

# Documentation des Histogrammes et Ntuples

Simulation Geant4 – Projet MiniX  
Variables et conditions de remplissage

January 29, 2026

## Contents

<b>1 Histogrammes 1D</b>	<b>2</b>
1.1 Vue d'ensemble . . . . .	2
1.2 Histogrammes d'émission (H0, H1, H2) . . . . .	2
1.2.1 H0 – Énergie des gammas primaires . . . . .	2
1.2.2 H1 – Angle theta des gammas primaires . . . . .	2
1.2.3 H2 – Angle phi des gammas primaires . . . . .	3
1.3 Histogrammes de dose – Run complet (H3, H5–H9) . . . . .	3
1.3.1 Formule de calcul de la dose . . . . .	3
1.3.2 H3 – Dose totale dans l'eau (run complet) . . . . .	3
1.3.3 H5–H9 – Dose par anneau (run complet) . . . . .	4
1.4 Histogrammes de dose – Par 1000 événements (H4, H10–H14) . . . . .	4
1.4.1 H4 – Dose totale dans l'eau (par 1000 événements) . . . . .	4
1.4.2 H10–H14 – Dose par anneau (par 1000 événements) . . . . .	5
1.5 Flux de données pour les histogrammes de dose . . . . .	5
<b>2 Ntuples</b>	<b>7</b>
2.1 Vue d'ensemble . . . . .	7
2.2 Ntuple 0 : <code>plane_passages</code> . . . . .	7
2.3 Ntuples 1–2 : <code>ScorePlane2/3_passages</code> . . . . .	7
2.4 Ntuple 3 : <code>WaterRings_passages</code> . . . . .	8
2.5 Ntuple 4 : <code>ScorePlane5_passages</code> . . . . .	8
<b>3 Récapitulatif des fichiers sources</b>	<b>10</b>
<b>4 Exemple de run</b>	<b>10</b>

# 1 Histogrammes 1D

## 1.1 Vue d'ensemble

ID	Nom	Bins	Min	Max
0	E_emission	150	0	50 keV
1	theta_emission	180	0°	180°
2	phi_emission	90	-180°	180°
3	Dose_total_run	200	0	1 $\mu$ Gy
4	Dose_total_1000evt	200	0	1 $\mu$ Gy
5	Dose_ring0_run	200	0	1 $\mu$ Gy
6	Dose_ring1_run	200	0	1 $\mu$ Gy
7	Dose_ring2_run	200	0	1 $\mu$ Gy
8	Dose_ring3_run	200	0	1 $\mu$ Gy
9	Dose_ring4_run	200	0	1 $\mu$ Gy
10	Dose_ring0_1000evt	200	0	1 $\mu$ Gy
11	Dose_ring1_1000evt	200	0	1 $\mu$ Gy
12	Dose_ring2_1000evt	200	0	1 $\mu$ Gy
13	Dose_ring3_1000evt	200	0	1 $\mu$ Gy
14	Dose_ring4_1000evt	200	0	1 $\mu$ Gy

## 1.2 Histogrammes d'émission (H0, H1, H2)

### 1.2.1 H0 – Énergie des gammas primaires

Paramètre	Valeur
Nom	E_emission
Description	Énergie cinétique des gammas primaires à l'émission
Bins	150
Range	[0, 50] keV
Unité	keV

Condition de remplissage :

- **Quand** : À chaque génération d'un gamma primaire
- **Où** : PrimaryGeneratorAction1::GeneratePrimaries() et PrimaryGeneratorAction2::GeneratePrimaries()
- **Variable** : energy = fParticleGun->GetParticleEnergy()

```
analysisManager->FillH1(0, energy); // energy en keV
```

### 1.2.2 H1 – Angle theta des gammas primaires

Paramètre	Valeur
Nom	theta_emission
Description	Angle polaire $\theta$ de la direction d'émission
Bins	180
Range	[0, 180] degrés
Unité	degrés

Condition de remplissage :

- **Quand** : À chaque génération d'un gamma primaire
- **Où** : PrimaryGeneratorAction1/2::GeneratePrimaries()

- Variable : `thetaDeg = acos(cosTheta) / deg`

```
analysisManager->FillH1(1, thetaDeg); // theta en degres
```

### 1.2.3 H2 – Angle phi des gammas primaires

Paramètre	Valeur
Nom	<code>phi_emission</code>
Description	Angle azimutal $\phi$ de la direction d'émission
Bins	90
Range	[−180, 180] degrés
Unité	degrés

Condition de remplissage :

- Quand : À chaque génération d'un gamma primaire
- Où : `PrimaryGeneratorAction1/2::GeneratePrimaries()`
- Variable : `phiDeg = phi / deg`

```
analysisManager->FillH1(2, phiDeg); // phi en degres
```

## 1.3 Histogrammes de dose – Run complet (H3, H5–H9)

### 1.3.1 Formule de calcul de la dose

$$\text{Dose } [\mu\text{Gy}] = \frac{E_{\text{dep}} [\text{keV}] \times 1.602 \times 10^{-7}}{\text{masse } [\text{g}]} \quad (1)$$

Masses des anneaux d'eau (épaisseur  $Z = 3$  mm,  $\rho_{\text{eau}} = 1$  g/cm<sup>3</sup>) :

Anneau	Rayon (mm)	Volume (mm <sup>3</sup> )	Masse (g)
0	0 – 2	$\pi \times 4 \times 3 = 37.70$	0.03770
1	2 – 4	$\pi \times 12 \times 3 = 113.10$	0.11310
2	4 – 6	$\pi \times 20 \times 3 = 188.50$	0.18850
3	6 – 8	$\pi \times 28 \times 3 = 263.89$	0.26389
4	8 – 10	$\pi \times 36 \times 3 = 339.29$	0.33929
<b>Total</b>	0 – 10	$\pi \times 100 \times 3 = 942.48$	0.94248

### 1.3.2 H3 – Dose totale dans l'eau (run complet)

Paramètre	Valeur
Nom	<code>Dose_total_run</code>
Description	Dose totale déposée dans toute l'eau du container
Bins	200
Range	[0, 1] $\mu\text{Gy}$
Unité	$\mu\text{Gy}$

Condition de remplissage :

- Quand : Une seule fois, à la fin du run
- Où : `RunAction::EndOfRunAction()`

- **Variable** : fTotalEdepWater (énergie accumulée sur tout le run)
- **Nombre d'entrées** : 1 par run

```
G4double dose_total_run = fTotalEdepWater * keV_to_uGy_per_gram /
    kMassTotalWater;
am->FillH1(3, dose_total_run);
```

### 1.3.3 H5–H9 – Dose par anneau (run complet)

Paramètre	Valeur
Noms	Dose_ring0_run à Dose_ring4_run
Description	Dose déposée dans chaque anneau (run complet)
Bins	200
Range	[0, 1] $\mu\text{Gy}$
Unité	$\mu\text{Gy}$

Condition de remplissage :

- **Quand** : Une seule fois, à la fin du run
- **Où** : RunAction::EndOfRunAction()
- **Variable** : fTotalEdepRing[i] pour  $i \in [0, 4]$
- **Nombre d'entrées** : 1 par run pour chaque histogramme

```
for (G4int i = 0; i < kNbWaterRings; i++) {
    G4double dose_ring_run = fTotalEdepRing[i] * keV_to_uGy_per_gram /
        kMassRing[i];
    am->FillH1(5 + i, dose_ring_run); // H5 à H9
}
```

## 1.4 Histogrammes de dose – Par 1000 événements (H4, H10–H14)

### 1.4.1 H4 – Dose totale dans l'eau (par 1000 événements)

Paramètre	Valeur
Nom	Dose_total_1000evt
Description	Distribution des doses par tranche de 1000 événements
Bins	200
Range	[0, 1] $\mu\text{Gy}$
Unité	$\mu\text{Gy}$

Condition de remplissage :

- **Quand** : Tous les 1000 événements (`eventID % 1000 == 0`)
- **Où** : RunAction::CheckAndFillDoseHistograms()
- **Variable** : fEdepWater1000 (énergie accumulée sur 1000 evt)
- **Nombre d'entrées** :  $N_{\text{events}}/1000$  par run
- **Réinitialisation** : fEdepWater1000 = 0 après chaque remplissage

```

if (eventID > 0 && eventID % 1000 == 0 && eventID != fLastHistoFillEvent) {
    fLastHistoFillEvent = eventID;

    G4double dose_total = fEdepWater1000 * keV_to_uGy_per_gram /
        kMassTotalWater;
    analysisManager->FillH1(4, dose_total);

    fEdepWater1000 = 0.0; // Reinitialisation de l'accumulateur
}

```

#### 1.4.2 H10–H14 – Dose par anneau (par 1000 événements)

Paramètre	Valeur
Noms	Dose_ring0_1000evt à Dose_ring4_1000evt
Description	Distribution des doses par anneau et par tranche de 1000 evt
Bins	200
Range	[0, 1] $\mu$ Gy
Unité	$\mu$ Gy

Condition de remplissage :

- **Quand** : Tous les 1000 événements ( $\text{eventID} \% 1000 == 0$ )
- **Où** : RunAction::CheckAndFillDoseHistograms()
- **Variable** :  $fEdepRing1000[i]$  pour  $i \in [0, 4]$
- **Nombre d'entrées** :  $N_{\text{events}}/1000$  par run pour chaque histo
- **Réinitialisation** :  $fEdepRing1000[i] = 0$  après chaque remplissage

```

if (eventID > 0 && eventID % 1000 == 0 && eventID != fLastHistoFillEvent) {
    for (G4int i = 0; i < kNbWaterRings; i++) {
        G4double dose_ring = fEdepRing1000[i] * keV_to_uGy_per_gram /
            kMassRing[i];
        analysisManager->FillH1(10 + i, dose_ring); // H10 à H14

        fEdepRing1000[i] = 0.0; // Reinitialisation
    }
}

```

### 1.5 Flux de données pour les histogrammes de dose

1. SteppingAction::UserSteppingAction()
  - Déetecte les dépôts d'énergie dans les volumes logicWaterRing0 à logicWaterRing4
  - Appelle fEventAction->AddEdepToRing(ringIndex, edep)
2. EventAction::AddEdepToRing()
  - Accumule l'énergie dans fEdepRing[ringIndex] et fEdepTotalWater
  - Ces variables sont réinitialisées au début de chaque événement
3. EventAction::EndOfEventAction()
  - Transmet les énergies à RunAction::AddEdepFromEvent()
  - Appelle RunAction::CheckAndFillDoseHistograms()

4. **RunAction::AddEdepFromEvent()**

- Accumule dans `fTotalEdepRing[i]` et `fTotalEdepWater` (pour fin de run)
- Accumule dans `fEdepRing1000[i]` et `fEdepWater1000` (pour 1000 evt)

5. **RunAction::CheckAndFillDoseHistograms()**

- Si `eventID % 1000 == 0` : remplit H4 et H10–H14, puis réinitialise les accumulateurs 1000 evt

6. **RunAction::EndOfRunAction()**

- Remplit H3 et H5–H9 avec les totaux du run

## 2 Ntuples

### 2.1 Vue d'ensemble

ID	Nom	Position Z	Volume
0	plane_passages	18 mm	ScorePlane1
1	ScorePlane2_passages	28 mm	ScorePlane2
2	ScorePlane3_passages	38 mm	ScorePlane3
3	WaterRings_passages	65–68 mm	Couronnes d'eau
4	ScorePlane5_passages	70 mm	ScorePlane5

### 2.2 Ntuple 0 : plane\_passages

Paramètre	Valeur
Nom	plane_passages
Description	Traversées +Z du plan ScorePlane1
Position	$z = 18 \text{ mm}$

Variables :

Col.	Variable	Type	Description
0	x_mm	Double	Position X (mm)
1	y_mm	Double	Position Y (mm)
2	z_mm	Double	Position Z (mm)
3	ekin_keV	Double	Énergie cinétique (keV)
4	pdg	Int	Code PDG de la particule
5	name	String	Nom de la particule
6	trackID	Int	ID de la trace
7	parentID	Int	ID du parent (0 si primaire)
8	creator_process	String	Processus créateur

Condition de remplissage :

- Quand** : À chaque traversée du plan dans la direction +Z
- Où** : SurfaceSpectrumSD::ProcessHits()
- Condition** : postPoint->GetStepStatus() == fGeomBoundary et direction +Z

### 2.3 Ntuples 1–2 : ScorePlane2/3\_passages

Paramètre	Valeur
Noms	ScorePlane2_passages, ScorePlane3_passages
Description	Traversées +Z des plans ScorePlane2 et ScorePlane3
Positions	$z = 28 \text{ mm}$ et $z = 38 \text{ mm}$

Variables :

Col.	Variable	Type	Description
0	pdg	Int	Code PDG de la particule
1	name	String	Nom de la particule
2	is_secondary	Int	0 = primaire, 1 = secondaire
3	x_mm	Double	Position X (mm)
4	y_mm	Double	Position Y (mm)
5	ekin_keV	Double	Énergie cinétique (keV)
6	trackID	Int	ID de la trace
7	parentID	Int	ID du parent (0 si primaire)
8	creator_process	String	Processus créateur

**Condition de remplissage :**

- **Quand** : À chaque traversée du plan dans la direction +Z
- **Où** : ScorePlane2SD::ProcessHits() et ScorePlane3SD::ProcessHits()
- **Condition** : postPoint->GetStepStatus() == fGeomBoundary et direction +Z

## 2.4 Ntuple 3 : WaterRings\_passages

Paramètre	Valeur
Nom	WaterRings_passages
Description	Traversées dans les 5 couronnes d'eau concentriques
Position	$z = 65$ à $68$ mm

**Variables** : Identiques aux ntuple 1–2.

**Condition de remplissage :**

- **Quand** : À chaque traversée d'une couronne d'eau
- **Où** : ScorePlane4SD::ProcessHits()
- **Note** : Les 5 couronnes partagent le même ntuple

**Identification des couronnes en post-traitement :**

La position radiale  $r = \sqrt{x^2 + y^2}$  permet d'identifier la couronne :

Couronne	Condition sur $r$ (mm)
0	$0 \leq r < 2$
1	$2 \leq r < 4$
2	$4 \leq r < 6$
3	$6 \leq r < 8$
4	$8 \leq r < 10$

## 2.5 Ntuple 4 : ScorePlane5\_passages

Paramètre	Valeur
Nom	ScorePlane5_passages
Description	Traversées +Z du plan ScorePlane5 (après les couronnes d'eau)
Position	$z = 70$ mm

**Variables** : Identiques aux ntuple 1–2.

**Condition de remplissage :**

- **Quand** : À chaque traversée du plan dans la direction +Z
- **Où** : ScorePlane5SD::ProcessHits()
- **Condition** : postPoint->GetStepStatus() == fGeomBoundary et direction +Z

### 3 Récapitulatif des fichiers sources

Fichier	Rôle
AnalysisManagerSetup.cc	Création des 15 histogrammes et 5 ntuples
PrimaryGeneratorAction1.cc	Remplissage H0, H1, H2 (mode 1)
PrimaryGeneratorAction2.cc	Remplissage H0, H1, H2 (mode 2)
SteppingAction.cc	Détection dépôts énergie dans anneaux
EventAction.cc/hh	Accumulation énergie par événement
RunAction.cc/hh	Accumulation run, calcul dose, remplissage H3–H14
SurfaceSpectrumSD.cc	Remplissage ntuple 0
ScorePlane2SD.cc	Remplissage ntuple 1
ScorePlane3SD.cc	Remplissage ntuple 2
ScorePlane4SD.cc	Remplissage ntuple 3 (WaterRings)
ScorePlane5SD.cc	Remplissage ntuple 4

### 4 Exemple de run

Pour un run de 10 000 événements :

Histogramme	Nb entrées	Signification
H0 (E_emission)	10 000	Une entrée par gamma primaire
H1 (theta_emission)	10 000	Une entrée par gamma primaire
H2 (phi_emission)	10 000	Une entrée par gamma primaire
H3 (Dose_total_run)	1	Dose totale du run
H5–H9 (Dose_ringX_run)	1 chacun	Dose par anneau (run)
H4 (Dose_total_1000evt)	10	Distribution des doses par tranche
H10–H14 (Dose_ringX_1000evt)	10 chacun	Distribution par anneau et tranche