulations ou mesures, peuvent être enregistrés dans un fichier. Si l'enregistrement des données est demandé, les données de chaque mesure achevée, s'ajoutent à la fin du fichier au format texte, ce qui permet de conserver les traces de toutes les mesures, et de les exporter vers un tableur.



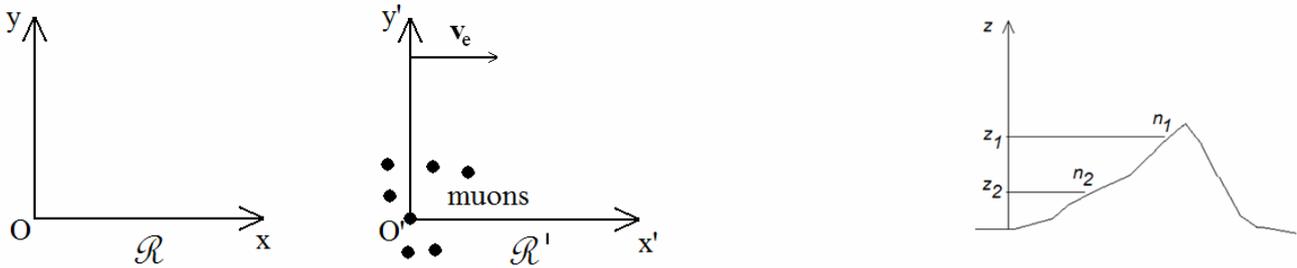
La liste des champs enregistrés est la suivante :

Nombre de tirages
Durée de comptage (s)
Cumul des coups
Coups / min sur détecteur
Coups / (s.m2)
Moyenne
Ecart type
Variance
Durée écoulée (s)
Configuration du détecteur (0 Détecteur A, 1 Détecteur B, 2 Détection de muons)
Angle zénithal
Longueur (cm)
Largeur (cm)
Séparation (cm)
Seuil A (mV)
Seuil B (mV)
Altitude (m)
Horodatage (instant en seconde depuis le 1/1/1904)
Année
Mois
Jour (du mois)
h (TU entière)
min (TU)
s (TU)
Heure (TU décimale)
Pression (hPa)
Simulation (1) Mesure (0)
Incert. 3Sigma sur Cps/min

Attention : la statistique des coups dans les fenêtres de comptage ne s'enregistre pas.

IV. Exemples de simulations réalisées avec le logiciel CosmoDCL

Variation altimétrique du flux de muons

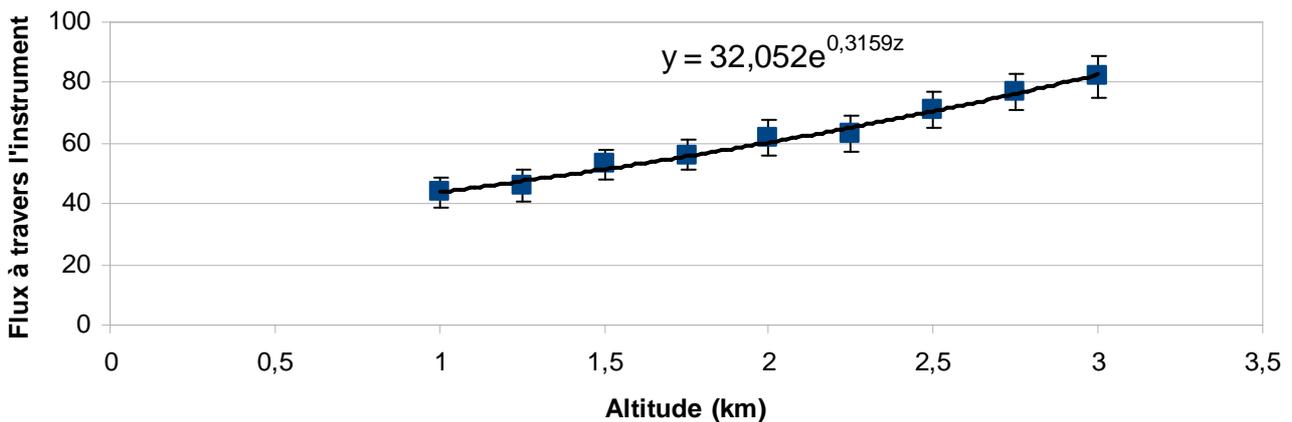


Dans référentiel propre R' d'un ensemble de muons atmosphériques, la population de muons décroît exponentiellement, comme au laboratoire :

$$n(t') = n_0 \exp\left(-\frac{t'}{\tau_p}\right) \text{ avec } \tau_p = 2,2 \mu\text{s}$$

Dans le référentiel terrestre R , la simulation permet d'obtenir la variation du flux avec l'altitude. Avec une *activité simulée* de 280 Coups/min et des muons d'énergie $E = 0,5 \text{ GeV}$, on trouve :

Variation altimétrique du flux de muons



On en déduit, en posant $h = 1/0,3159 \approx 3,17 \text{ km}$:

$$n(z) = n_0 \exp\left(\frac{z}{h}\right)$$

Les muons étant ultrarelativistes, si l'on choisit l'origine des temps en $z = 0 : z \approx -ct$. On obtient :

$$n(t) = n_0 \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \text{ avec } \tau = h/c = 10,6 \mu\text{s}$$

durée différente de τ_p ! La dilatation des durées entre l'événement origine et l'événement $E(x'=0, t')$ observées dans R et R' permet d'interpréter cet écart :

$$\tau = \gamma_e \tau_p$$

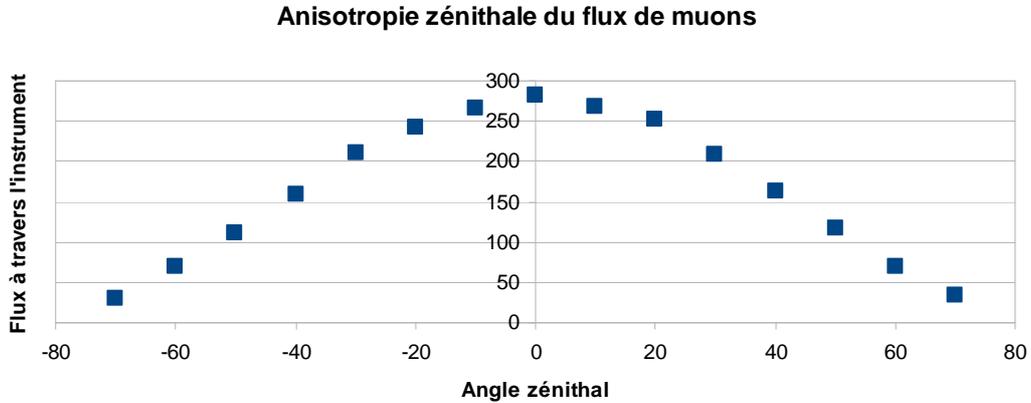
Le facteur relativiste est le rapport de l'énergie du faisceau sur l'énergie de masse m_μ du muon :

$$\gamma_e = \frac{E}{m_\mu c^2} = \frac{0,5}{0,106} = 4,7$$

On prévoit donc une durée de vie moyenne dans le référentiel terrestre égale à $4,7 \times 2,2 = 10,3 \mu\text{s}$, compatible, aux incertitudes près, avec la valeur obtenue par simulation.

Anisotropie zénithale

L'anisotropie du flux de muons peut être mise en évidence par la simulation, en relevant le taux de comptage à travers l'instrument en fonction de l'angle zénithal Θ . Le flux décroît typiquement comme $\cos^2\Theta$:



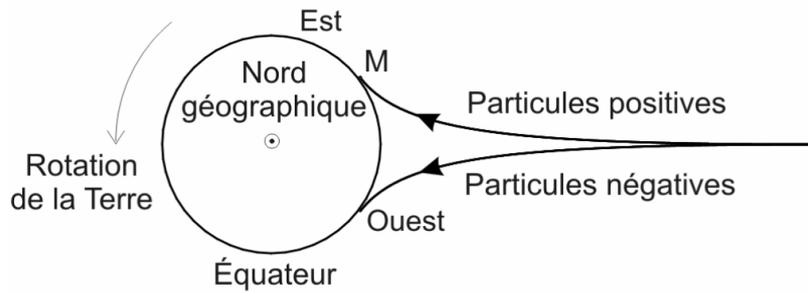
Les raisons de cette anisotropie sont multiples : variation de la longueur du chemin parcouru par les muons avec l'angle de visée, perte d'énergie lors de la traversée de l'atmosphère, désintégration des muons, spectre initial d'énergie des muons...

Charge électrique du rayonnement cosmique primaire

En simulant deux visées, l'une vers l'ouest (angle zénithal positif), l'autre vers l'est (angle zénithal négatif), pour des durées d'intégration suffisantes afin de réduire l'incertitude statistique, le flux vers l'ouest trouvé est supérieur au flux vers l'est :

<div style="border: 1px solid gray; padding: 5px;"> <p>Fenêtre temporelle et mesures</p> <p>Nombre de mesures <input type="text" value="1"/></p> <p>Nombre de tirages <input type="text" value="50000"/></p> <p>Durée de comptage (s) <input type="text" value="1"/></p> </div>	<p>Vers l'est :</p> <div style="border: 1px solid gray; padding: 5px;"> <p>Pointage</p> <p>Angle zénithal <input type="text" value="-30"/> °</p> <p>Coups / min 206 ± 1</p> </div>
ou	
<div style="border: 1px solid gray; padding: 5px;"> <p>Fenêtre temporelle et mesures</p> <p>Nombre de mesures <input type="text" value="1"/></p> <p>Nombre de tirages <input type="text" value="1"/></p> <p>Durée de comptage (s) <input type="text" value="50000"/></p> </div>	<p>Vers l'ouest :</p> <div style="border: 1px solid gray; padding: 5px;"> <p>Pointage</p> <p>Angle zénithal <input type="text" value="30"/> °</p> <p>Coups / min 210 ± 2</p> </div>

Cette anisotropie azimutale indique que les particules incidentes sont majoritairement positives. En effet, si l'on considère deux faisceaux incidents dans le plan équatorial terrestre par exemple, initialement confondus sur une même trajectoire radiale, l'un constitué de particules de charge positive, l'autre, de particules de charge négative, la déviation magnétique est telle qu'en un point M de l'équateur, on ne reçoit du faisceau initial que les charges positives dans la direction de l'ouest ; les charges négatives ayant été déviées, elles, vers l'ouest. Cet excès de charges positives dans le faisceau incident est responsable du flux accru en direction de l'ouest.



Mise en évidence de la loi de Poisson

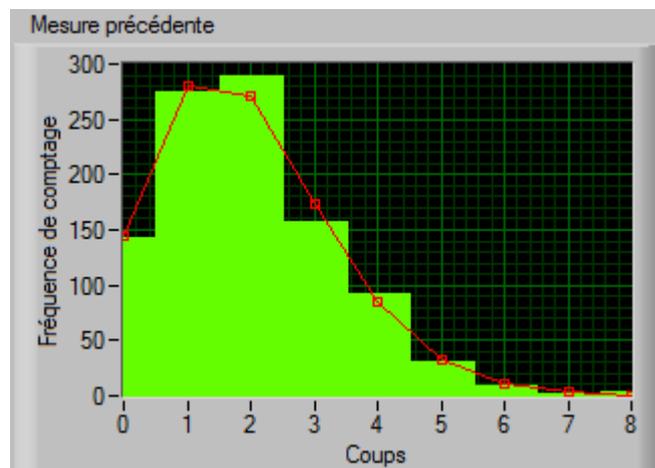
La simulation d'une mesure, en temps réel ou non, permet d'observer la convergence des valeurs de la moyenne et de la variance. L'ajustement réalisé à l'issue de la simulation sur le graphique *Mesure précédente*, permet d'apprécier la dispersion statistique autour de la loi de Poisson :

Fenêtre temporelle et mesures

Nombre de mesures: 1
 Nombre de tirages: 1000
 Durée de comptage (s): 1

Statistiques des fenêtres de comptage

Moyenne	Écart-type	Variance
1,94	1,39	1,93
Coups	Coups	Coups2



Simuler la dispersion sur le résultat d'une mesure

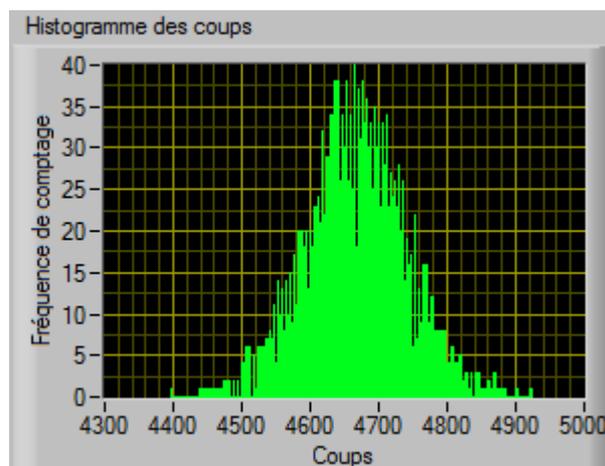
La simulation en temps accéléré, permet de faire observer la dispersion des résultats d'une mesure de 1000 s, en renouvelant l'expérience 5000 fois. L'incertitude « à un sigma » se lit dans le champ *Ecart-type* de l'onglet *Statistiques des fenêtres de comptage*. On observe en outre, la convergence de la loi de Poisson vers une loi de Gauss.

Fenêtre temporelle et mesures

Nombre de mesures: 1
 Nombre de tirages: 5000
 Durée de comptage (s): 1000

Statistiques des fenêtres de comptage

Moyenne	Ecart-type	Variance
4667,52	67,48	4553,57
Coups	Coups	Coups2



Etudier l'évolution de l'incertitude relative au cours du temps, lors d'une mesure

L'incertitude relative ε_r décroît comme l'inverse de la racine carrée du *Cumul des coups*. Comme le *Cumul des coups* croît proportionnellement au temps de mesure, $1/\varepsilon_r^2$ est proportionnel au temps. On peut simuler ce résultat en relevant dans un tableur l'évolution de ε_r au cours du temps.

