



Recherche des neutrinos cosmiques à haute énergie émis par les AGNs avec le télescope ANTARES

Garabed HALLADJIAN

Dirigée par Paschal COYLE et Vincent BERTIN

1^{er} année de thèse, CPPM

23 Juin 2008



Plan de présentation



- Introduction
 - Astronomie neutrino
 - Description du détecteur ANTARES
- Noyau actif de galaxie (AGN)
 - Description
 - Estimation de flux des neutrinos
- Système de positionnement acoustique
 - Description
 - Vitesse du son dans la zone du détecteur
 - Résolution angulaire



Plan de présentation



- Introduction
 - Astronomie neutrino
 - Description du détecteur ANTARES
- Noyau actif de galaxie (AGN)
 - Description
 - Estimation de flux des neutrinos
- Système de positionnement acoustique
 - Description
 - Vitesse du son dans la zone du détecteur
 - Résolution angulaire

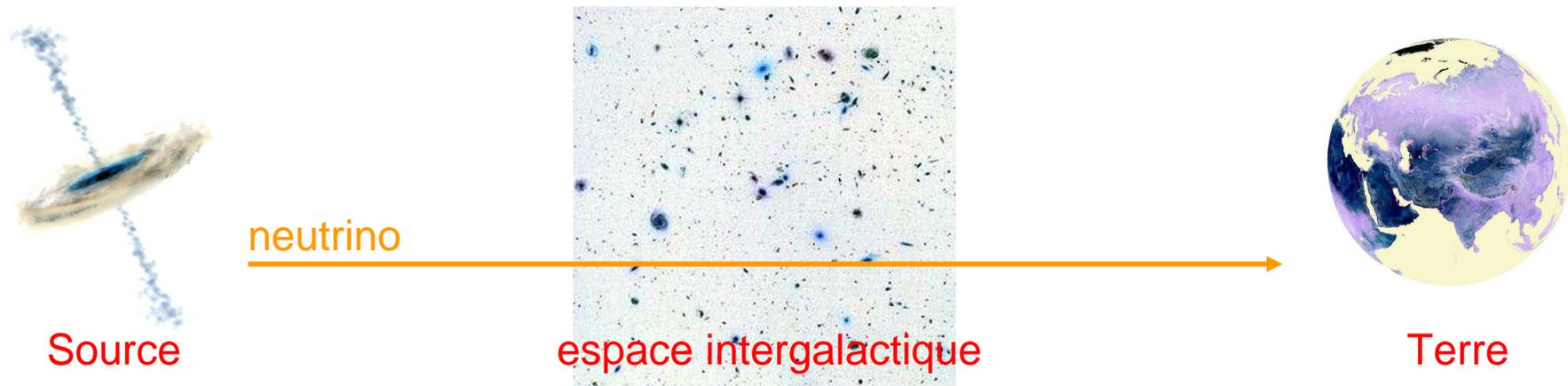


Astronomie neutrino



Avantages du neutrino:

- Il est stable (Pas de désintégration pendant son parcours).



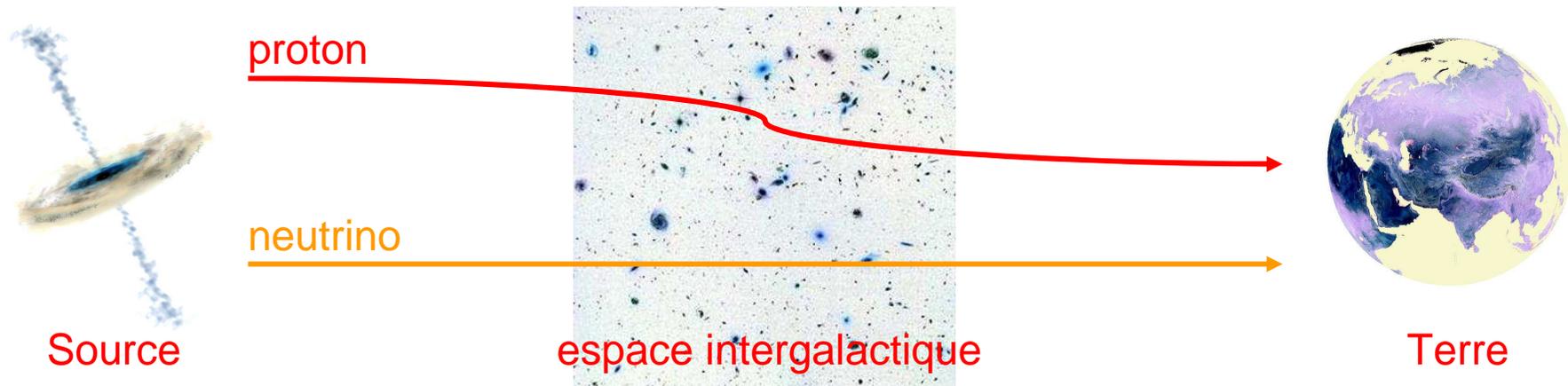


Astronomie neutrino



Avantages du neutrino:

- Il est stable (Pas de désintégration pendant son parcours).
- Il est électriquement neutre (Pas de déviation par les champs magnétiques, localisation de la direction de sa source).



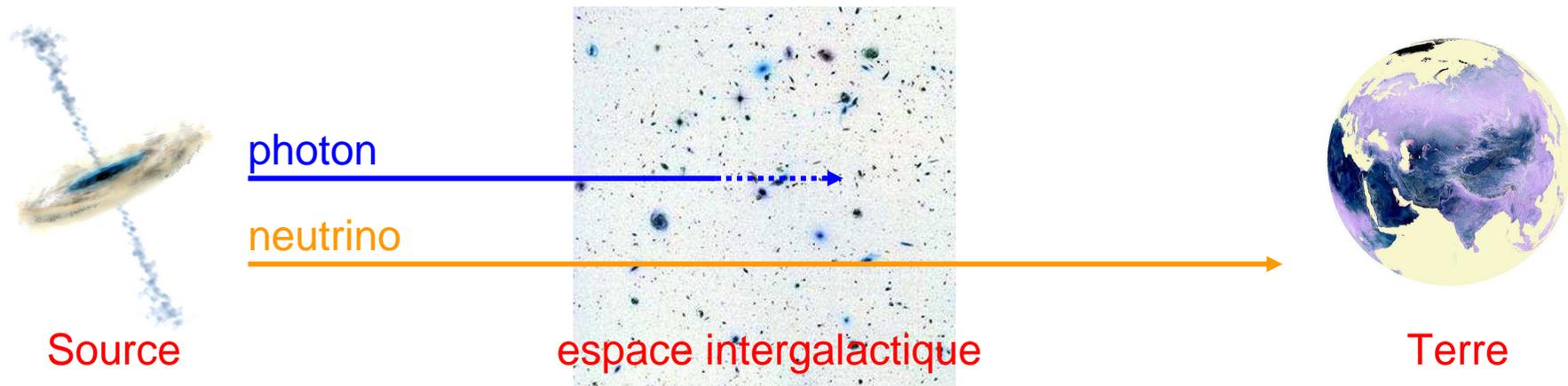


Astronomie neutrino



Avantages du neutrino:

- Il est stable (Pas de désintégration pendant son parcours).
- Il est électriquement neutre (Pas de déviation par les champs magnétiques, localisation de la direction de sa source).
- Il possède une très faible section efficace d'interaction et peut ainsi s'extirper des zones denses de l'Univers.



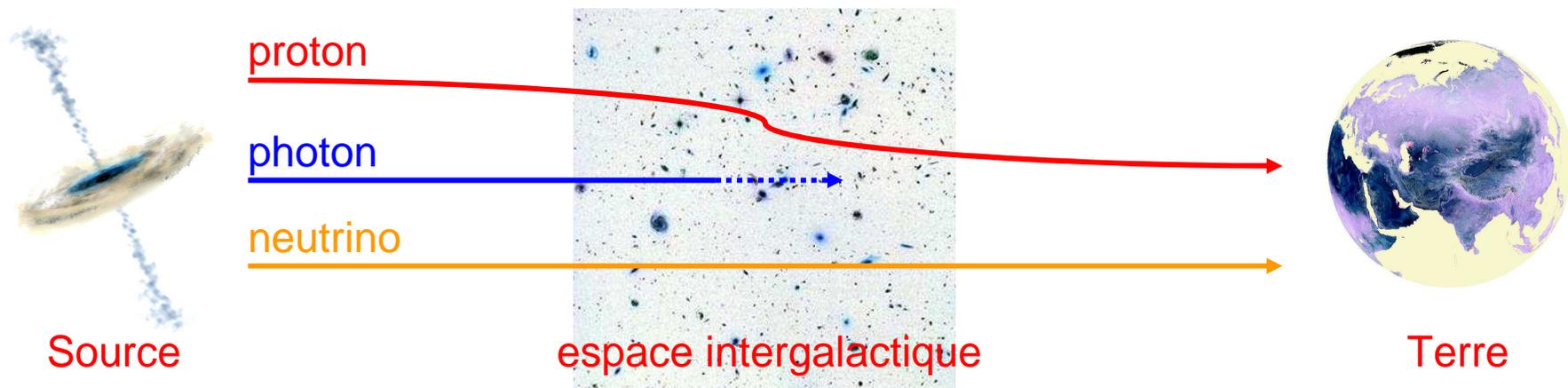


Astronomie neutrino



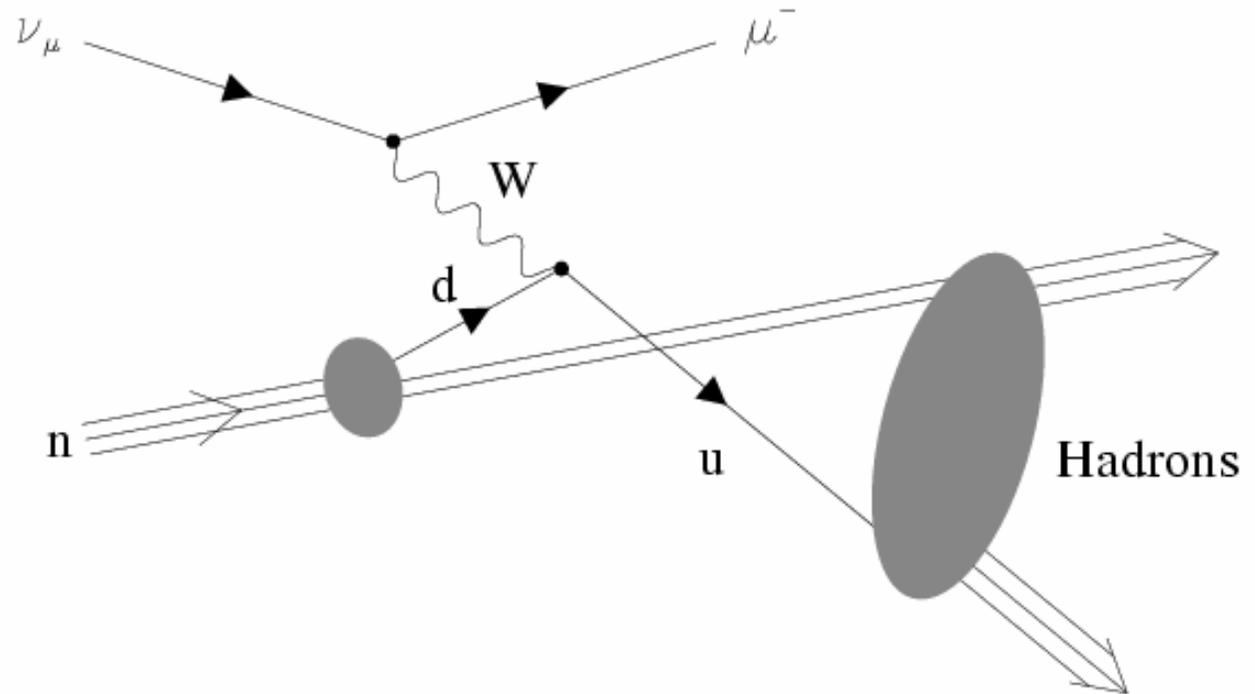
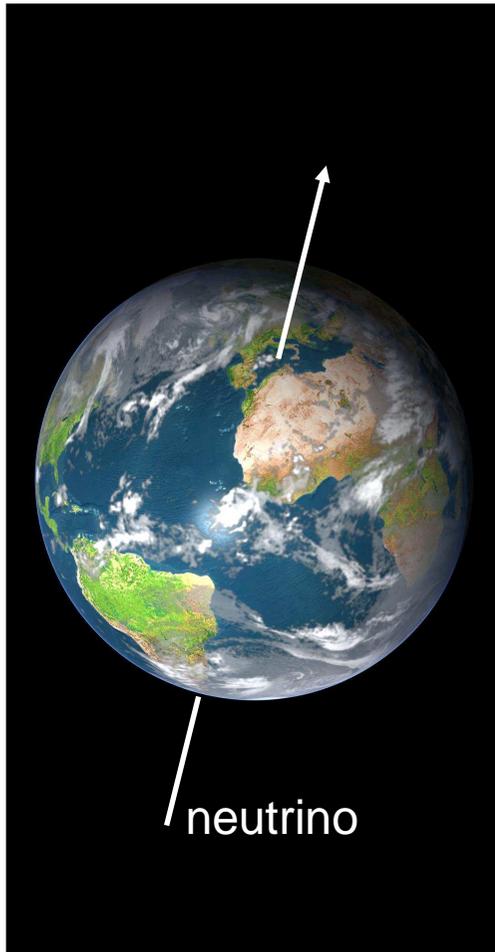
Avantages du neutrino:

- Il est stable (Pas de désintégration pendant son parcours).
- Il est électriquement neutre (Pas de déviation par les champs magnétiques, localisation de la direction de sa source).
- Il possède une très faible section efficace d'interaction et peut ainsi s'extirper des zones denses de l'Univers.
- Il n'interagit que par interaction faible et transporte ainsi des informations sur les phénomènes nucléaires des sources, contrairement au photon qui est issu de processus électromagnétiques.





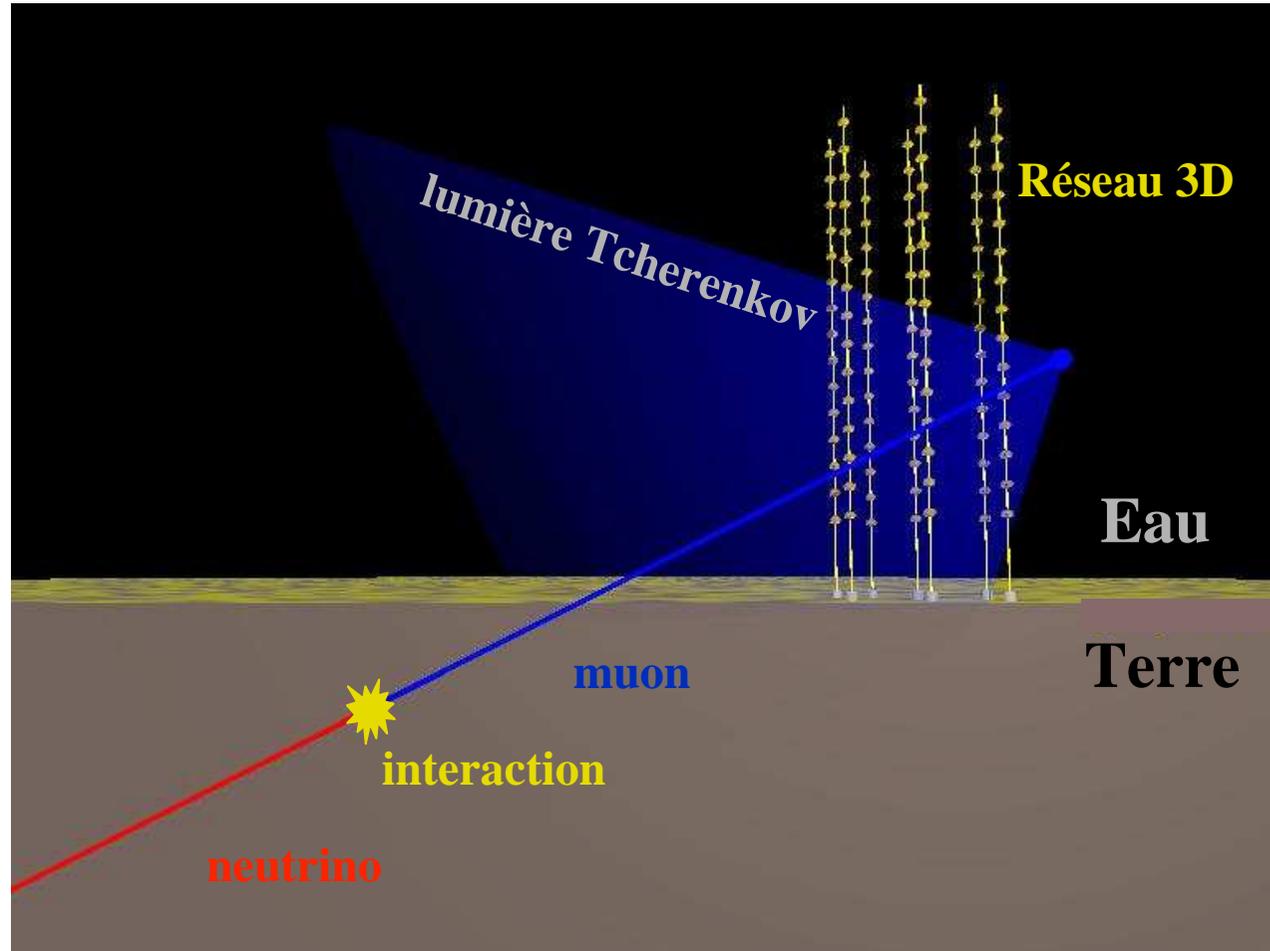
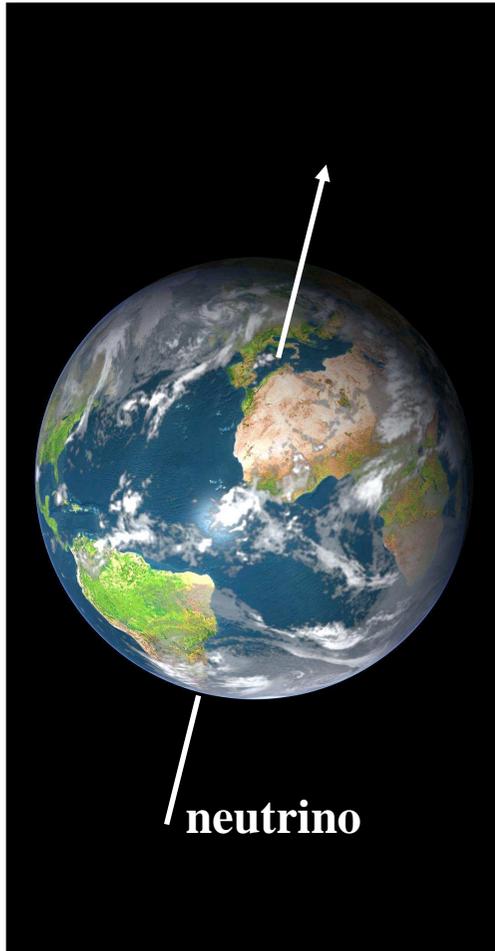
Principe de détection



Interaction ν_μ avec un quark par l'interaction faible.

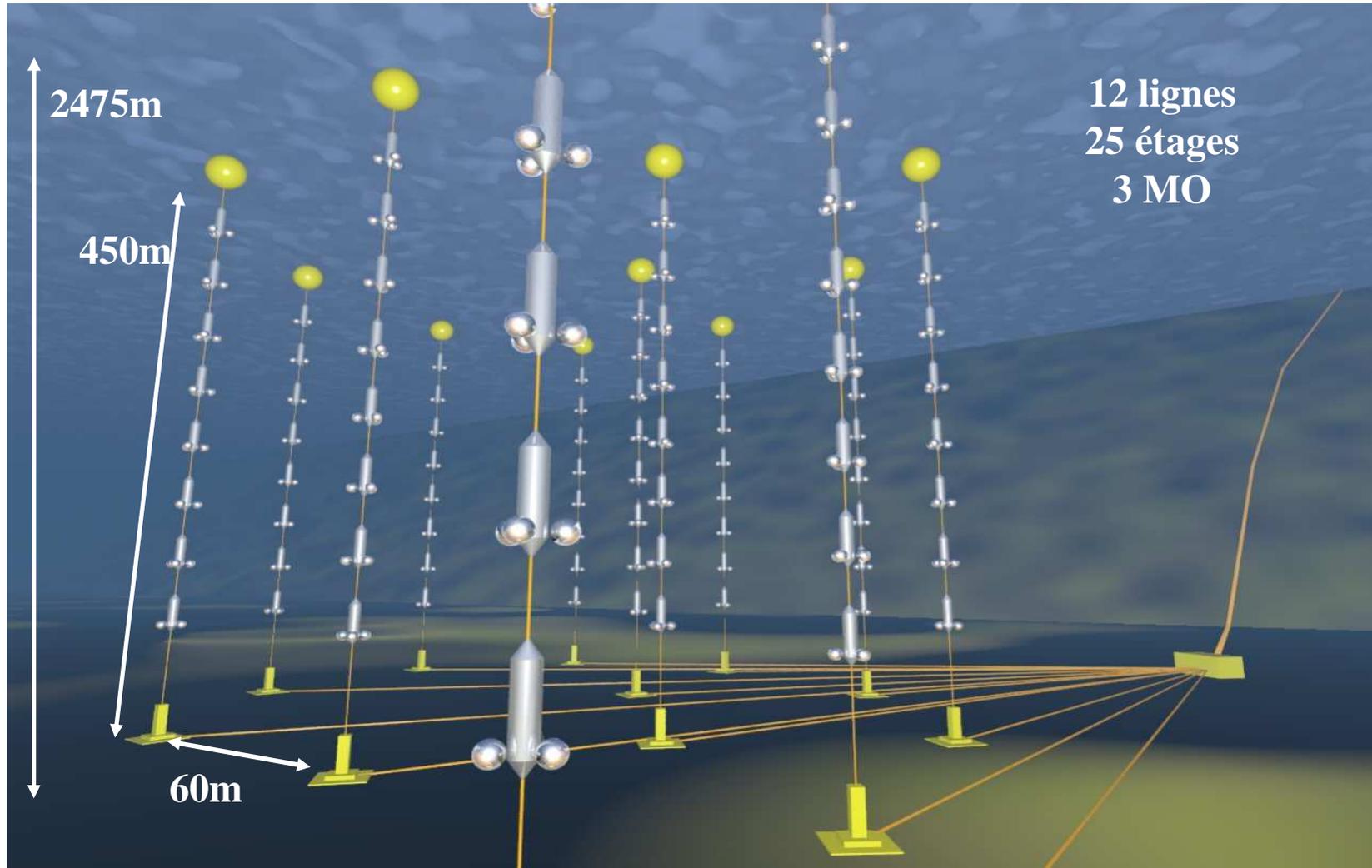


Principe de détection



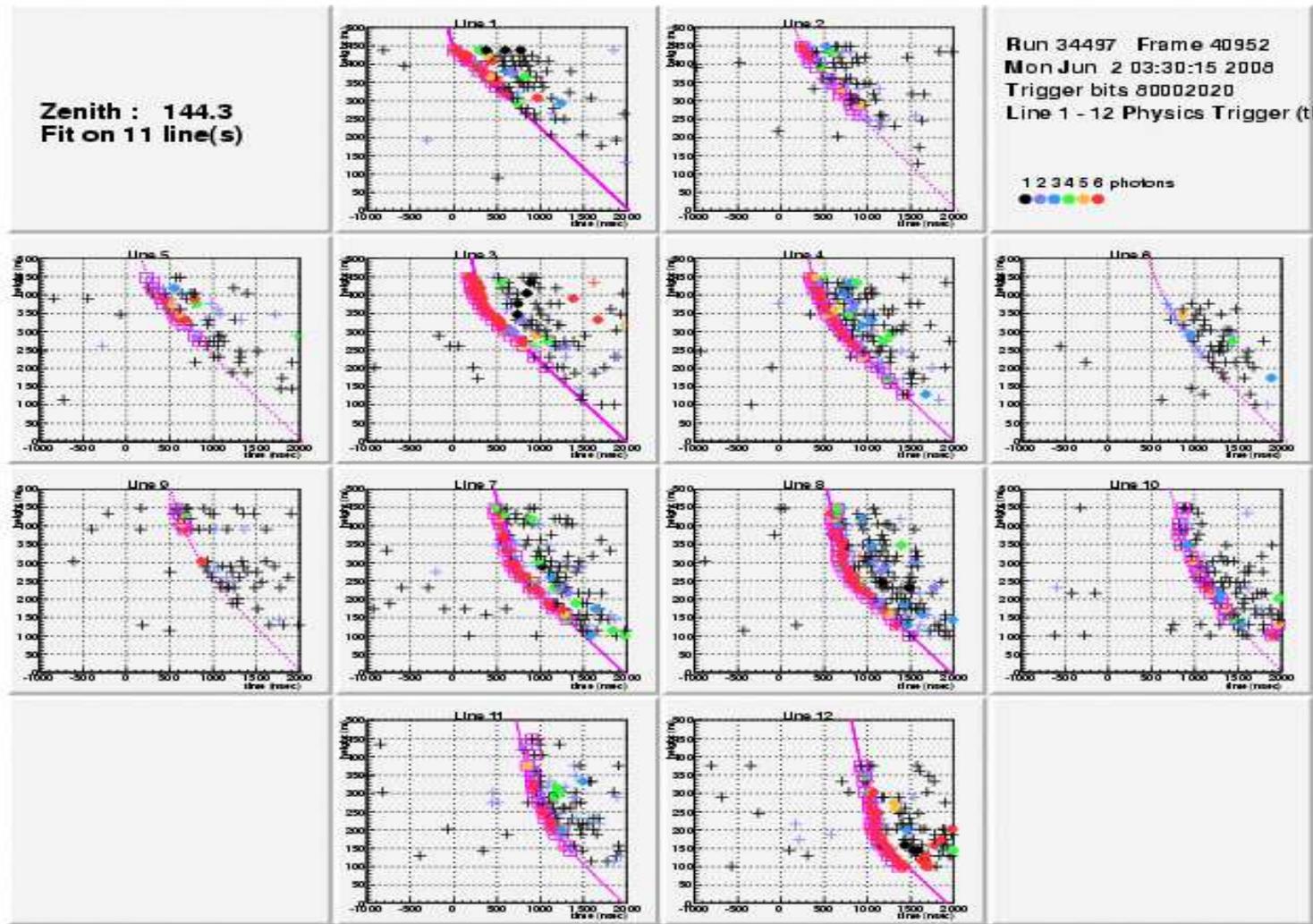


ANTARES



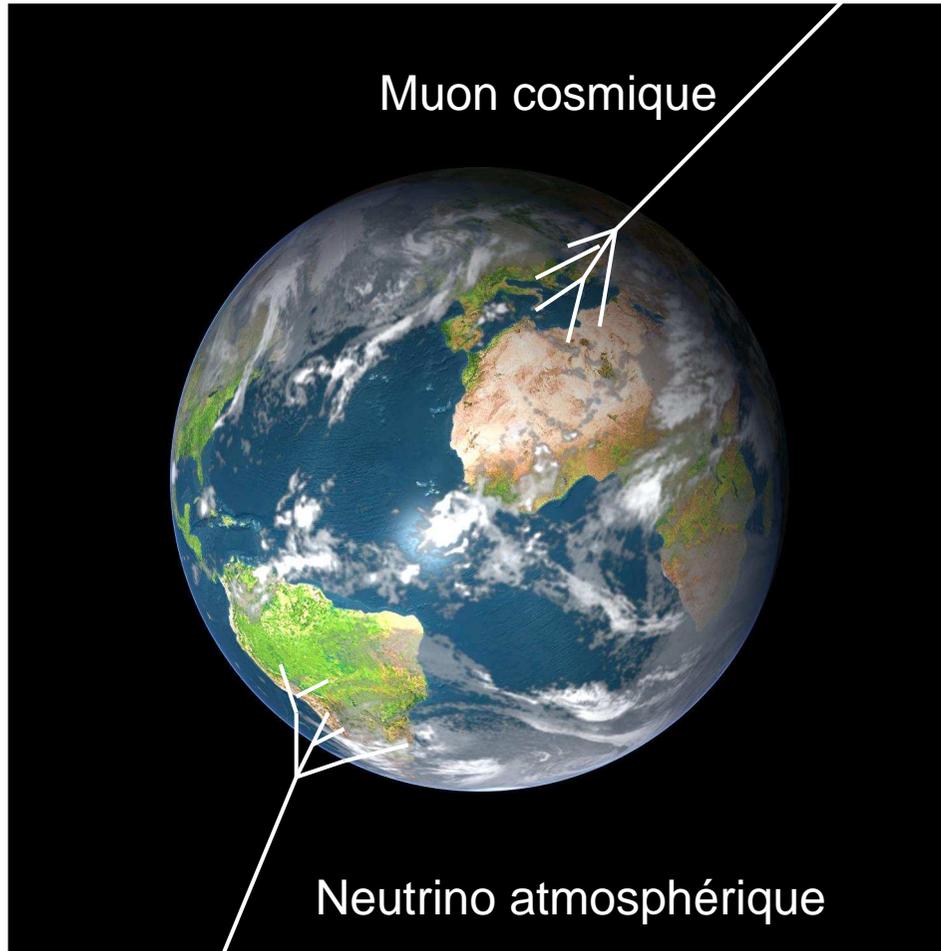


Événement (12 lignes)



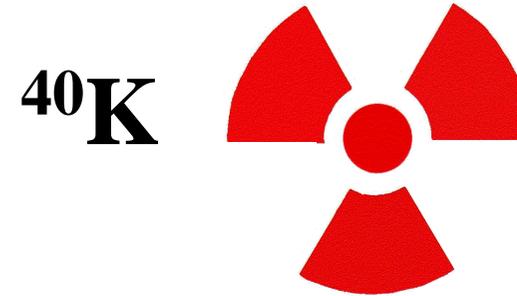
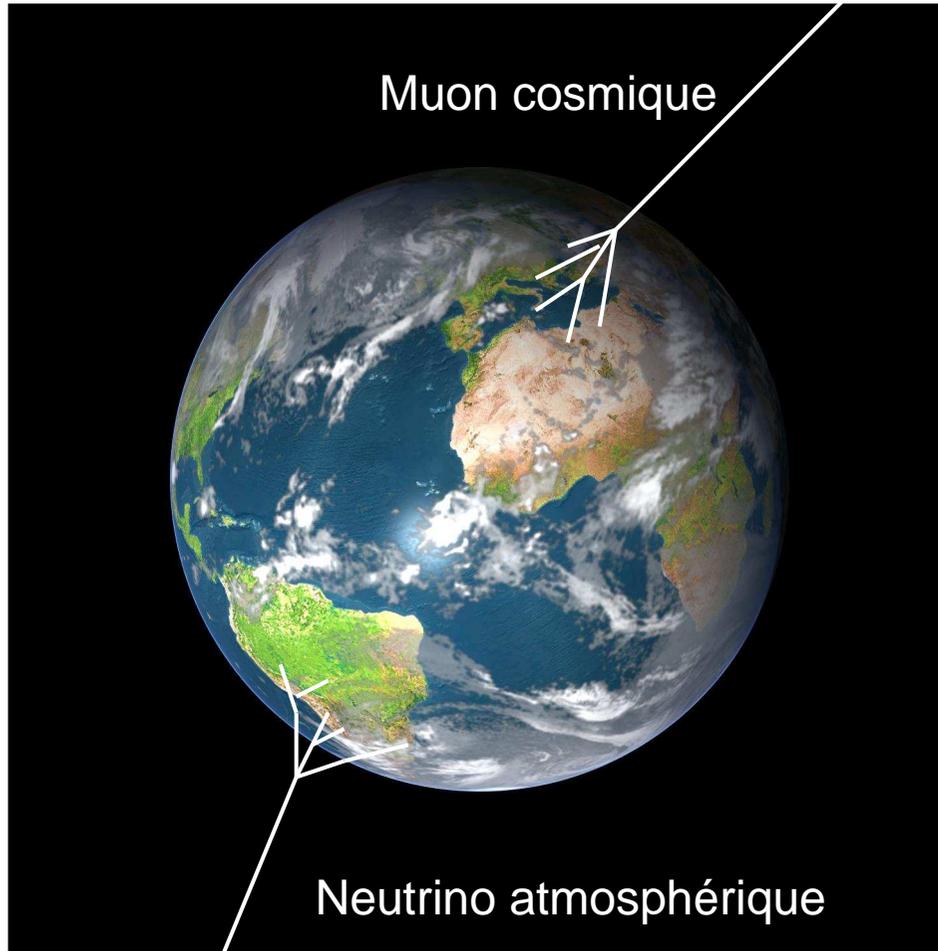


Bruit de fond



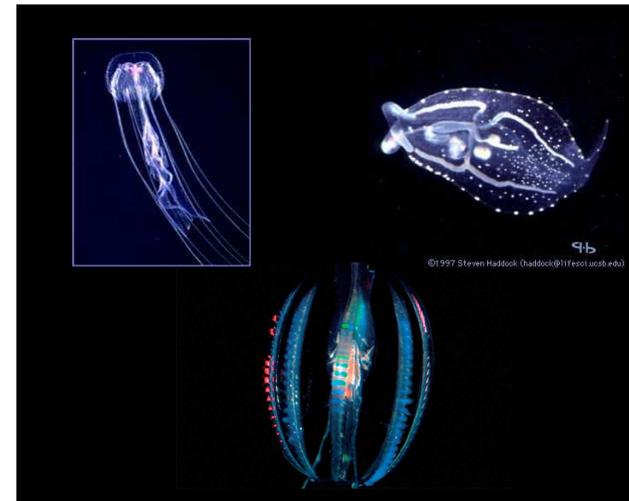
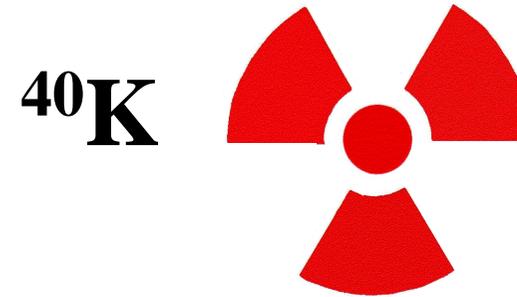
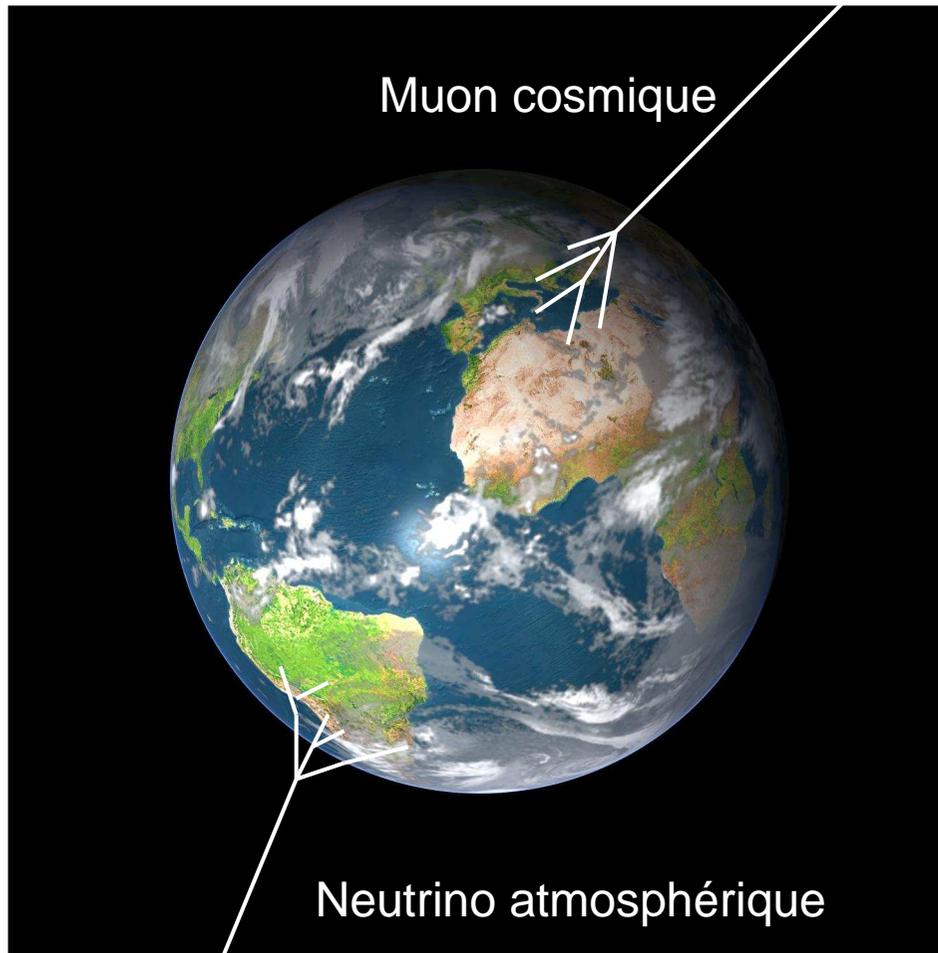


Bruit de fond





Bruit de fond





Plan de présentation



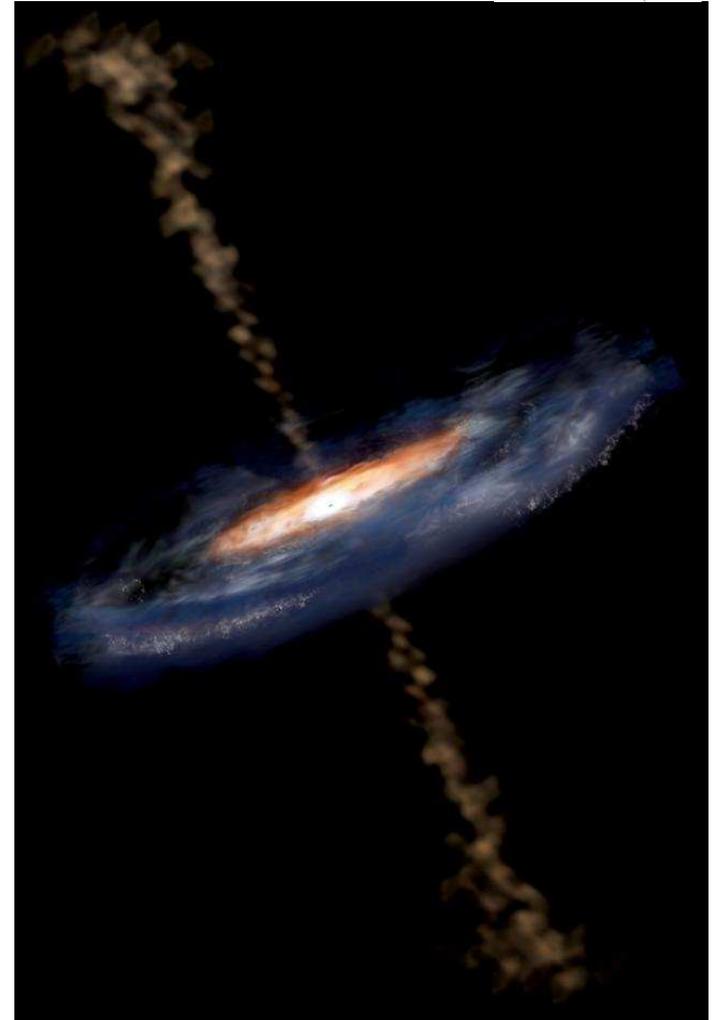
- Introduction
 - Astronomie neutrino
 - Description du détecteur ANTARES
- Noyau actif de galaxie (AGN)
 - Description
 - Estimation de flux des neutrinos
- Système de positionnement acoustique
 - Description
 - Vitesse du son dans la zone du détecteur
 - Résolution angulaire



Noyau actif de galaxie (AGN)



- L'AGN est une région compacte située au centre d'une galaxie qui est beaucoup plus lumineuse que la normale dans une partie ou dans l'ensemble du spectre électromagnétique.
- On pense que les radiations de l'AGN sont le résultat de l'accrétion autour du trou noir super massif situé au centre de la galaxie.
- Les AGN sont les sources de radiations électromagnétiques les plus lumineuses de l'Univers.

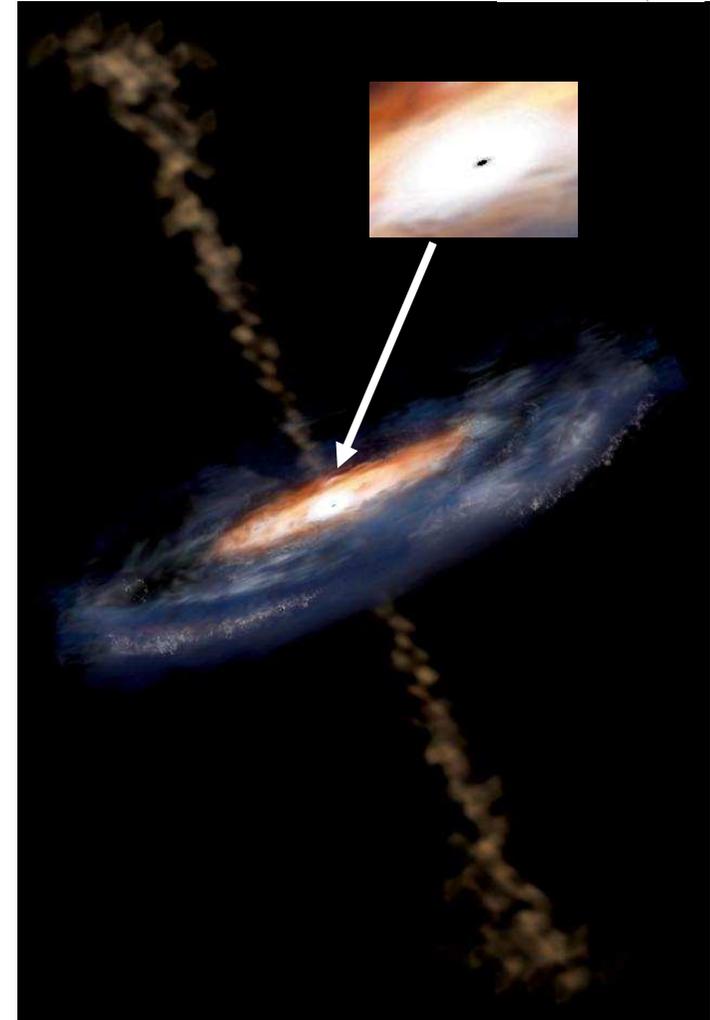




Noyau actif de galaxie (AGN)



- L'AGN est une région compacte située au centre d'une galaxie qui est beaucoup plus lumineuse que la normale dans une partie ou dans l'ensemble du spectre électromagnétique.
- On pense que les radiations de l'AGN sont le résultat de l'accrétion autour du trou noir super massif situé au centre de la galaxie.
- Les AGN sont les sources de radiations électromagnétiques les plus lumineuses de l'Univers.

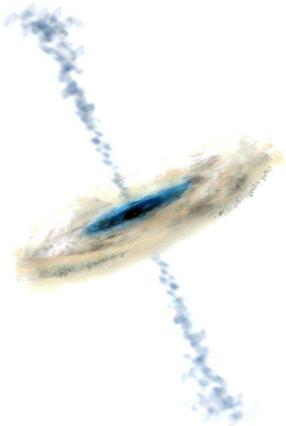




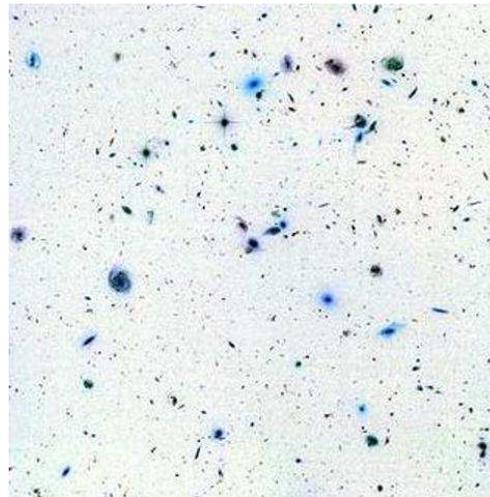
Hypothèses



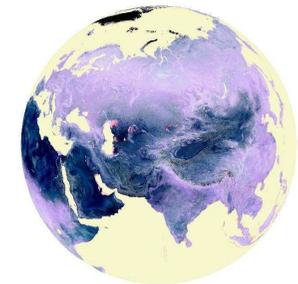
AGN



Espace intergalactique



Terre

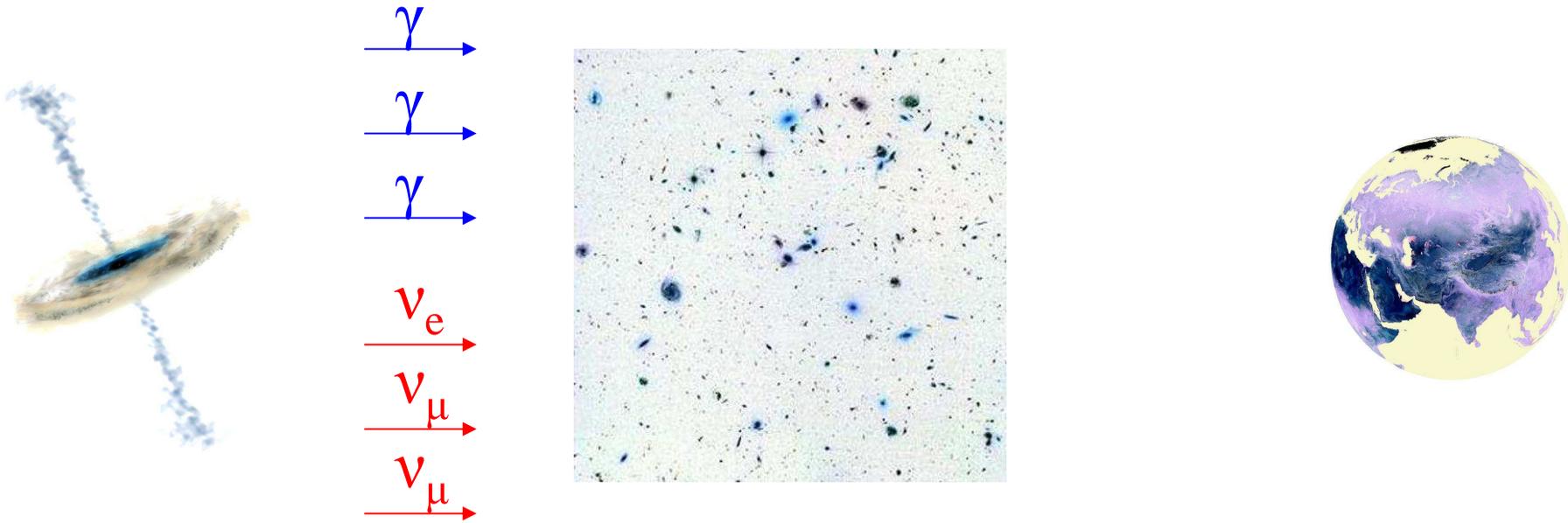




Hypothèses



1. Emission de rayon γ et ν par interaction $p-p \rightarrow \pi^0, \pi^+, \pi^-$

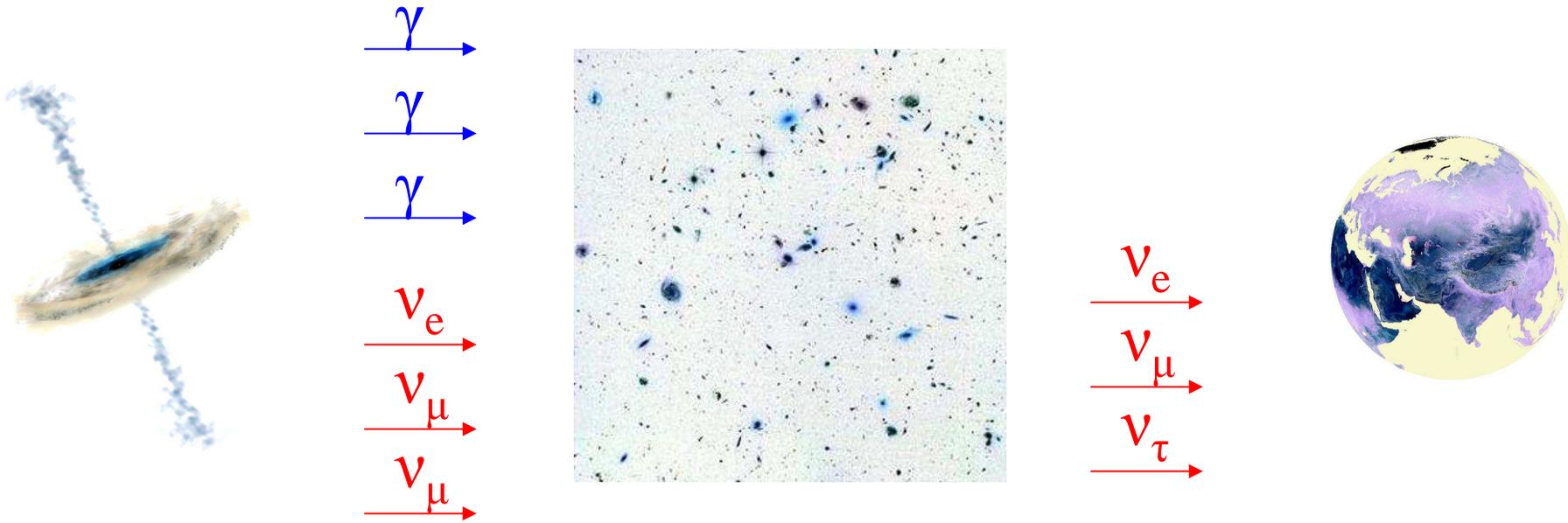




Hypothèses



1. Emission de rayon γ et ν par interaction $p-p \rightarrow \pi^0, \pi^+, \pi^-$
2. Phénomène d'oscillation de ν .

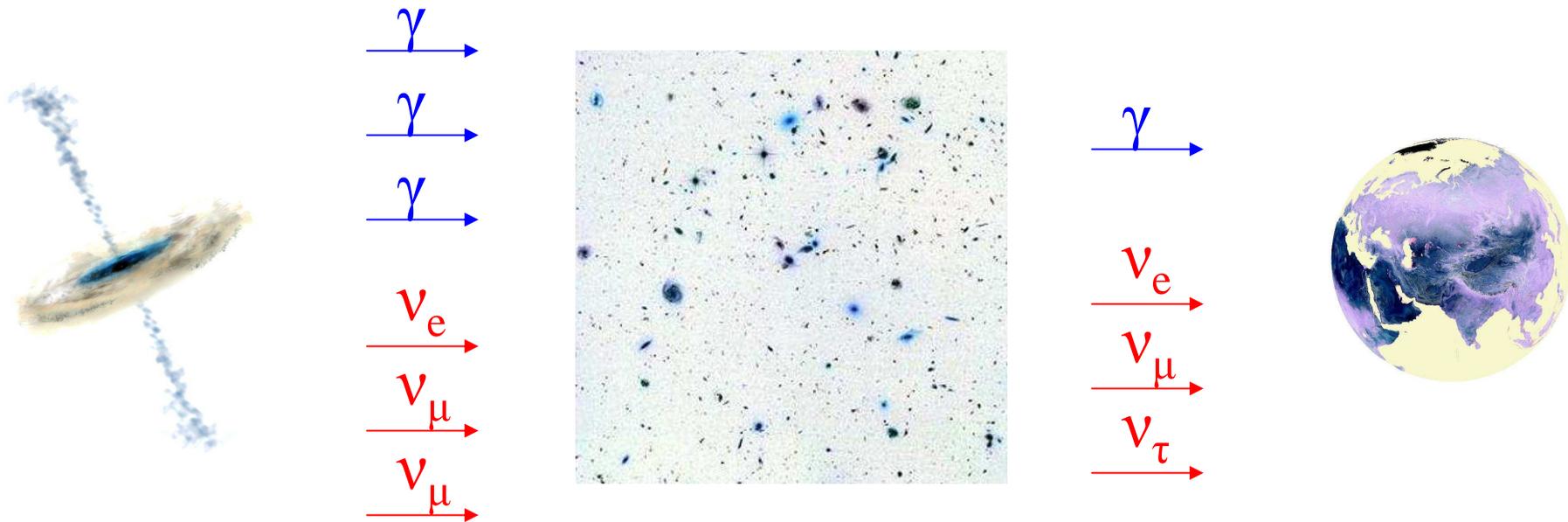




Hypothèses



1. Emission de rayon γ et ν par interaction $p-p \rightarrow \pi^0, \pi^+, \pi^-$
2. Phénomène d'oscillation de ν
3. Absorption du rayon γ en traversant l'espace

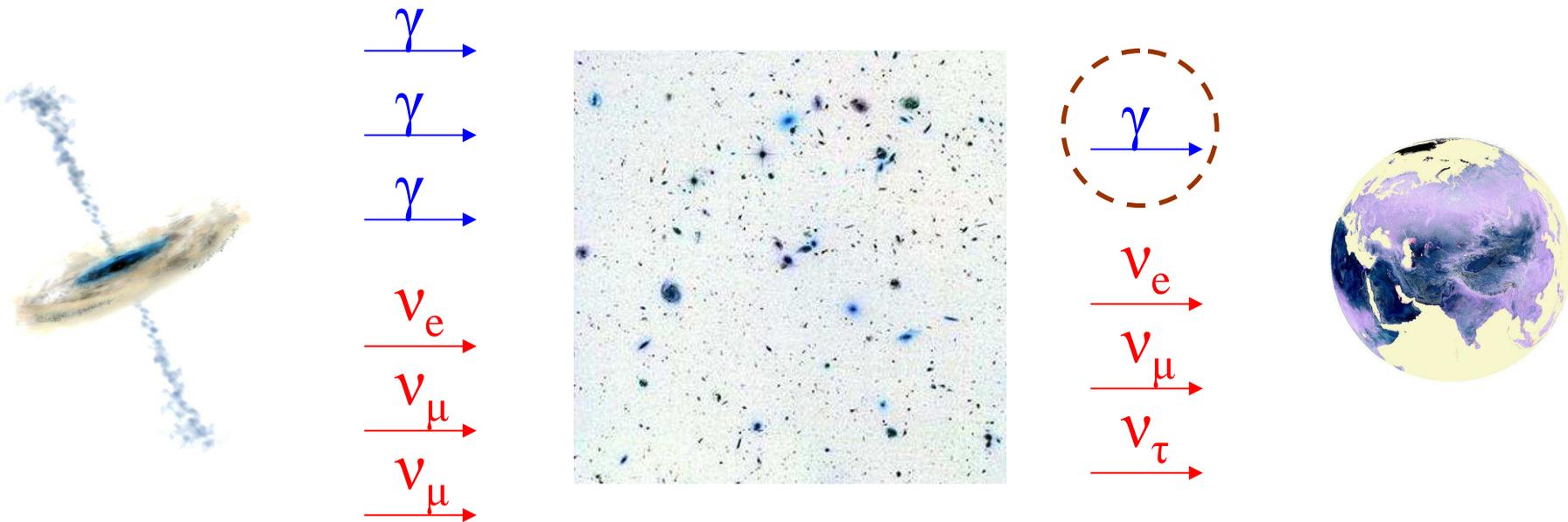




Hypothèses



1. Emission de rayon γ et ν par interaction $p-p \rightarrow \pi^0, \pi^+, \pi^-$
2. Phénomène d'oscillation de ν
3. Absorption du rayon γ en traversant l'espace

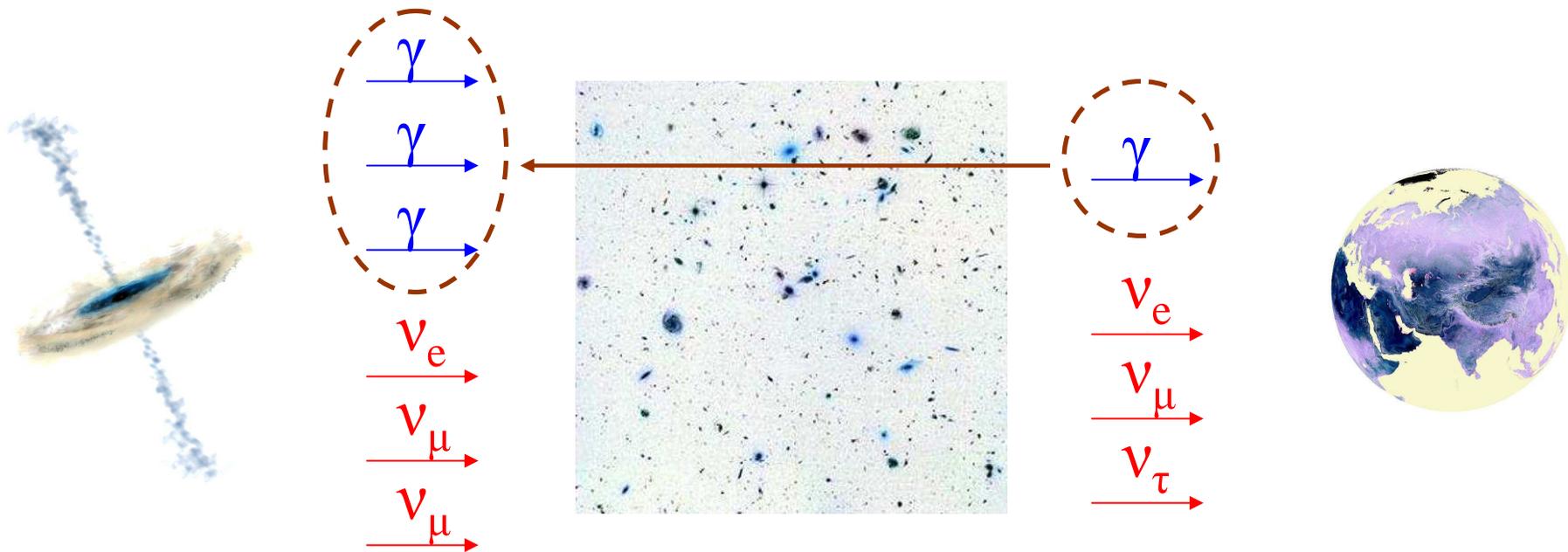




Hypothèses



1. Emission de rayon γ et ν par interaction $p-p \rightarrow \pi^0, \pi^+, \pi^-$
2. Phénomène d'oscillation de ν
3. Absorption du rayon γ en traversant l'espace

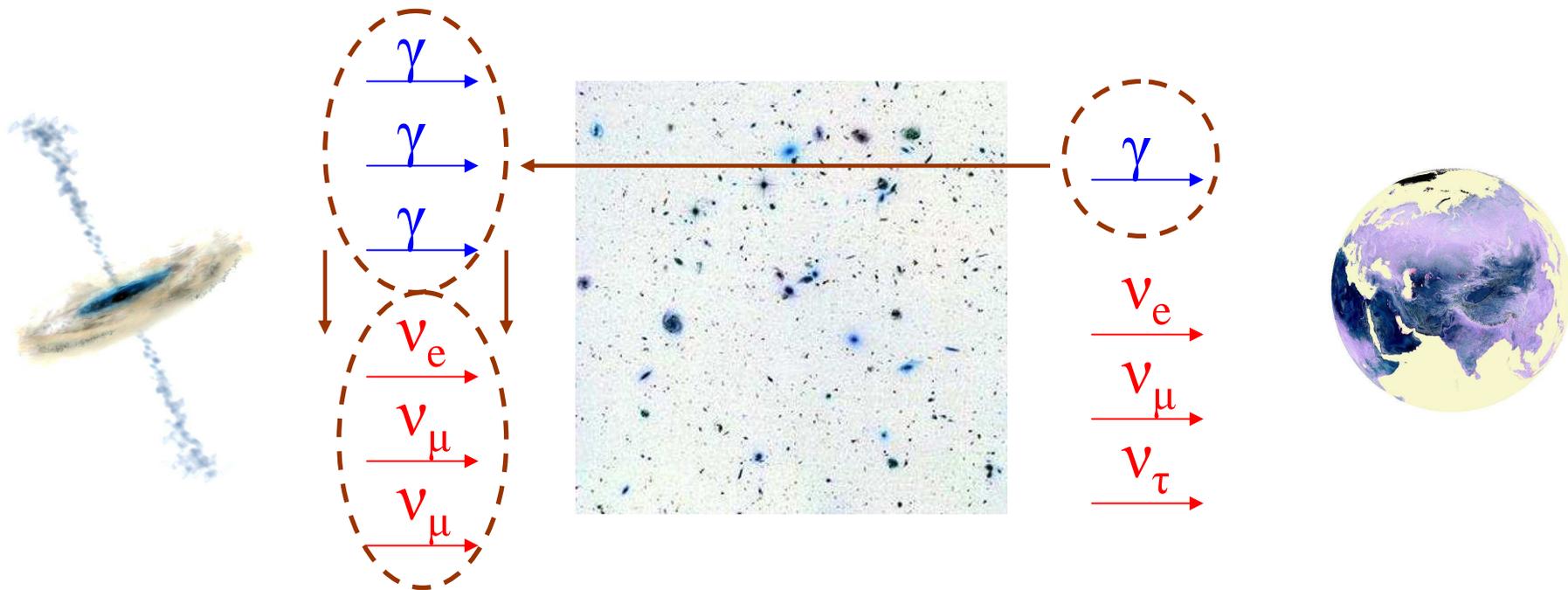




Hypothèses



1. Emission de rayon γ et ν par interaction $p-p \rightarrow \pi^0, \pi^+, \pi^-$
2. Phénomène d'oscillation de ν
3. Absorption du rayon γ en traversant l'espace

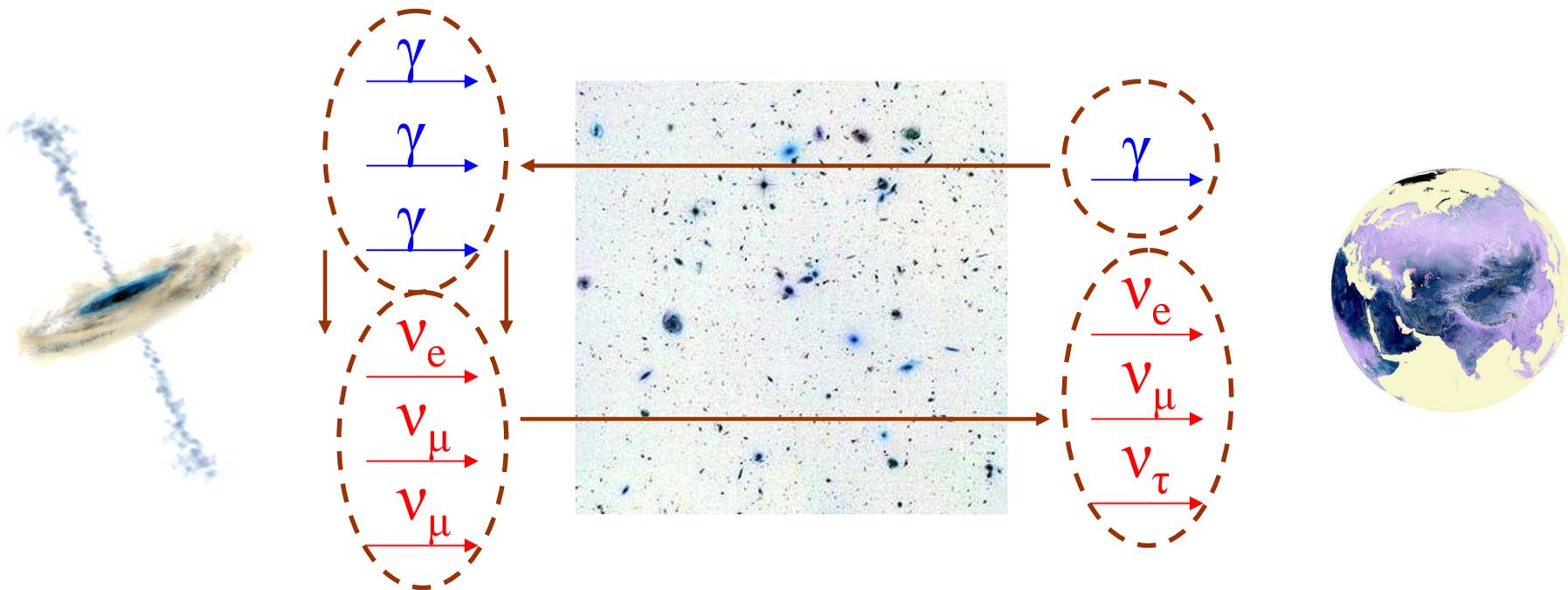




Hypothèses



1. Emission de rayon γ et ν par interaction $p-p \rightarrow \pi^0, \pi^+, \pi^-$
2. Phénomène d'oscillation de ν
3. Absorption du rayon γ en traversant l'espace

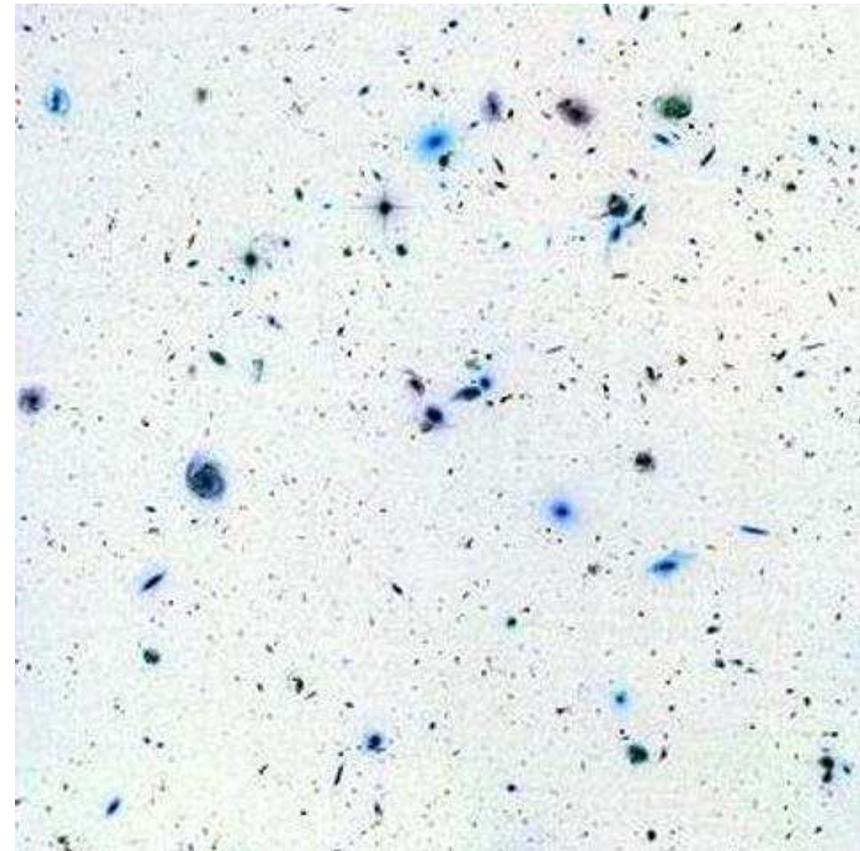




Fond de lumière diffuse extragalactique (EBL)

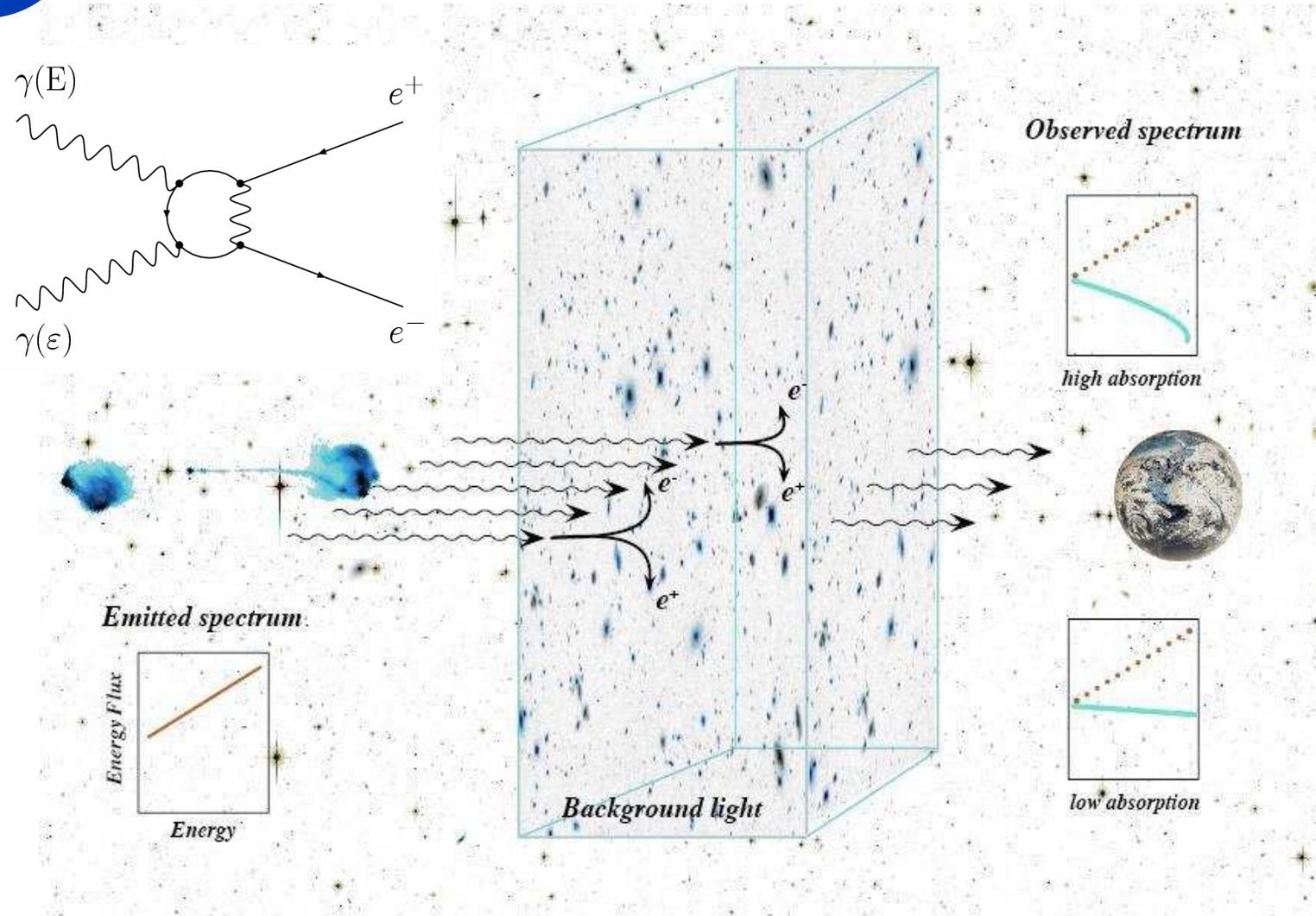


- EBL est la lumière émise par tous les objets de l'univers durant son histoire.
- Il forme un océan de photons qui remplit l'espace intergalactique.



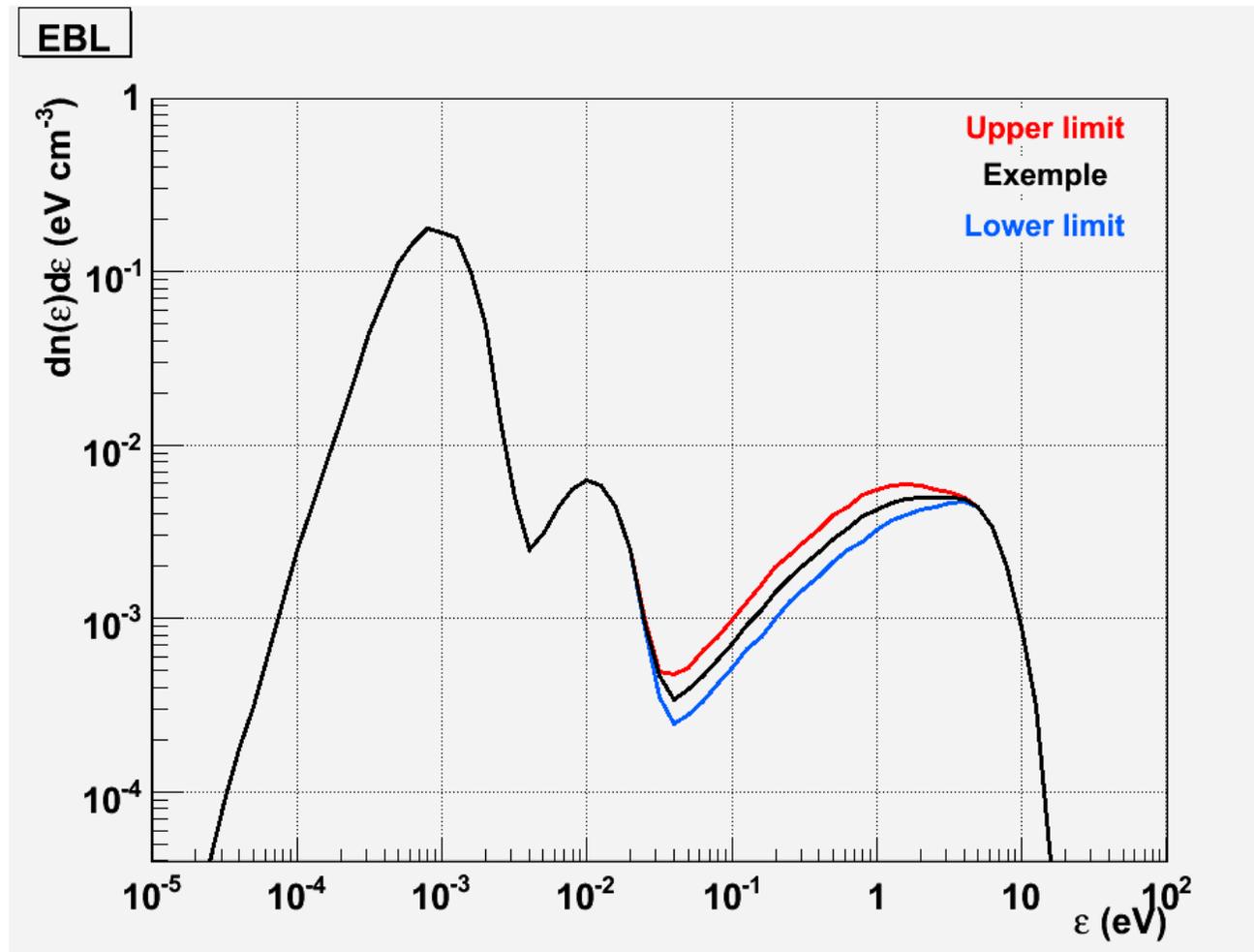


Attenuation du rayon γ par l'EBL



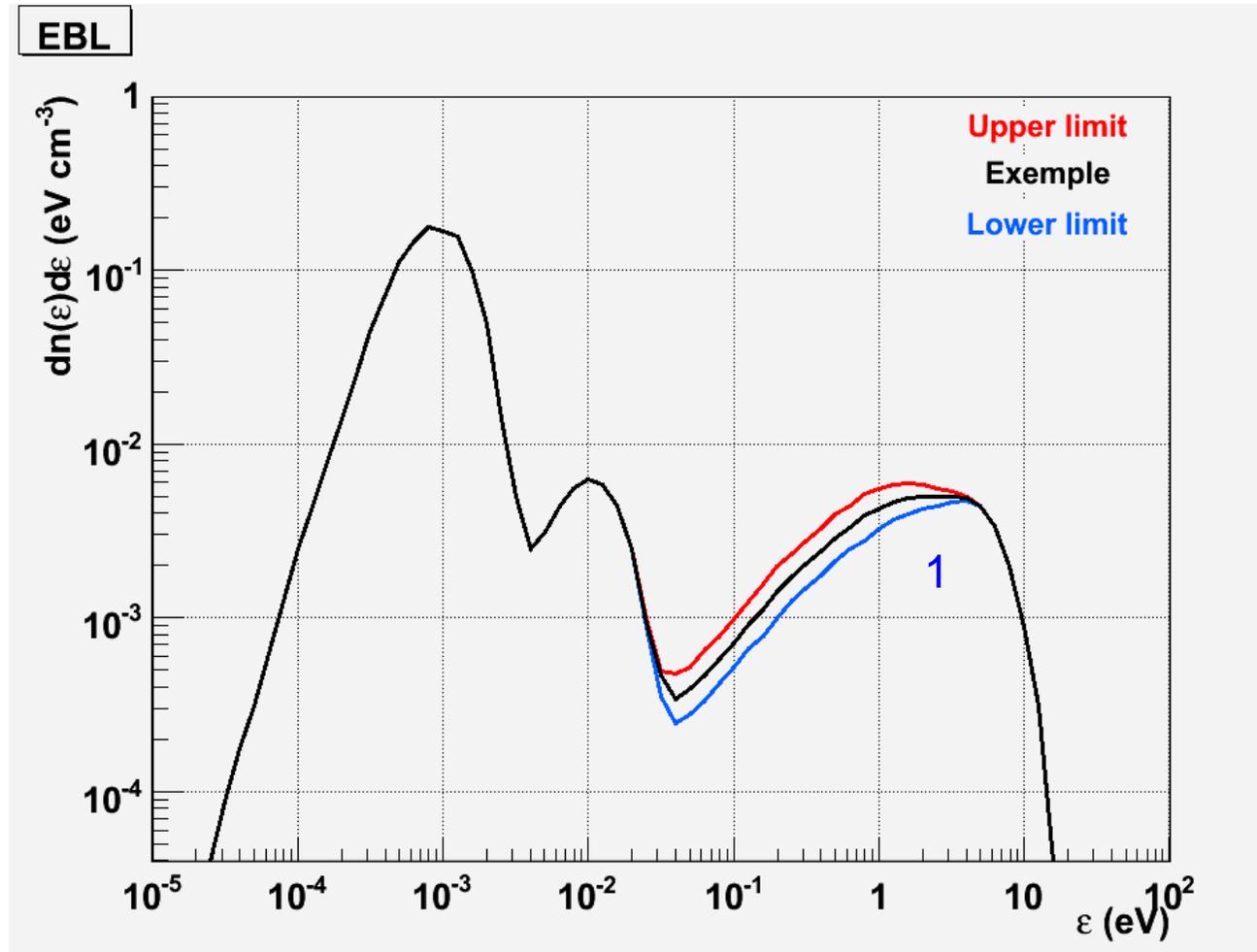


Spectre de EBL





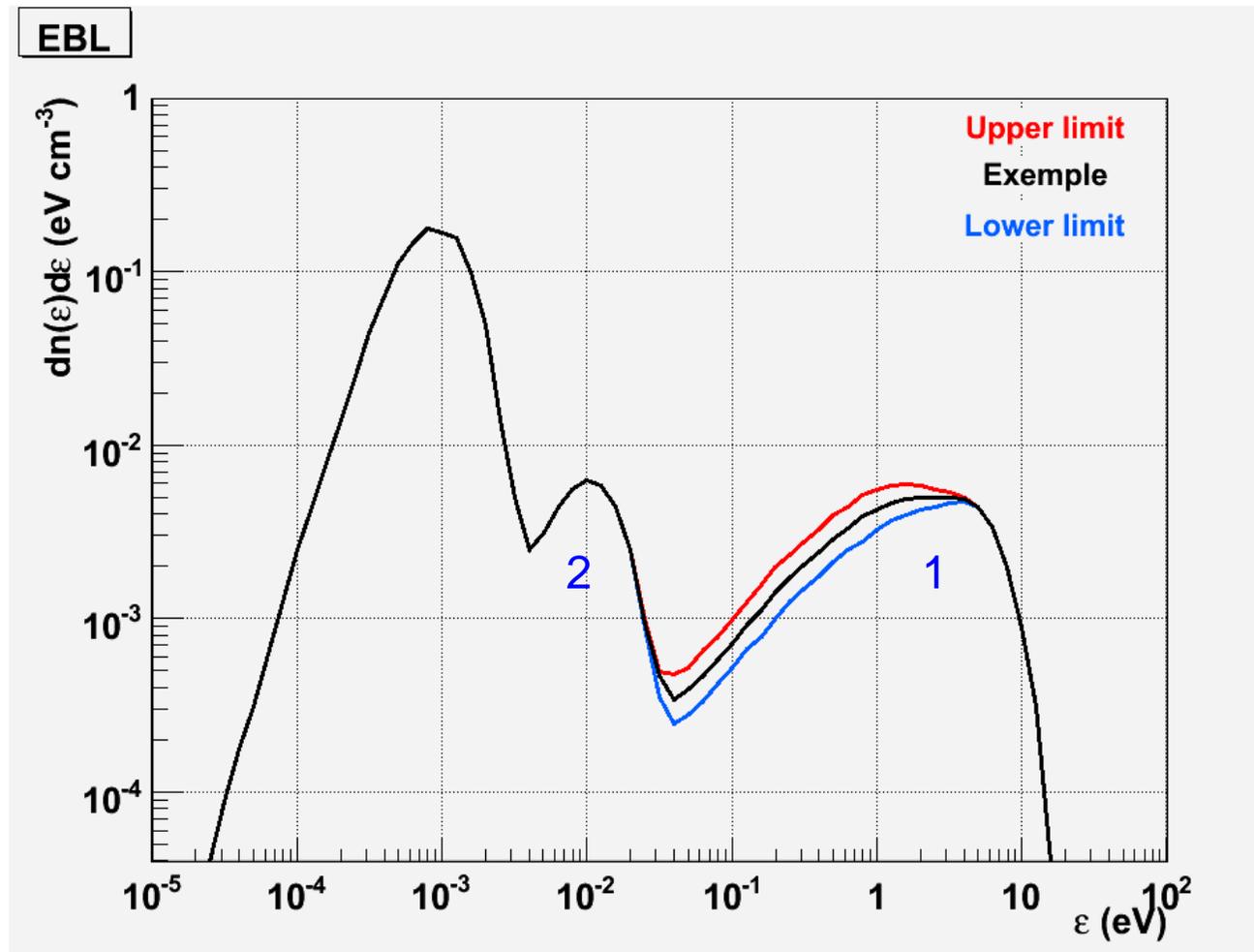
Spectre de EBL



1. Photons émis par les corps célestes.



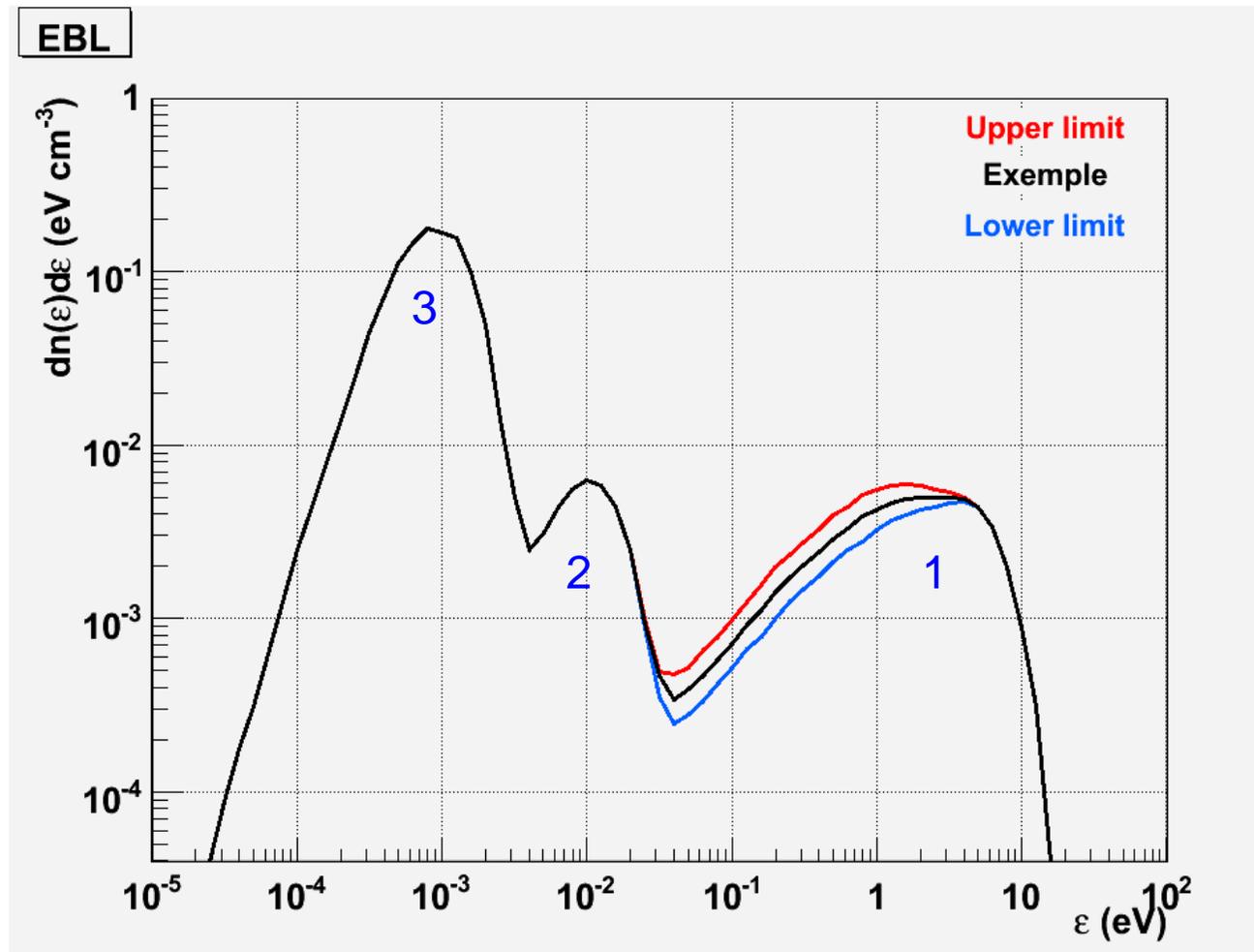
Spectre de EBL



1. Photons émis par les corps célestes.
2. Réémission thermique par la poussière cosmique.



Spectre de EBL



1. Photons émis par les corps célestes.
2. Réémission thermique par la poussière cosmique.
3. CMB



Épaisseur optique τ



L'épaisseur optique d'un milieu mesure le degré de sa transparence. Elle est définie par la fraction de rayonnement diffusée ou absorbée par les composants du milieu traversé. Si I_0 est l'intensité du rayonnement émise par une source traversant un milieu et I est l'intensité de ce rayonnement à une profondeur donnée, l'épaisseur optique τ mesure la partie de l'énergie perdue par absorption et diffusion selon la formule :

$$I = I_0 e^{-\tau}$$



Optical depth τ



$$\tau(E, z) = \int_0^z dz' \int_{-1}^{+1} d\mu \int_{\varepsilon'_{th}}^{\infty} d\varepsilon' \left[\frac{dl}{dz'} \times \frac{1-\mu}{2} \times n_{\varepsilon}(\varepsilon', z') \times \sigma_{\gamma\gamma}(E', \varepsilon', \mu) \right]$$

$$\frac{dl}{dz} = \frac{R_H}{(1+z) \left\{ (1+z)^2 (\Omega_m z + 1) + z(2+z) \left[(1+z)^2 \Omega_r - \Omega_{\Lambda} \right] \right\}^{1/2}}$$

$$\sigma(E, \varepsilon, \mu) = \frac{3\sigma_T}{16} (1-\beta^2) \left[2\beta(\beta^2 - 2) + (3-\beta^4) \ln\left(\frac{1+\beta}{1-\beta}\right) \right]$$

$$\beta = \sqrt{1 - \frac{\varepsilon_{th}}{\varepsilon}}$$

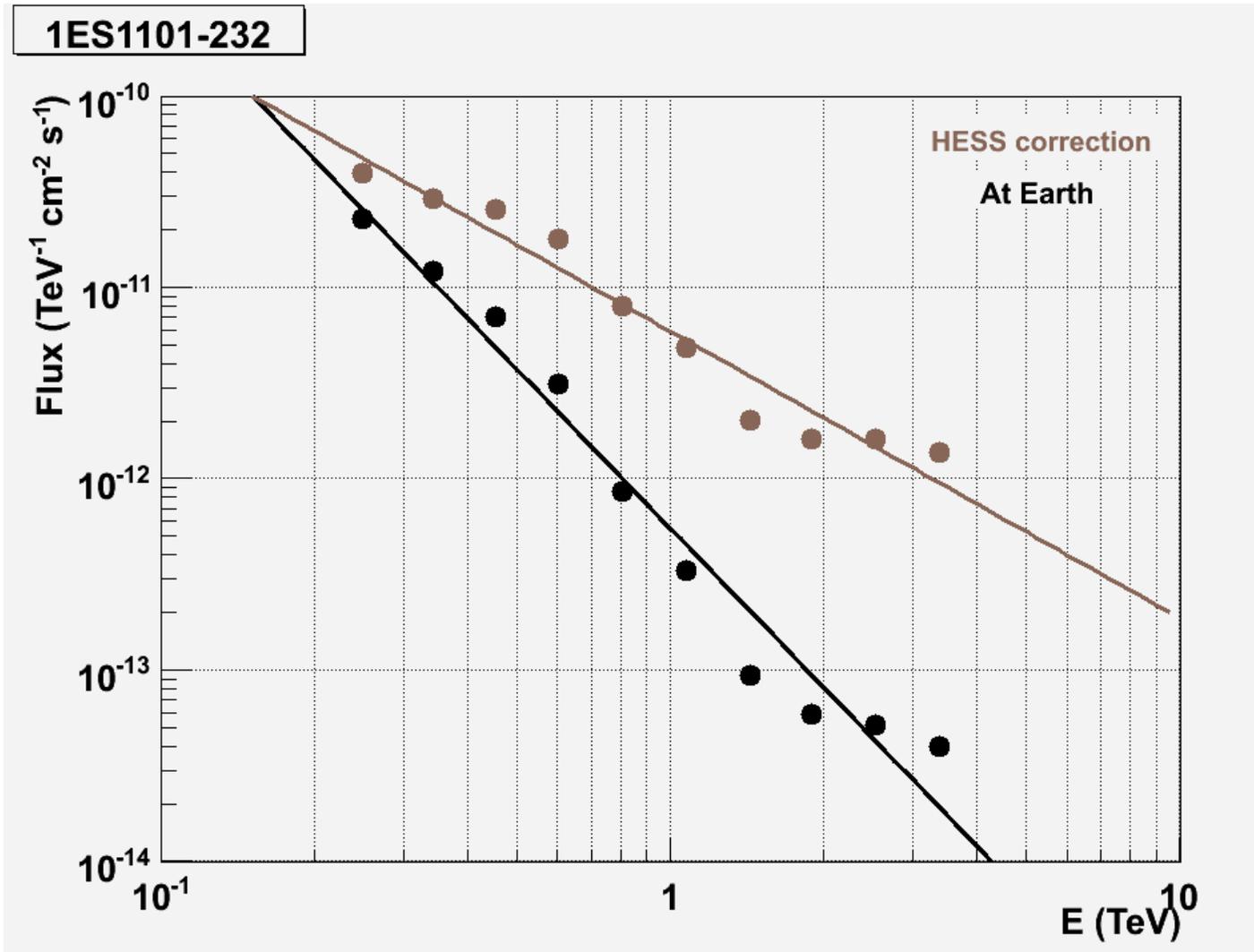
$$\varepsilon_{th}(E, \mu) = \frac{2m_e^2}{E(1-\mu)}$$

$$\begin{aligned} \varepsilon'_{th} &= \varepsilon_{th}(E', \mu) \\ E' &= E(1+z') \end{aligned}$$

Simultaneous constraints on the spectrum of the extragalactic background light
and the intrinsic TeV spectra of Mrk 421, Mrk 501, and H1426+428
Eli Dwek & Frank Krennrich



Spectre de rayon γ





Conversion spectrale de rayon γ au celui de ν



Hypothèses: l'émission des rayons γ ($E \sim 1$ TeV) est dominée par la désintégration de π^0 produit par l'interaction **p-p**.

$$\frac{dN_p}{dE_p} = k_p \left(\frac{E_p}{1\text{TeV}} \right)^{-\Gamma_p} \exp\left(-\frac{E_p}{\varepsilon_p} \right)$$

$$k_\nu \approx (0.71 - 0.16\Gamma_p) k_\gamma$$

$$\Gamma_\nu \approx \Gamma_\gamma \approx \Gamma_p - 0.1$$

$$\frac{dN_\gamma}{dE_\gamma} \approx k_\gamma \left(\frac{E_\gamma}{1\text{TeV}} \right)^{-\Gamma_\gamma} \exp\left(-\sqrt{\frac{E_\gamma}{\varepsilon_\gamma}} \right)$$

$$\varepsilon_\nu \approx 0.59\varepsilon_\gamma \approx \varepsilon_p/40$$

$$\varepsilon_p \rightarrow \infty$$

$$\frac{dN_\nu}{dE_\nu} \approx k_\nu \left(\frac{E_\nu}{1\text{TeV}} \right)^{-\Gamma_\nu} \exp\left(-\sqrt{\frac{E_\nu}{\varepsilon_\nu}} \right)$$

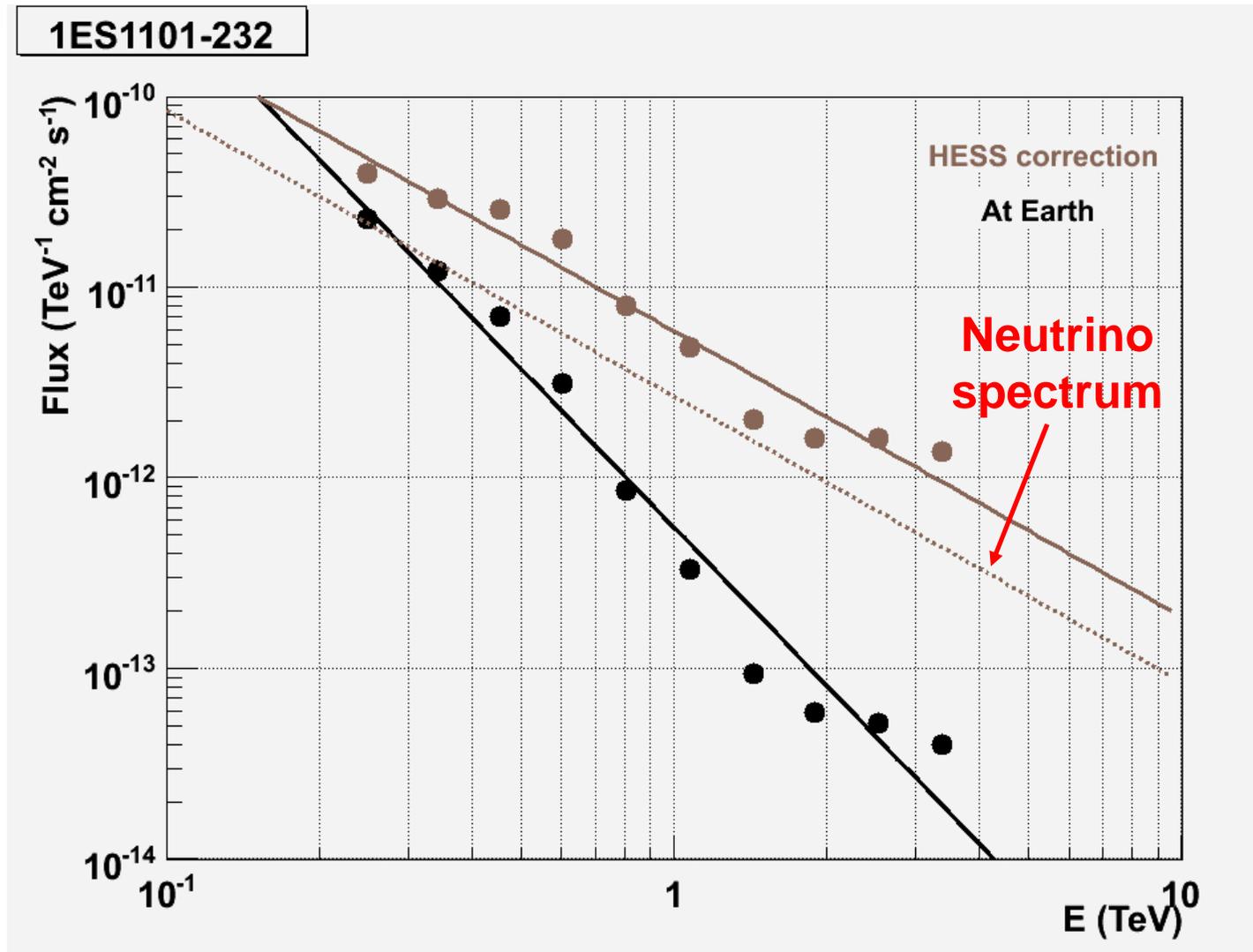
$$\varepsilon_\gamma \rightarrow \infty$$

$$\varepsilon_\nu \rightarrow \infty$$

Potential Neutrino Signals from Galactic γ -Ray Sources (Aharonian & al.)



Spectre de ν





Bruit du fond



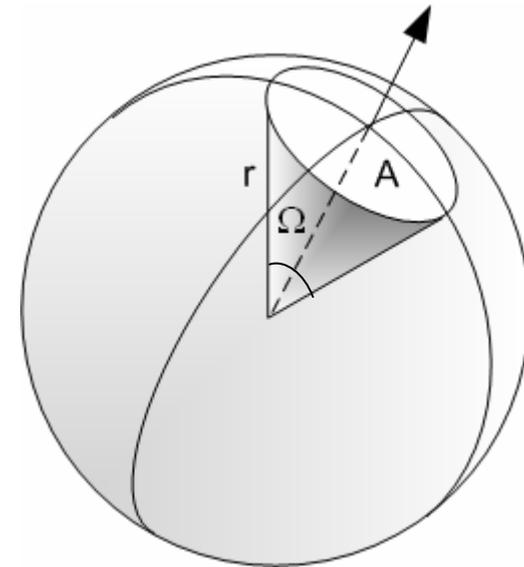
Première approximation

Taux neutrino atmosphérique = 3000 neutrino/hémisphère/an

$$\Omega = 0.6^\circ \quad 0.041 \nu \text{ atm / an}$$

$$\Omega = 1.0^\circ \quad 0.114 \nu \text{ atm / an}$$

$$\Omega = 2.0^\circ \quad 0.457 \nu \text{ atm / an}$$

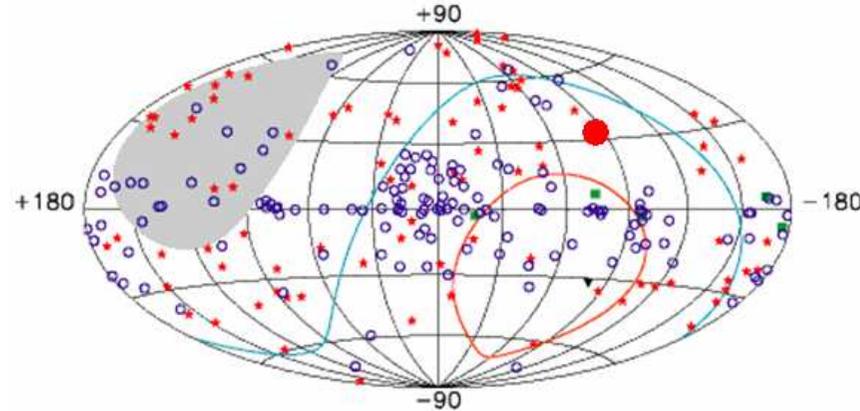




1ES1101-232



$$\begin{aligned}\Gamma_{\text{Earth}} &= -2.76 \\ \Gamma_{\text{max}} &= -0.86 \\ \Gamma_{\text{min}} &= -1.81\end{aligned}$$



$$\begin{aligned}Z &= 0.186 \\ \text{Dec} &= -23^{\circ}29'31'' \\ \text{Vis} &= 0.632017\end{aligned}$$

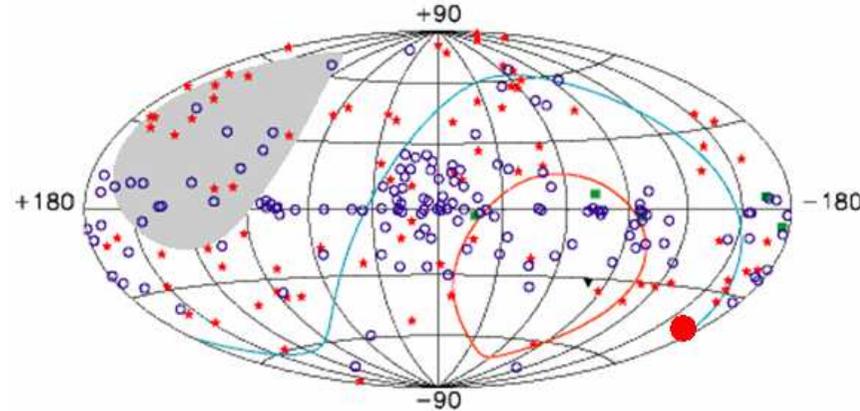
	> 1TeV	> 10TeV
V (EBL upper)	293	290
V (EBL lower)	0.145	0.13



1ES0347-121



$$\begin{aligned}\Gamma_{\text{Earth}} &= -2.82 \\ \Gamma_{\text{max}} &= -0.87 \\ \Gamma_{\text{min}} &= -1.85\end{aligned}$$



$$\begin{aligned}Z &= 0.188 \\ \text{Dec} &= -11^{\circ}59'27'' \\ \text{Vis} &= 0.563089\end{aligned}$$

	> 1TeV	> 10TeV
V (EBL upper)	217	216
V (EBL lower)	0.12	0.087



Conclusion



Avec les hypothèses suivantes :

- 100% modèle hadronique
- p-p interaction (paramétrisation d'Aharonian)
- Aucune absorption dans les sources

**LA DETECTION DU ν COSMIQUE EMIS
PAR LES AGNs EST POSSIBLE AVEC
ANTARES**



Plan de présentation



- Introduction
 - Astronomie neutrino
 - Description du détecteur ANTARES
- Noyau actif de galaxie (AGN)
 - Description
 - Estimation de flux des neutrinos
- **Système de positionnement acoustique**
 - Description
 - Vitesse du son dans la zone du détecteur
 - Résolution angulaire



Plan de présentation



- Introduction
 - Astronomie neutrino
 - Description du détecteur ANTARES
- Noyau actif de galaxie (AGN)
 - Description
 - Estimation de flux des neutrinos
- **Système de positionnement acoustique**
 - Description
 - Vitesse du son dans la zone du détecteur
 - Résolution angulaire



Systeme de positionnement acoustique



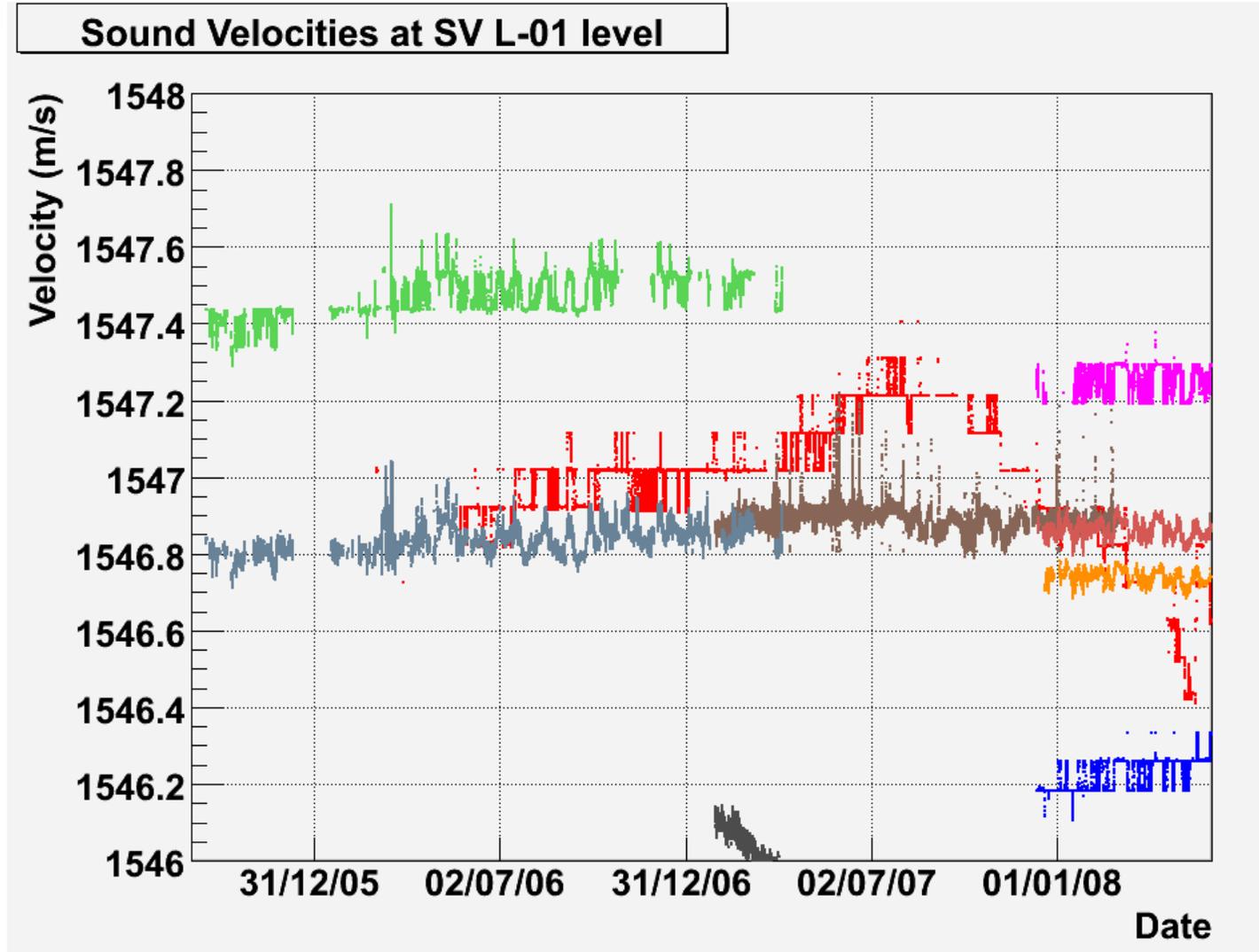
- Lignes non fixes.
- Nécessité d'un système de positionnement acoustique pour avoir une bonne précision sur les positions des différents points du détecteur.
- En connaissant le temps d'émission-réception et la vitesse des ondes acoustiques, des distances seront calculées.



$$d = v \times t$$

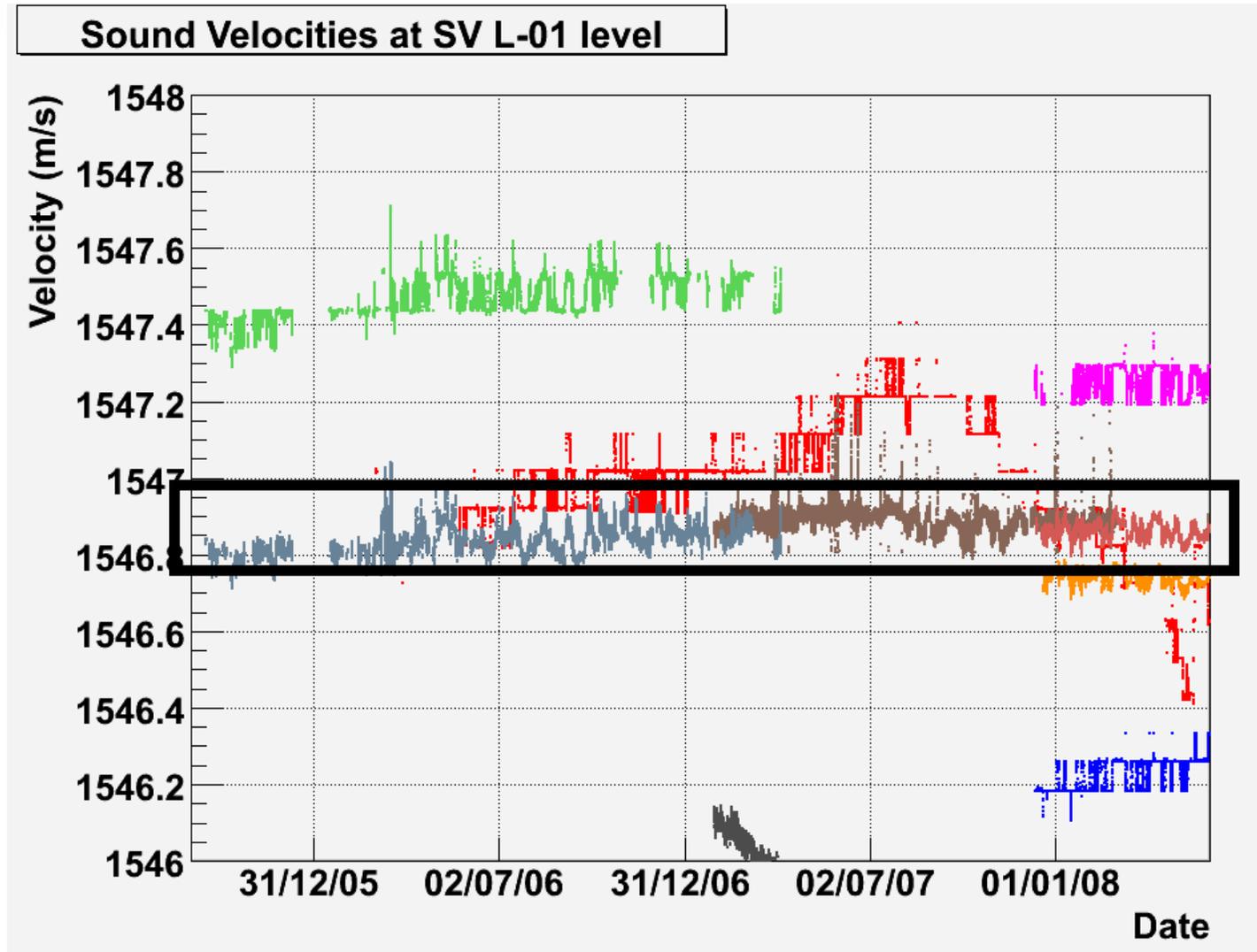


Vitesse du son



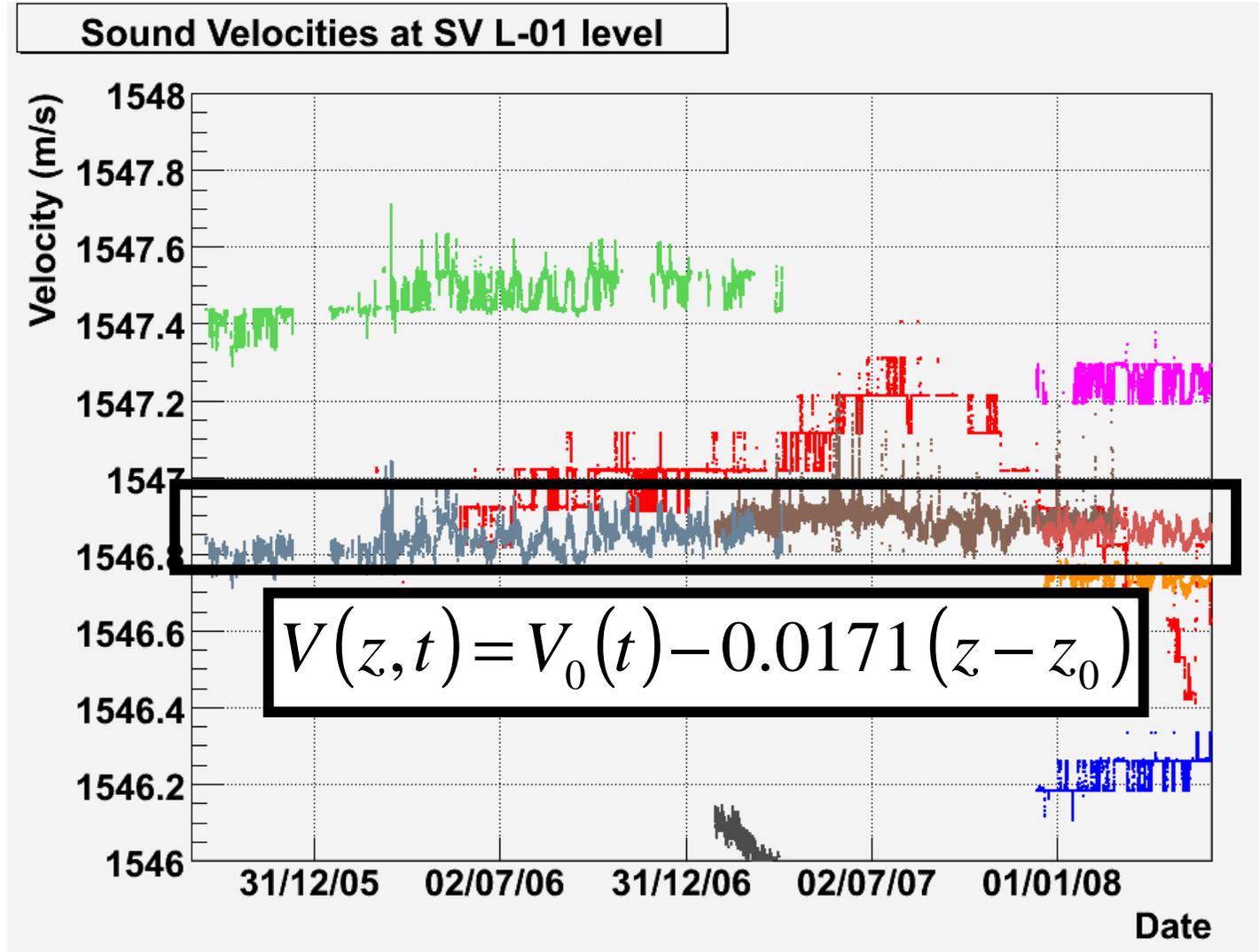


Vitesse du son





Vitesse du son





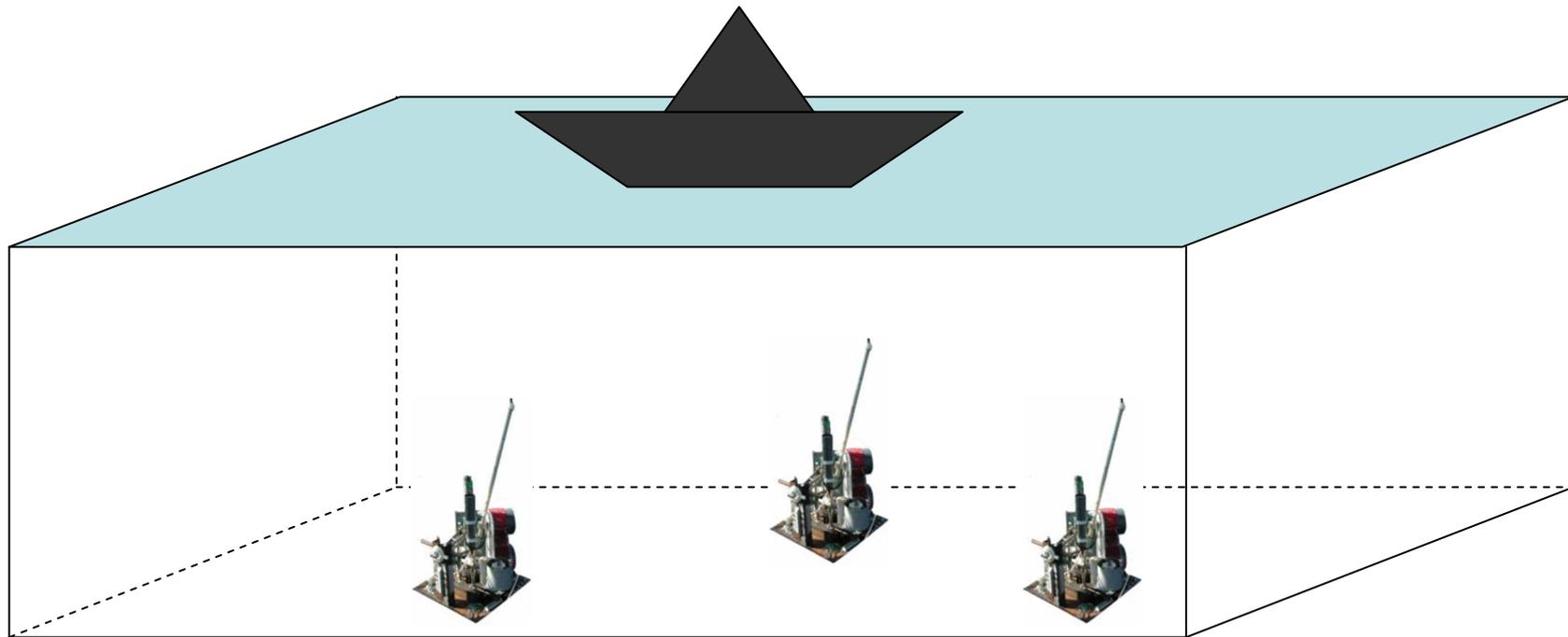
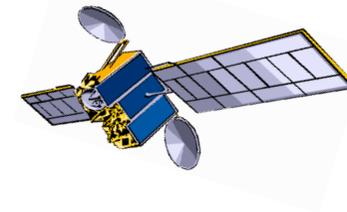
Plan de présentation



- Introduction
 - Astronomie neutrino
 - Description du détecteur ANTARES
- Noyau actif de galaxie (AGN)
 - Description
 - Estimation de flux des neutrinos
- **Système de positionnement acoustique**
 - Description
 - Vitesse du son dans la zone du détecteur
 - **Résolution angulaire**



Incertitude sur la positions des pieds des lignes

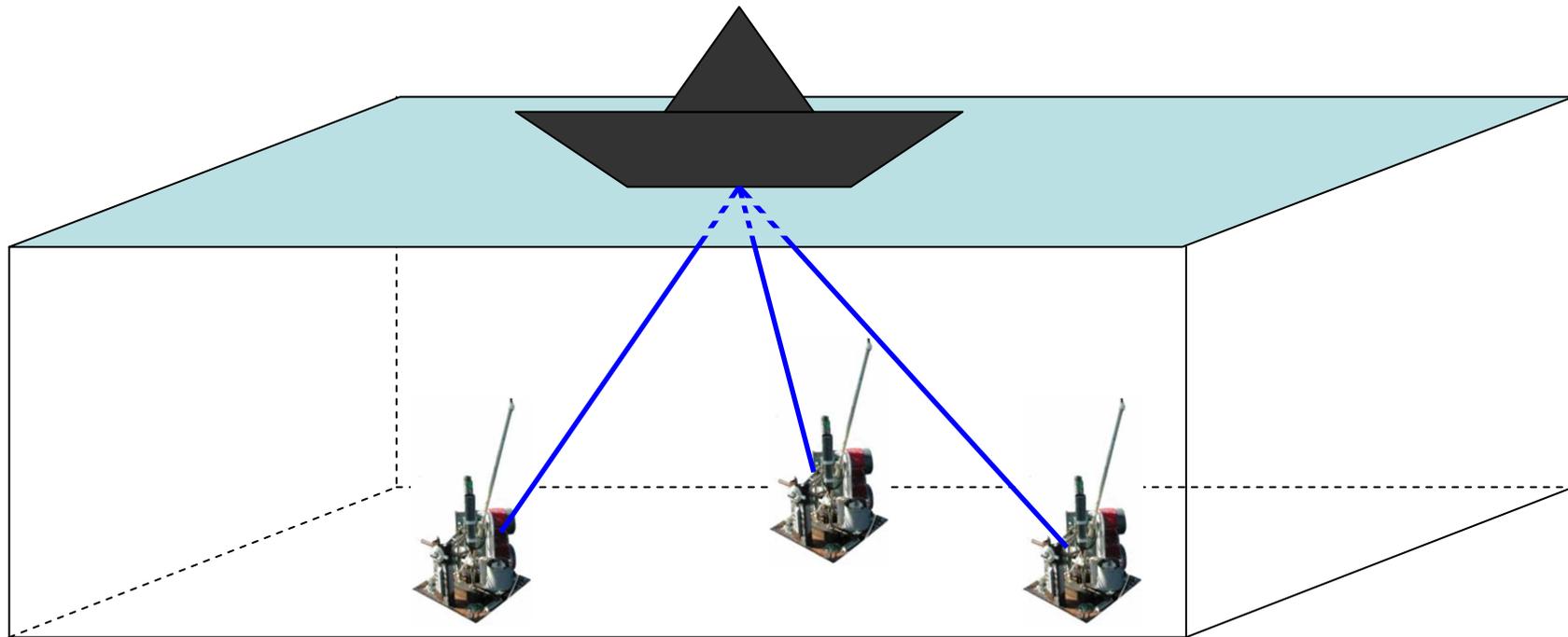




Incertitude sur la positions des pieds des lignes



- La position des pieds des lignes sont mesurées depuis le bateau.

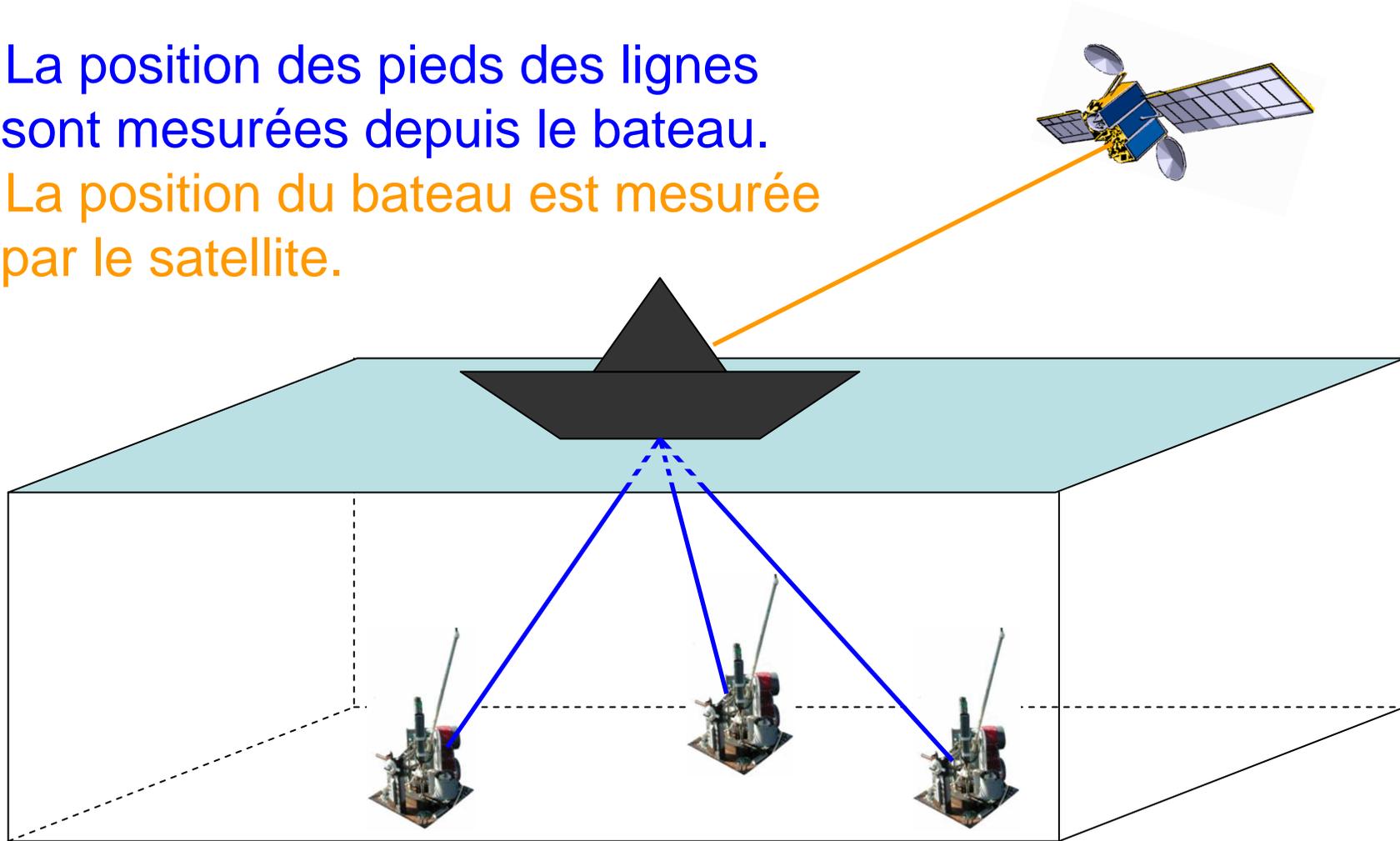




Incertitude sur la positions des pieds des lignes

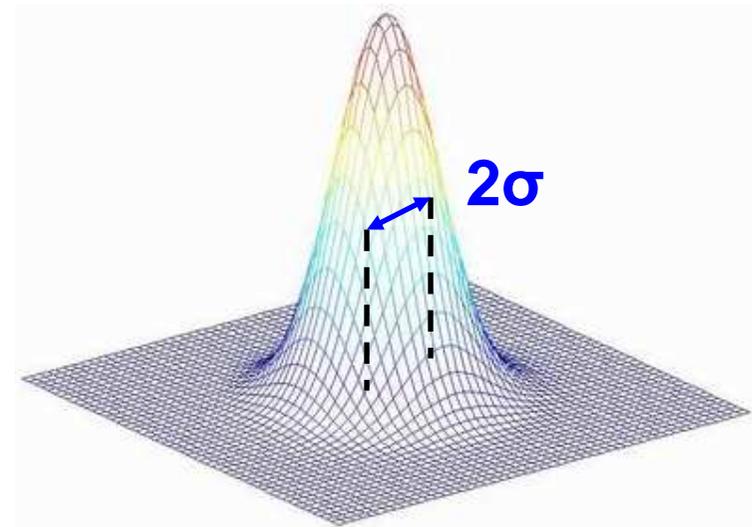
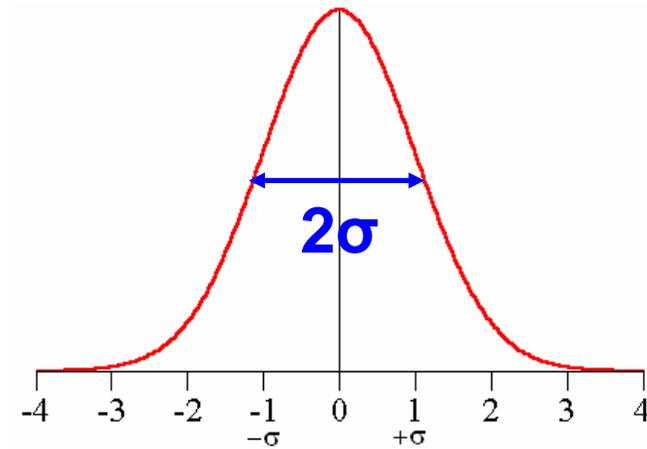
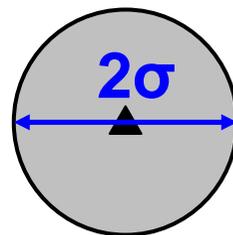
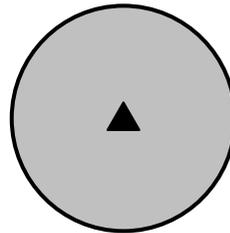
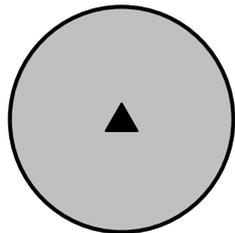


- La position des pieds des lignes sont mesurées depuis le bateau.
- La position du bateau est mesurée par le satellite.





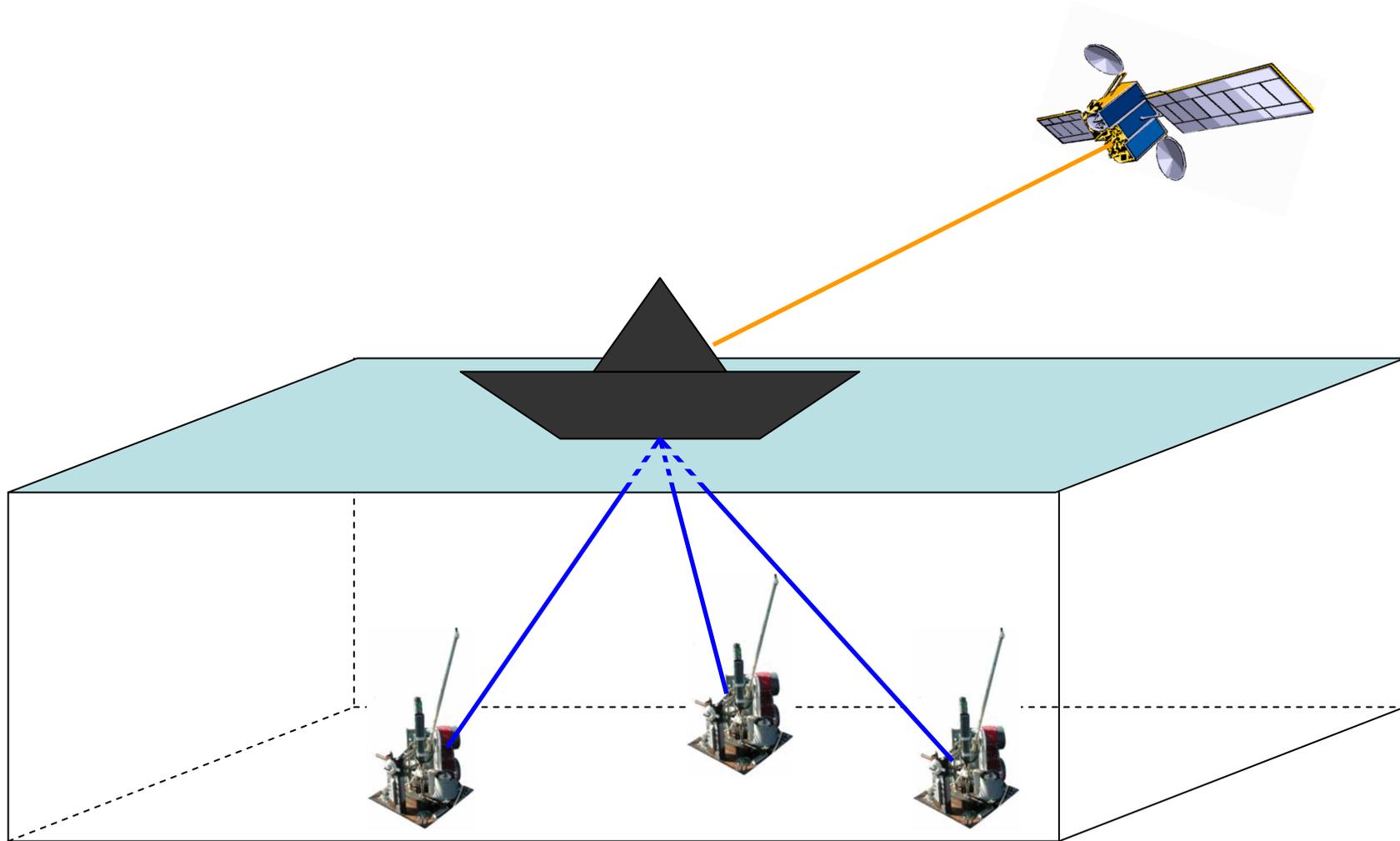
Incertitude gaussienne



$$0.5 \text{ m} < \sigma_{x,y} < 1.1 \text{ m}$$
$$\sigma_z < 0.1 \text{ m}$$



La position absolue des pieds des lignes

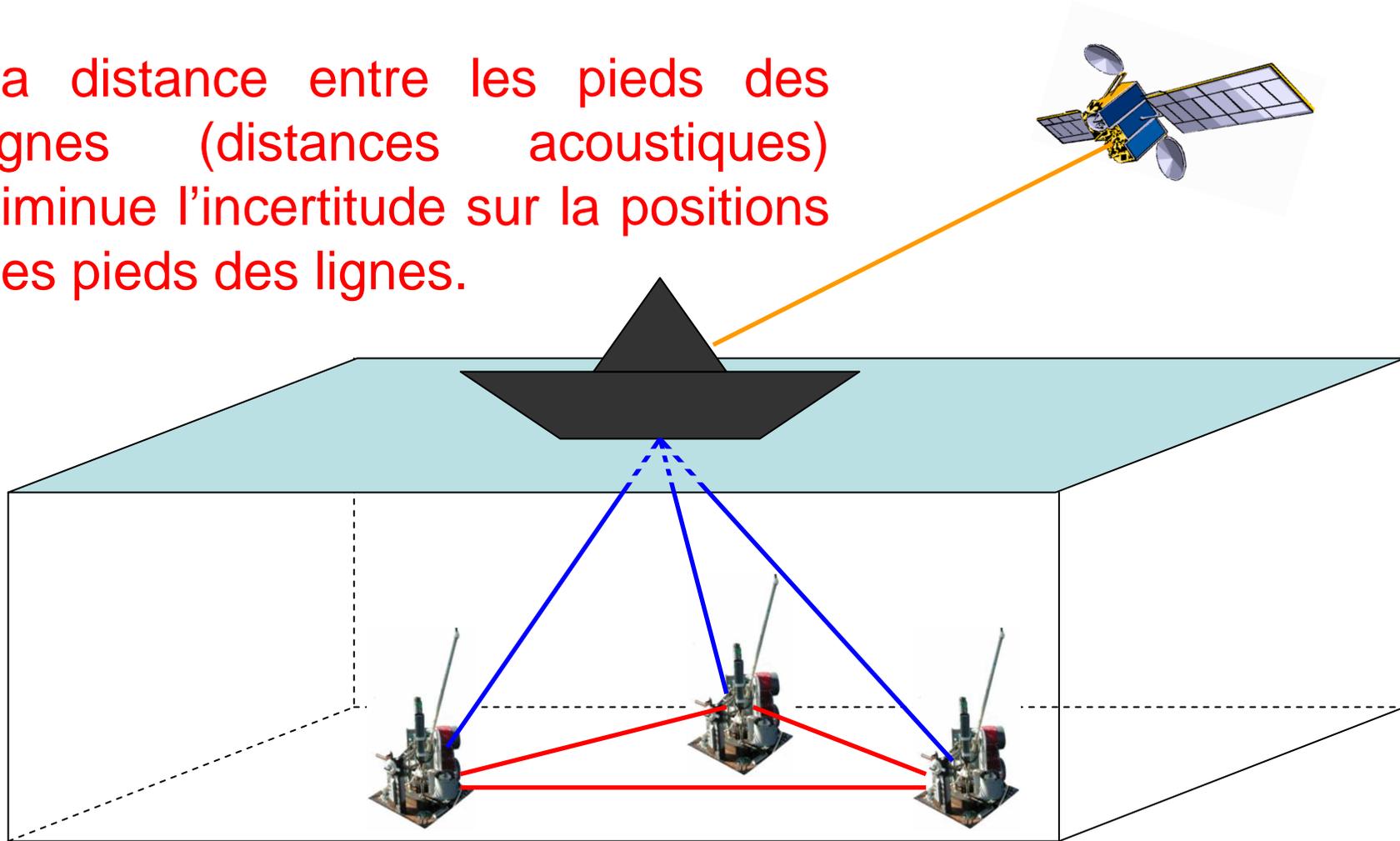




La position absolue des pieds des lignes

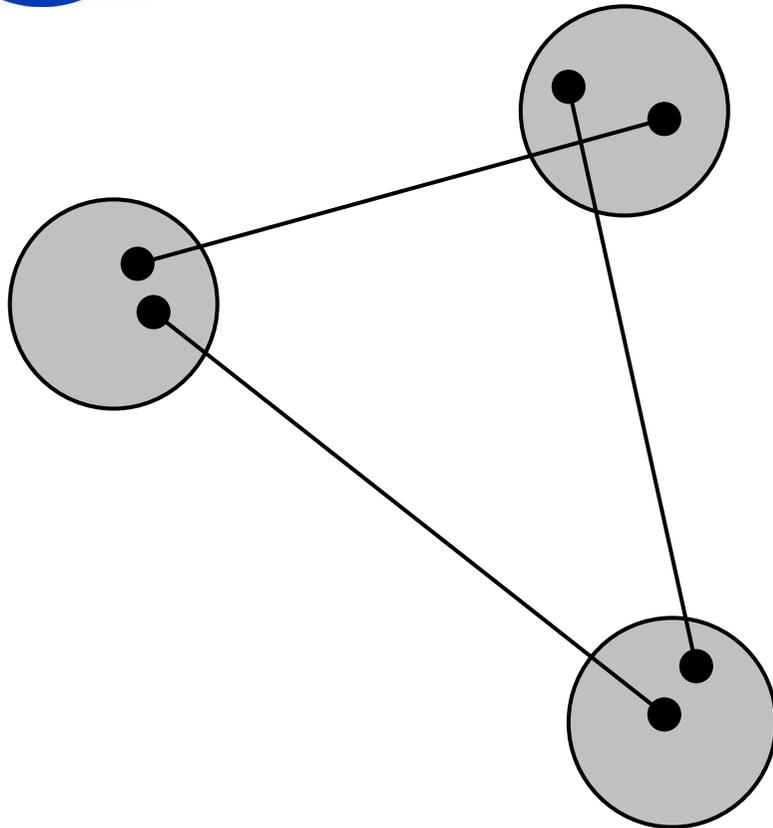


La distance entre les pieds des lignes (distances acoustiques) diminue l'incertitude sur la positions des pieds des lignes.





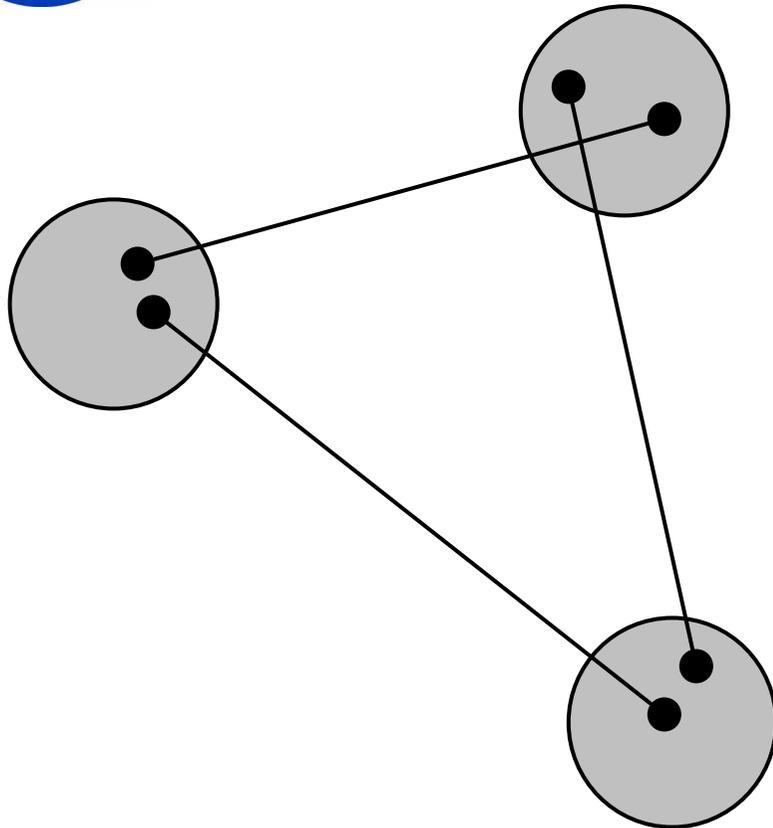
Triangulation



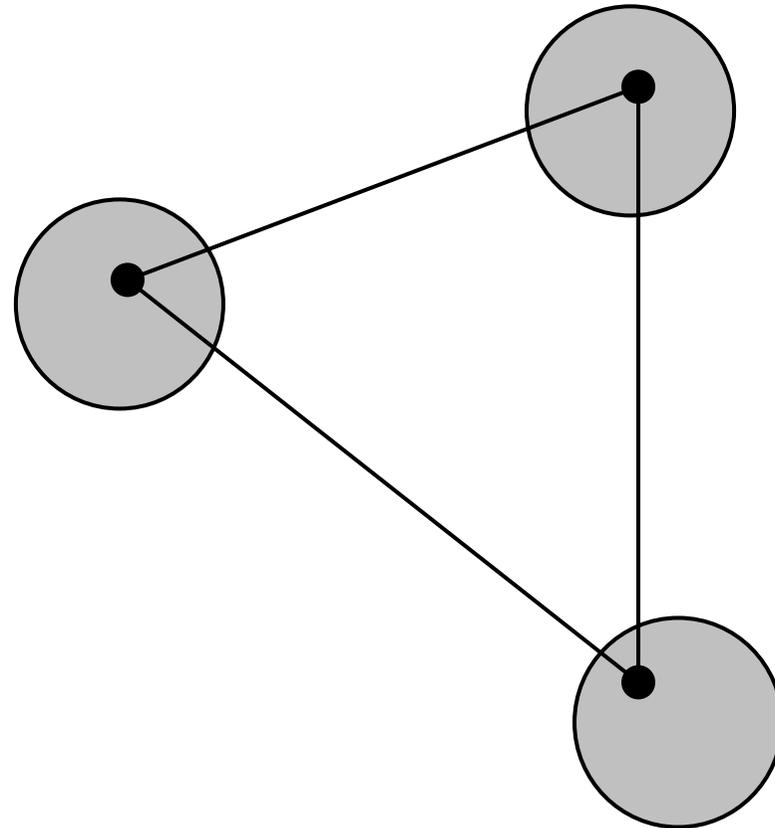
Avant triangulation



Triangulation



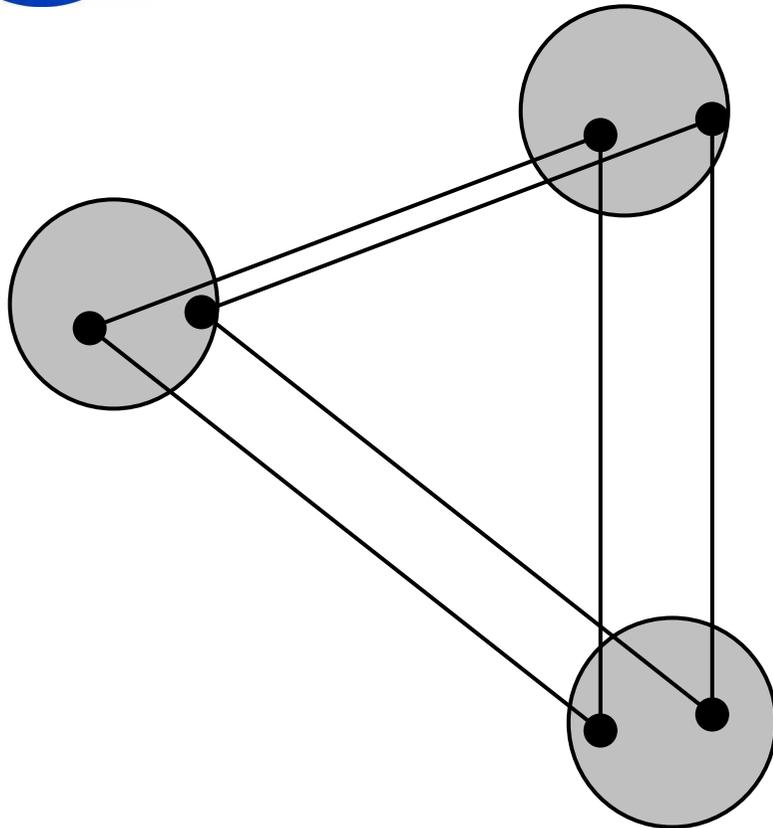
Avant triangulation



Après triangulation



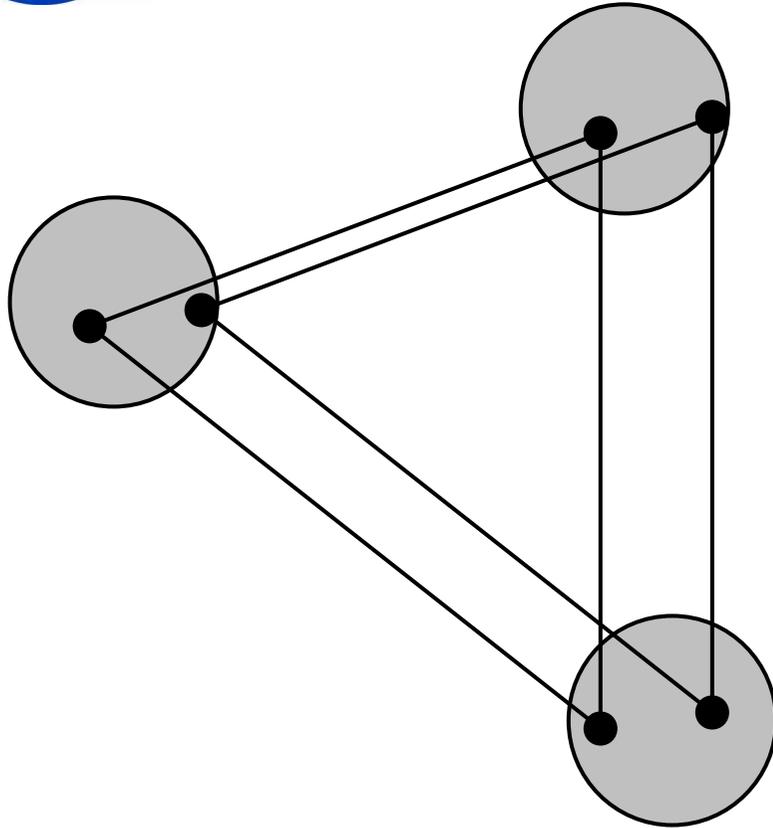
Infinité de solution



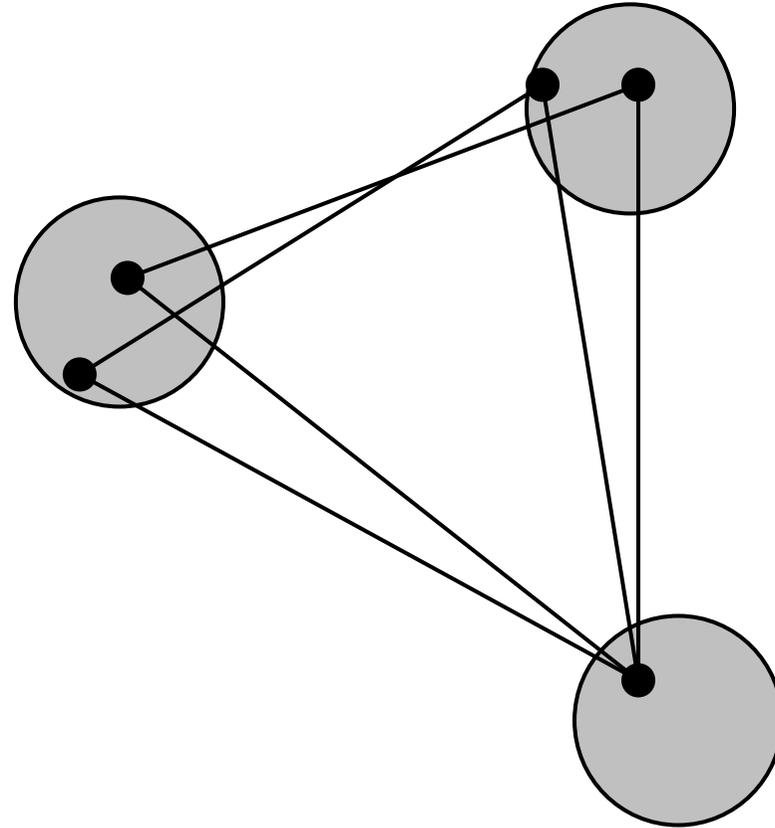
Translation



Infinité de solution



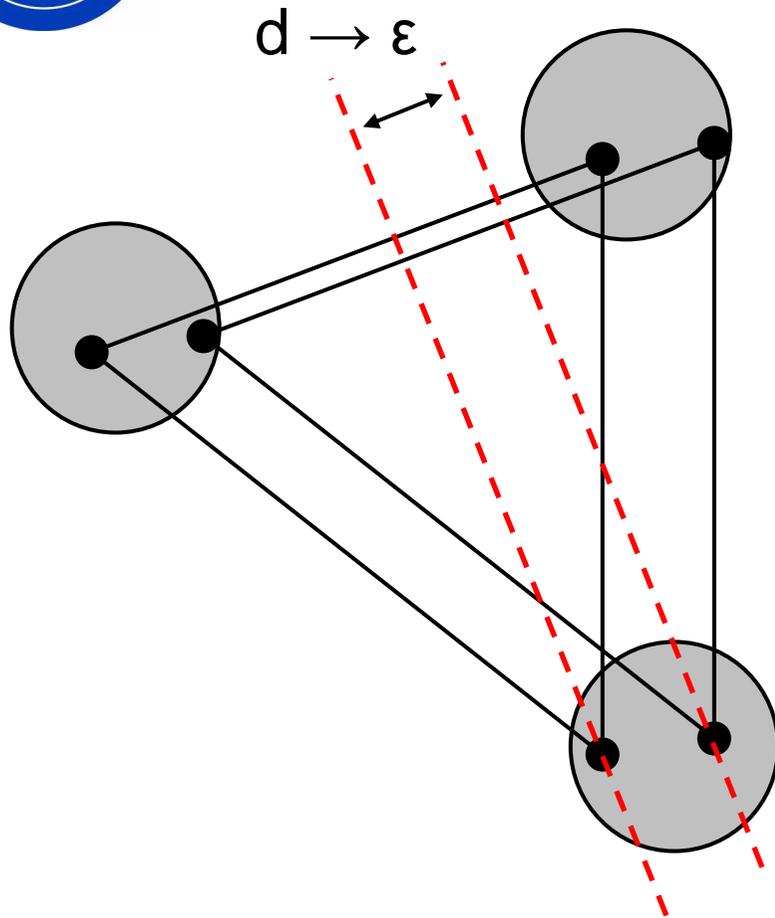
Translation



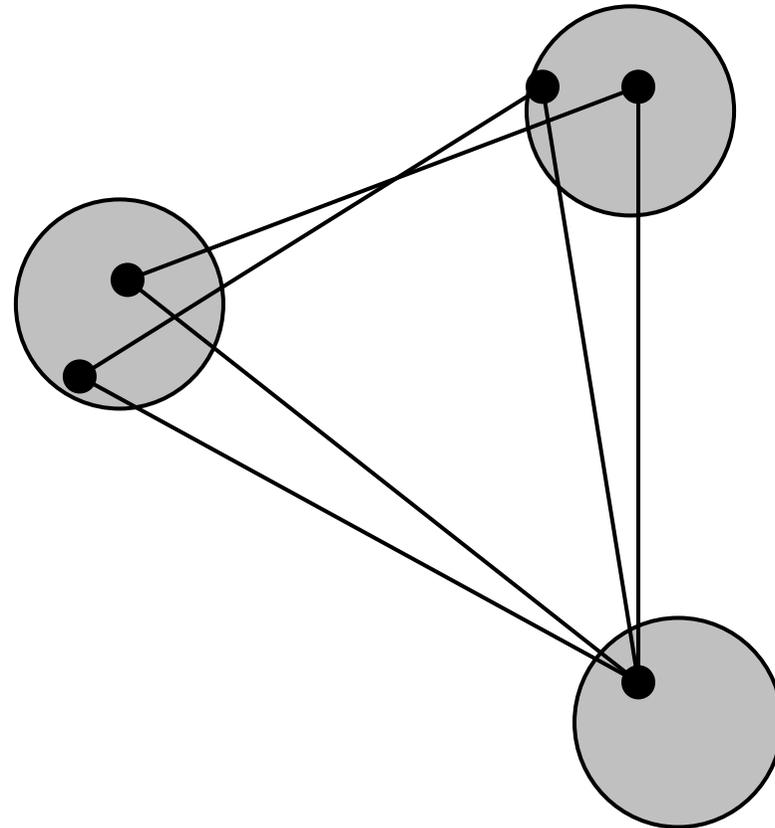
Rotation



Infinité de solution



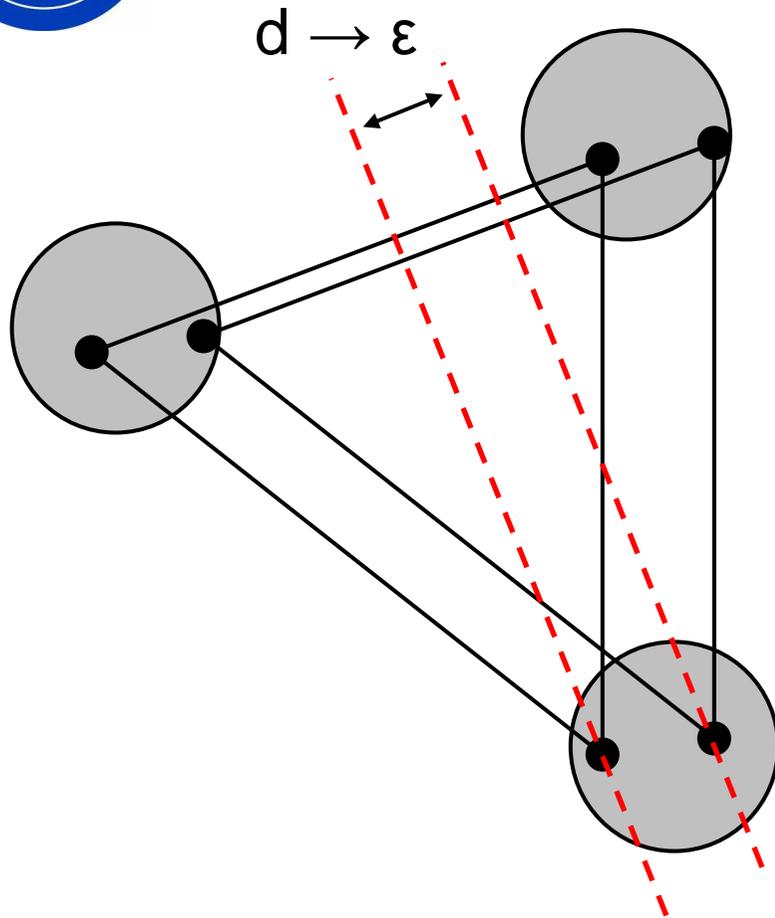
Translation



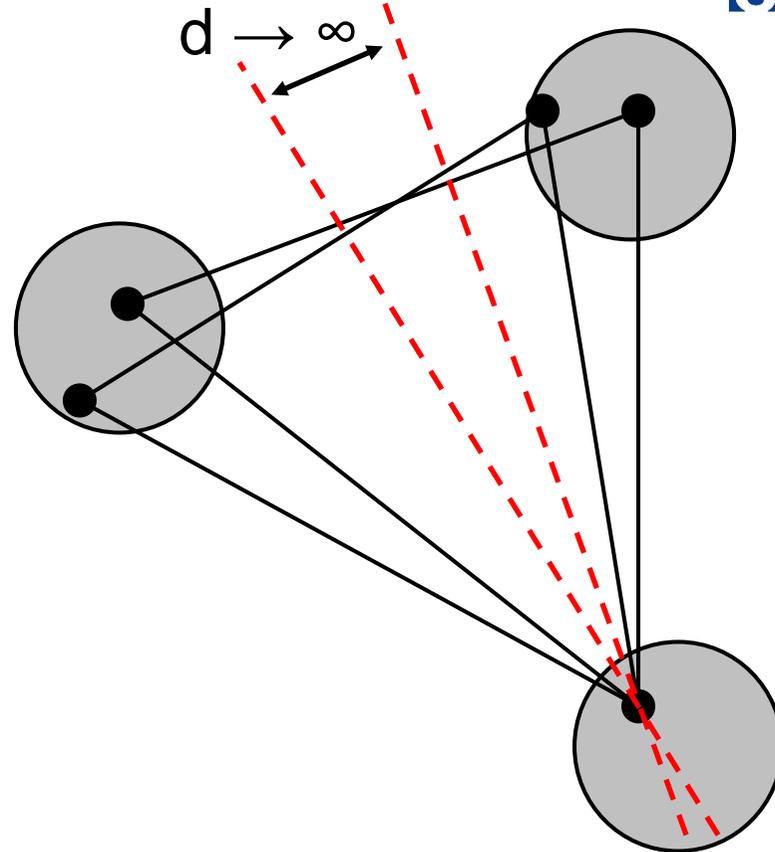
Rotation



Infinité de solution



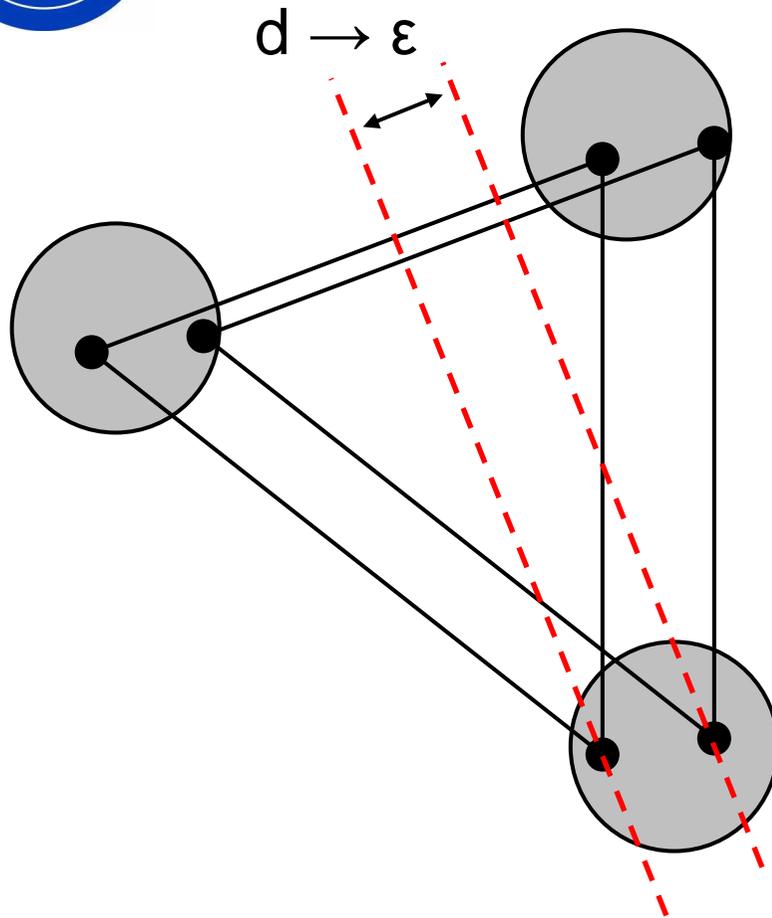
Translation



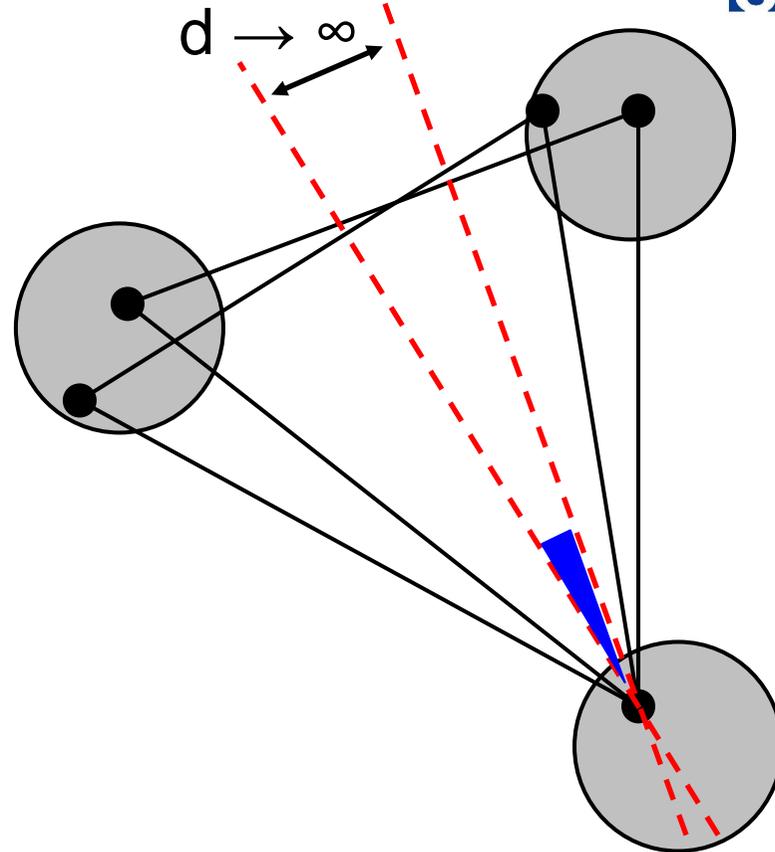
Rotation



Infinité de solution



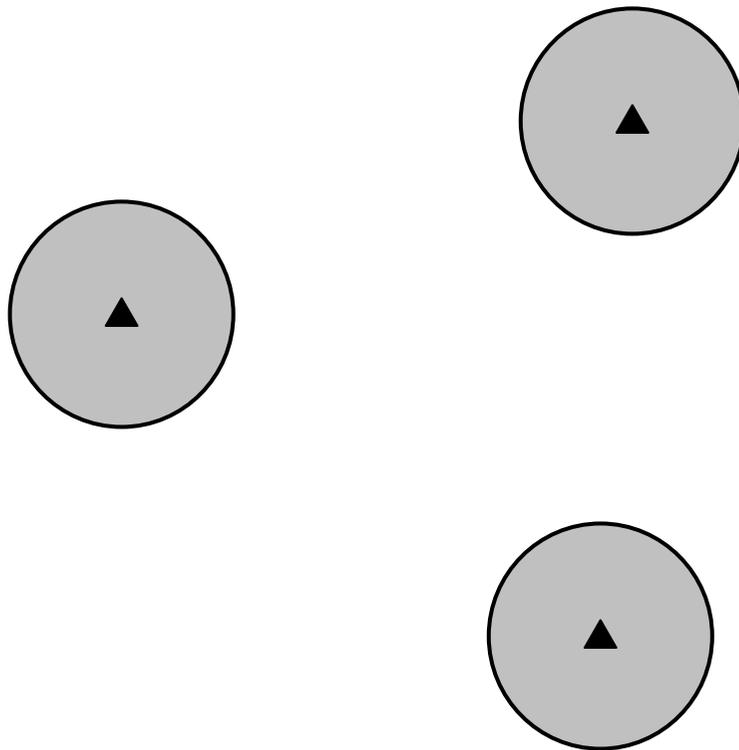
Translation



Rotation



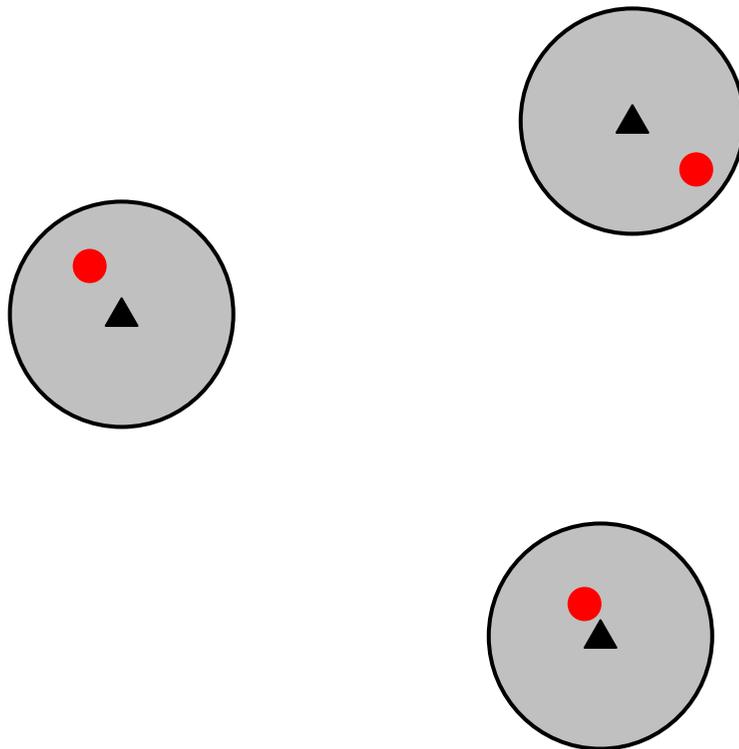
Simulation Monte-Carlo



Génération :



Simulation Monte-Carlo

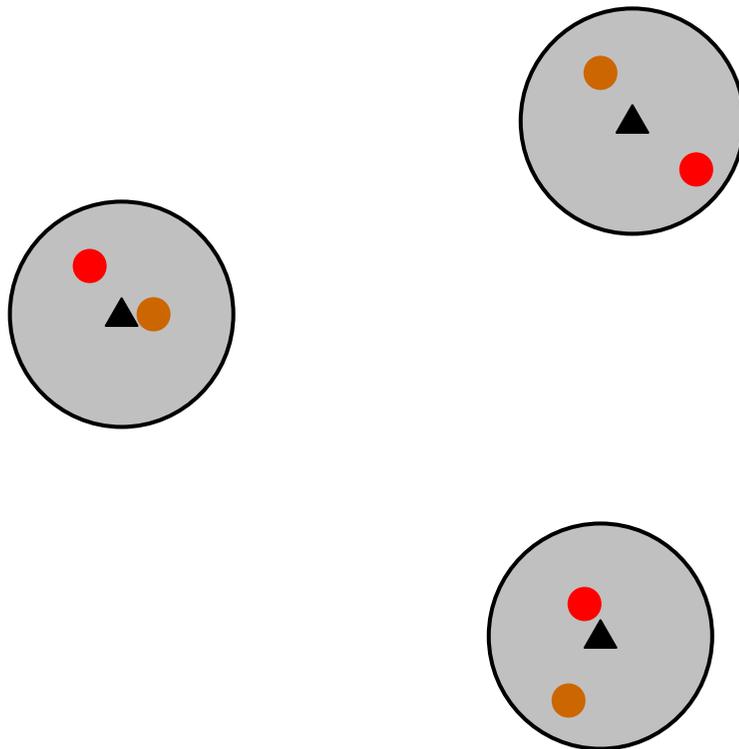


Génération :

1



Simulation Monte-Carlo

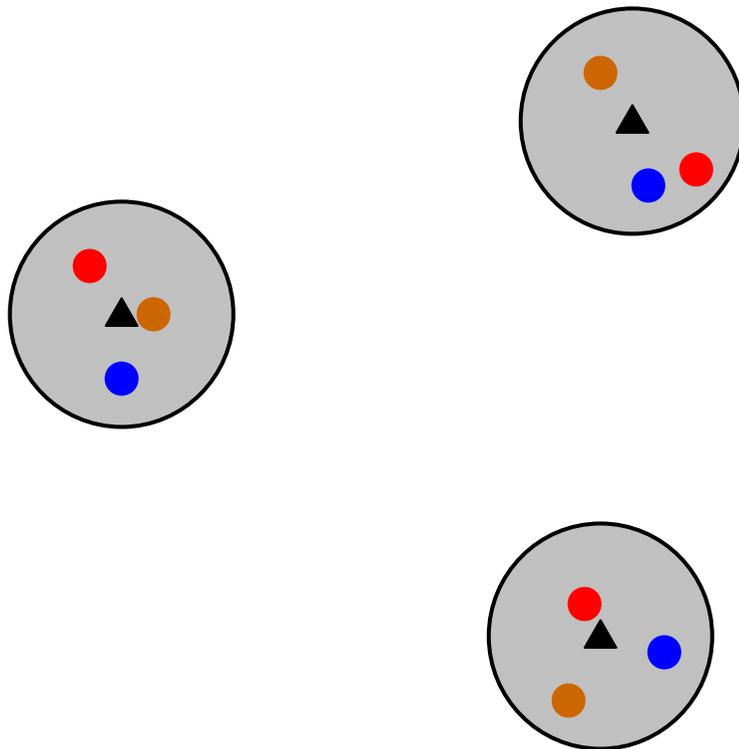


Génération :

1, 2



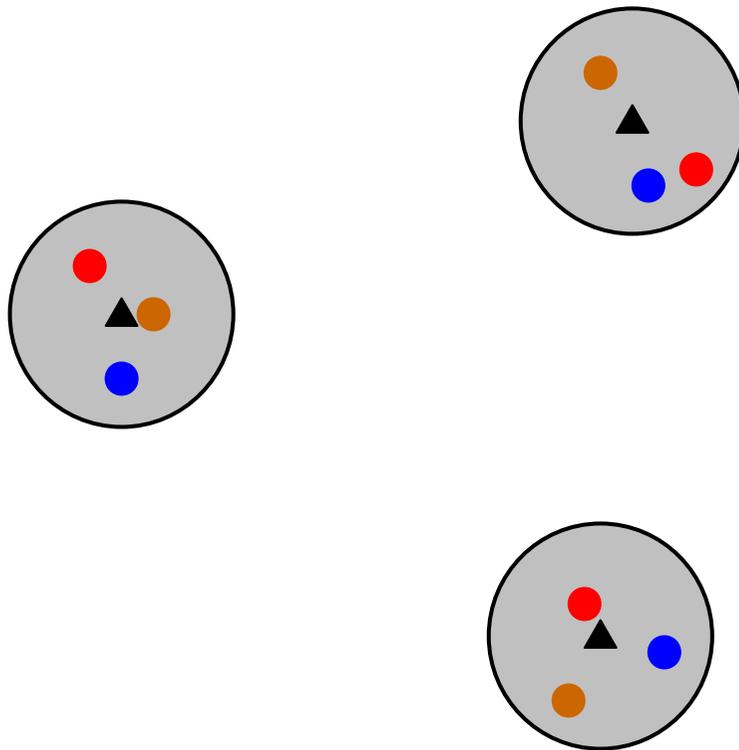
Simulation Monte-Carlo



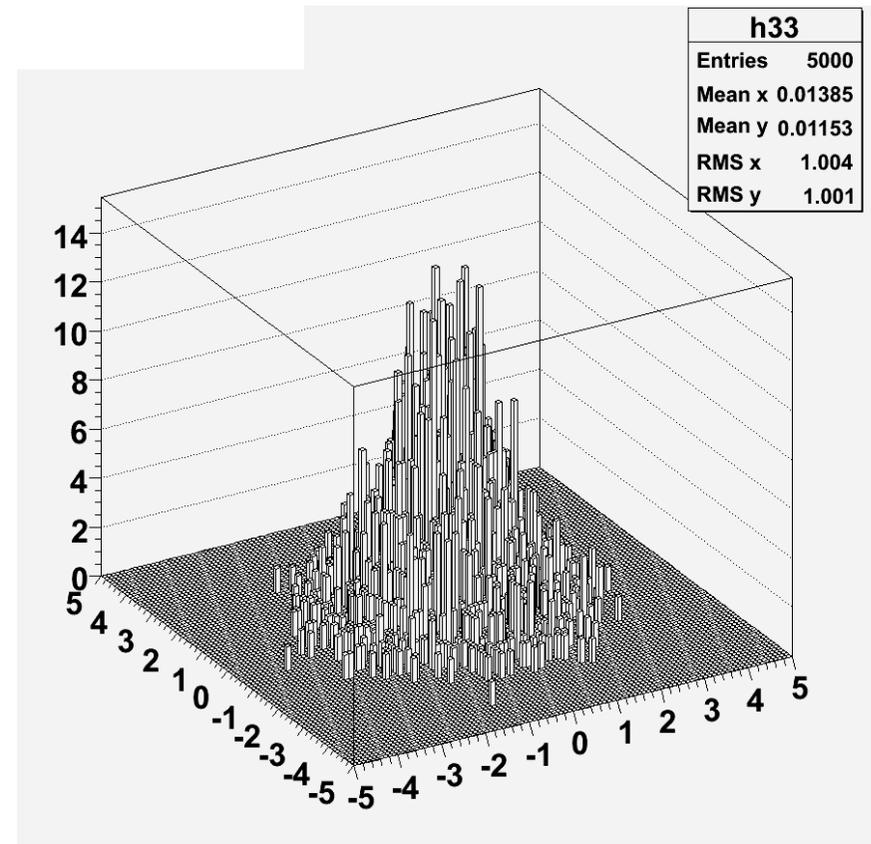
Génération :
1, 2, ... 5000 détecteurs



Simulation Monte-Carlo

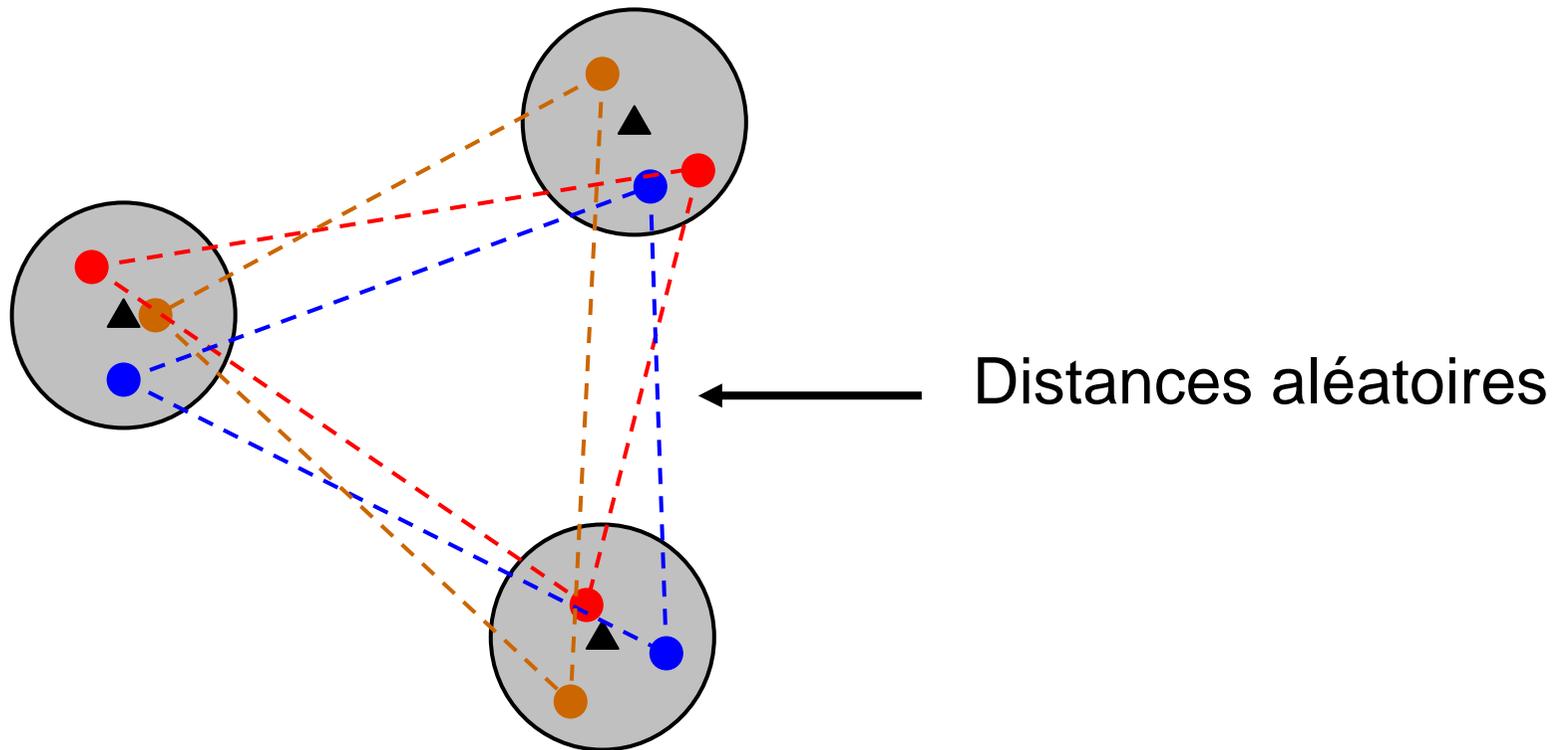


Génération :
1, 2, ... 5000 détecteurs





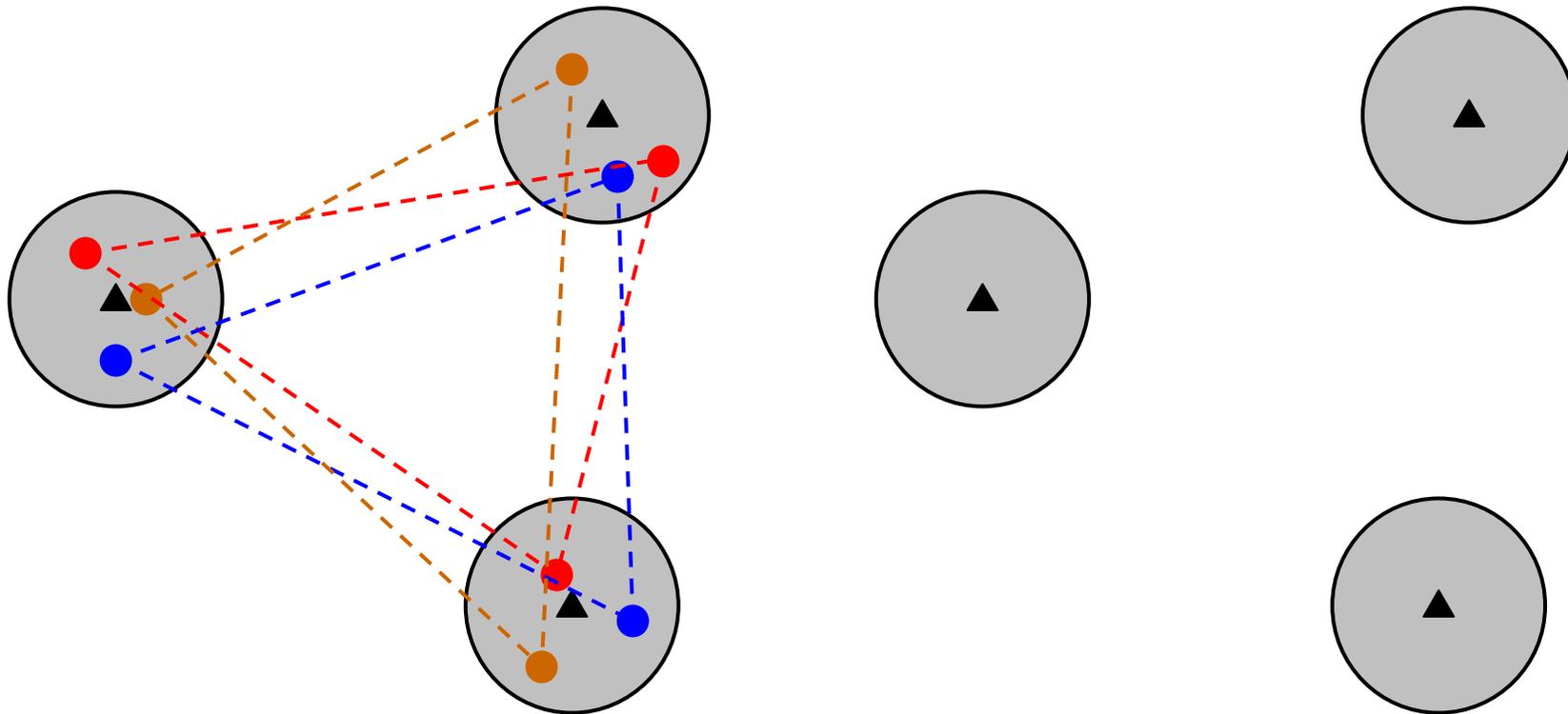
Simulation Monte-Carlo



Génération :
1, 2, ... 5000 détecteurs



Simulation Monte-Carlo

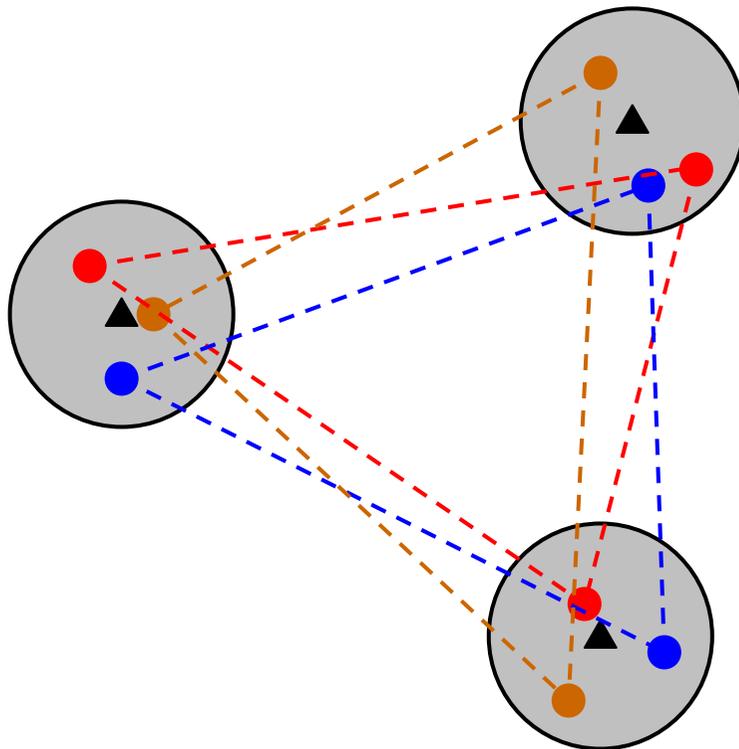


Génération :
1, 2, ... 5000 détecteurs

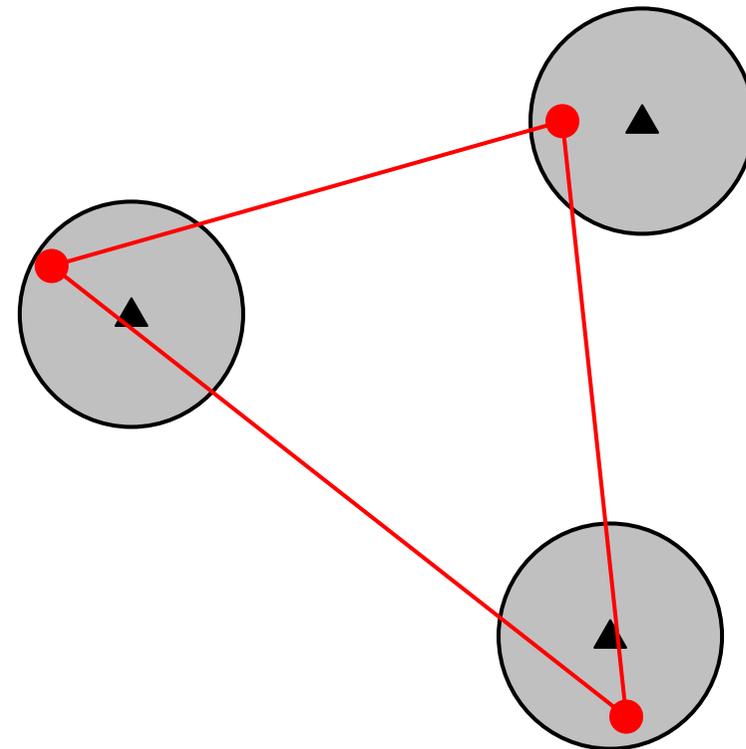
Triangulation :



Simulation Monte-Carlo



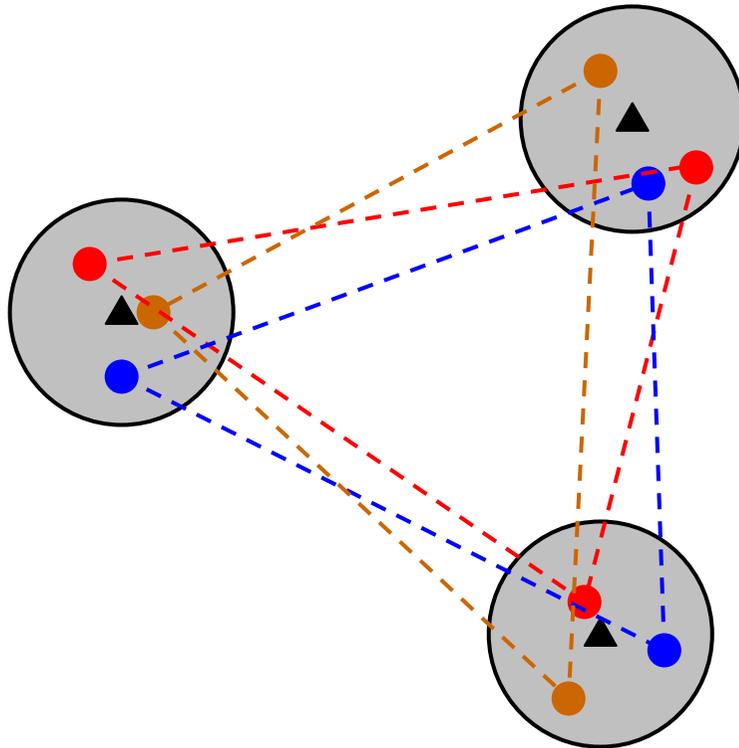
Génération :
1, 2, ... 5000 détecteurs



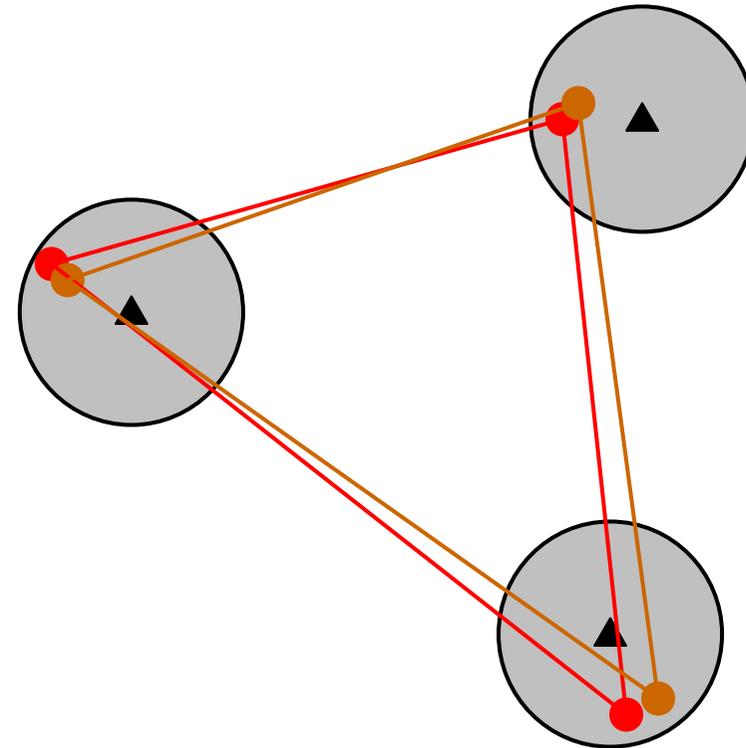
Triangulation :
1



Simulation Monte-Carlo



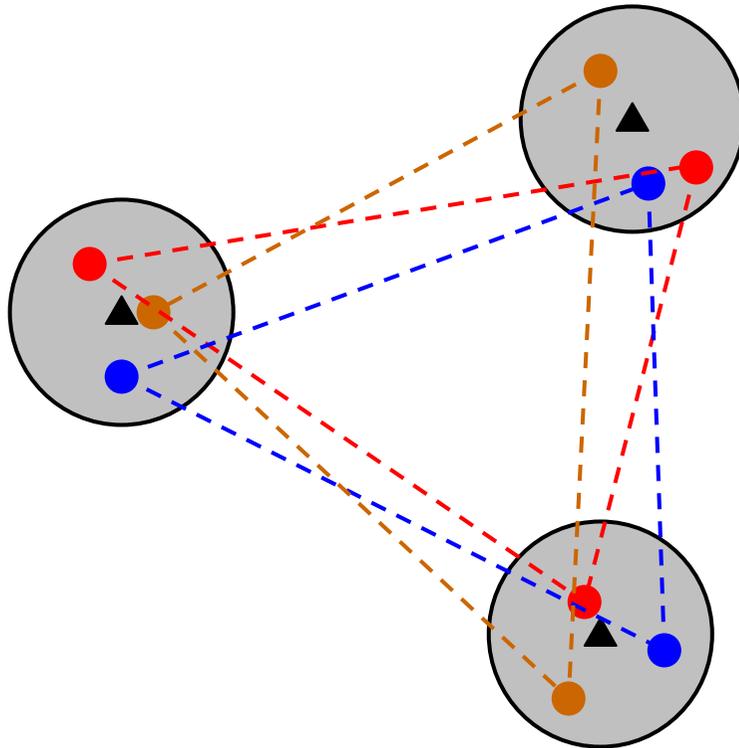
Génération :
1, 2, ... 5000 détecteurs



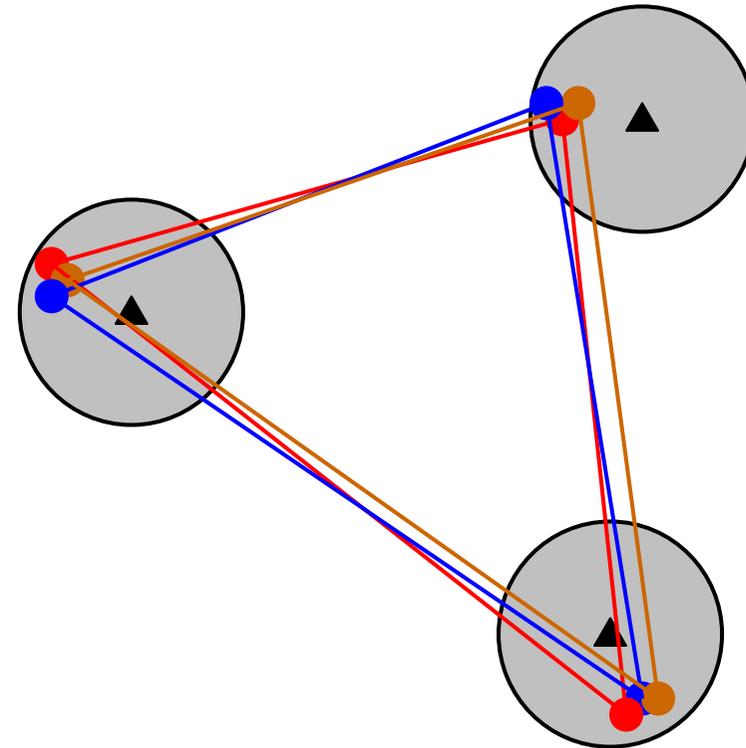
Triangulation :
1, 2



Simulation Monte-Carlo



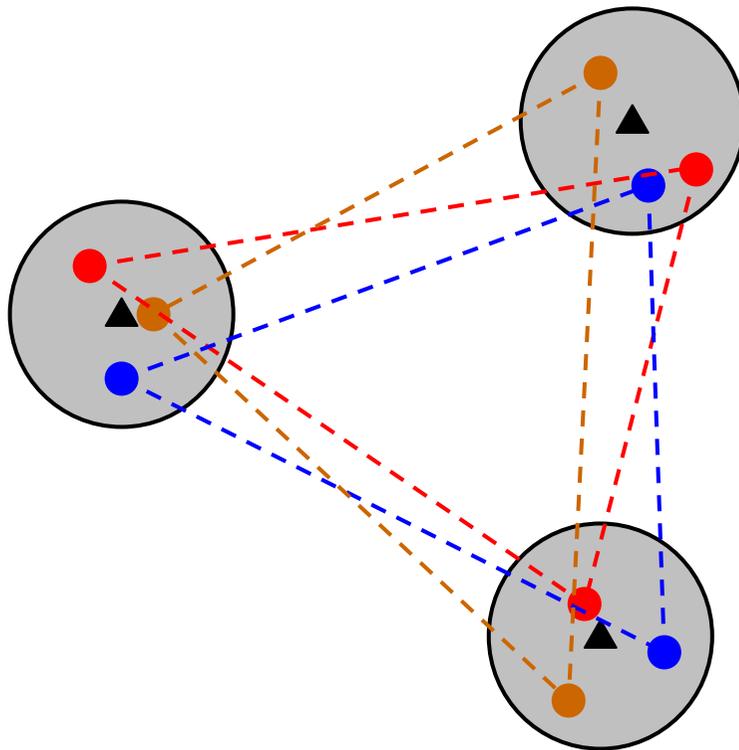
Génération :
1, 2, ... 5000 détecteurs



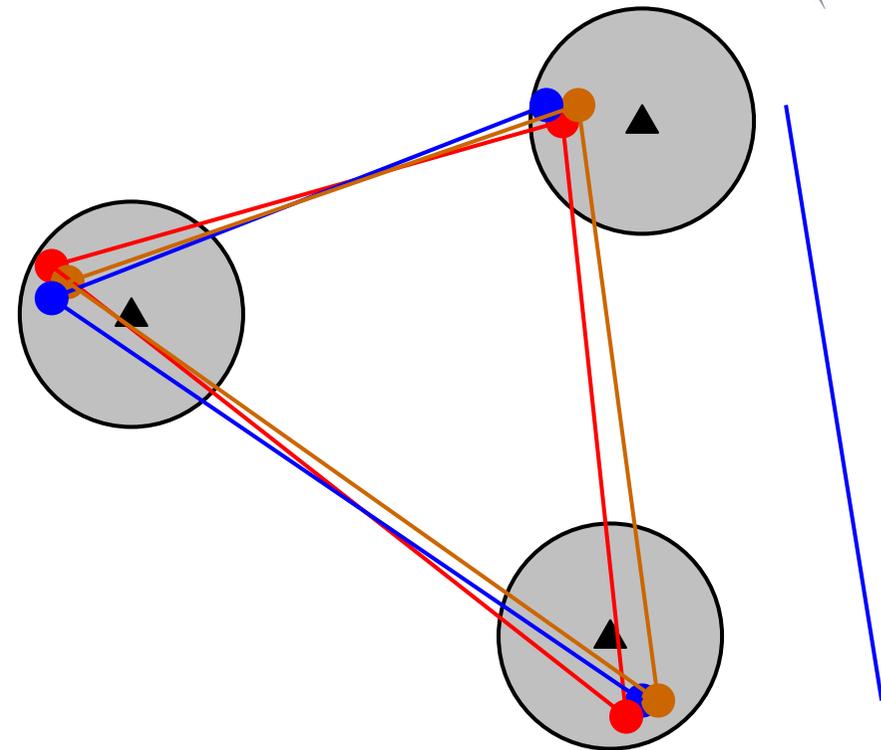
Triangulation :
1, 2, ... 5000 détecteurs



Simulation Monte-Carlo



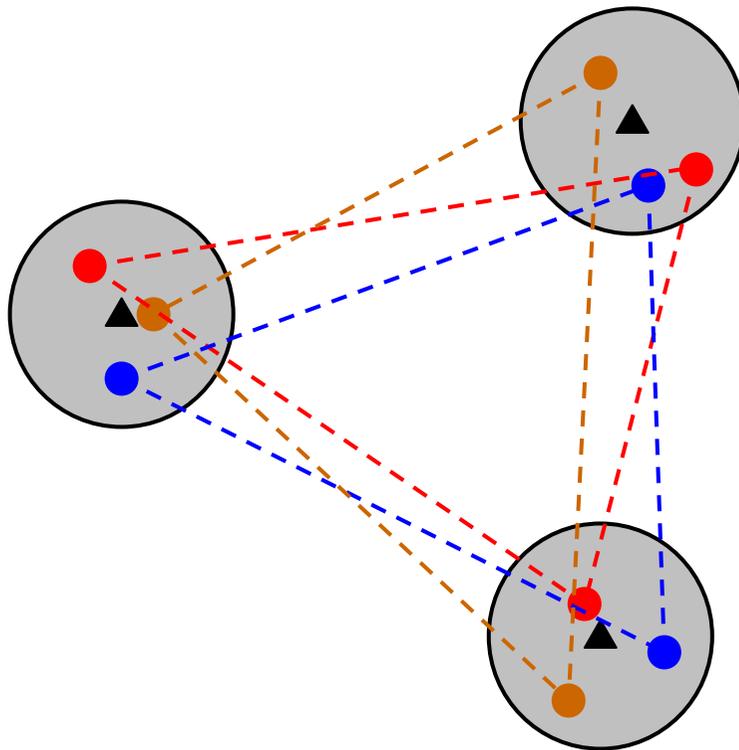
Génération :
1, 2, ... 5000 détecteurs



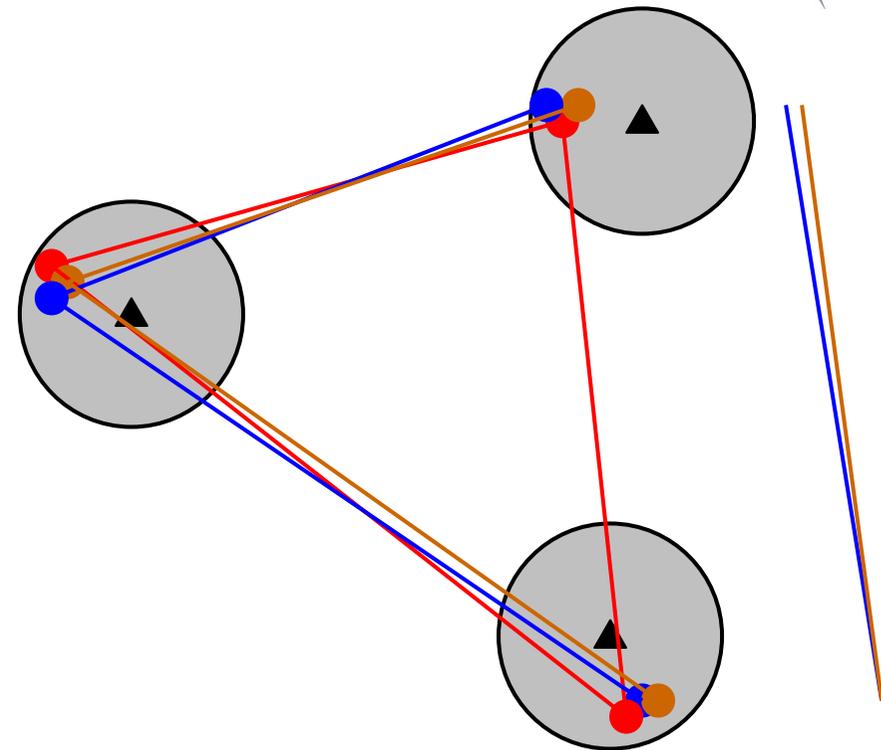
Triangulation :
1, 2, ... 5000 détecteurs



Simulation Monte-Carlo



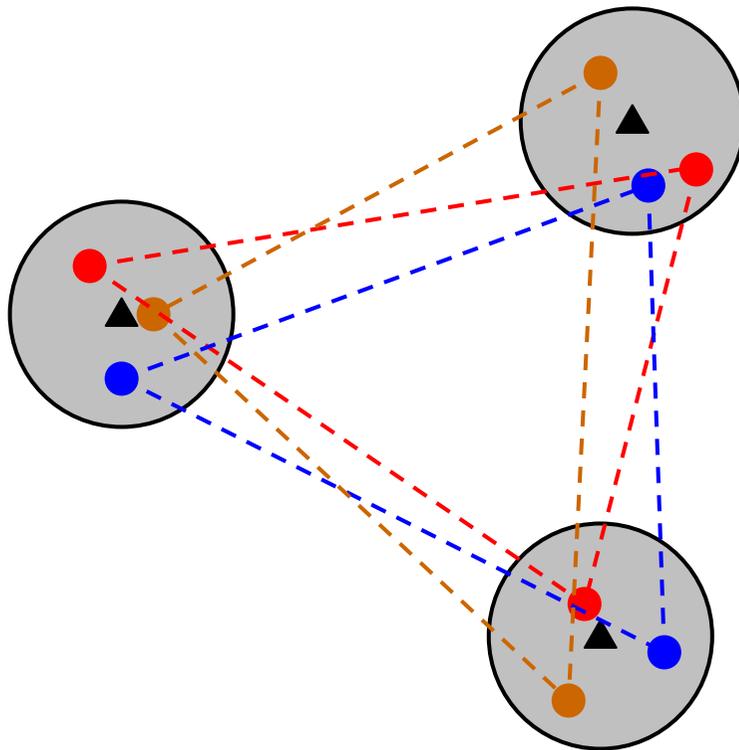
Génération :
1, 2, ... 5000 détecteurs



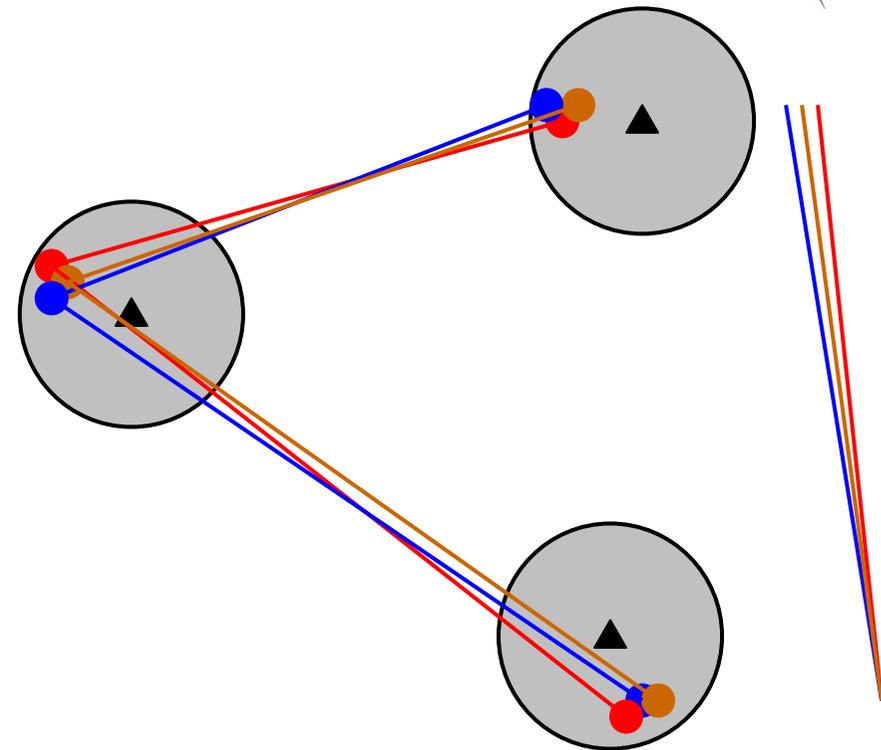
Triangulation :
1, 2, ... 5000 détecteurs



Simulation Monte-Carlo



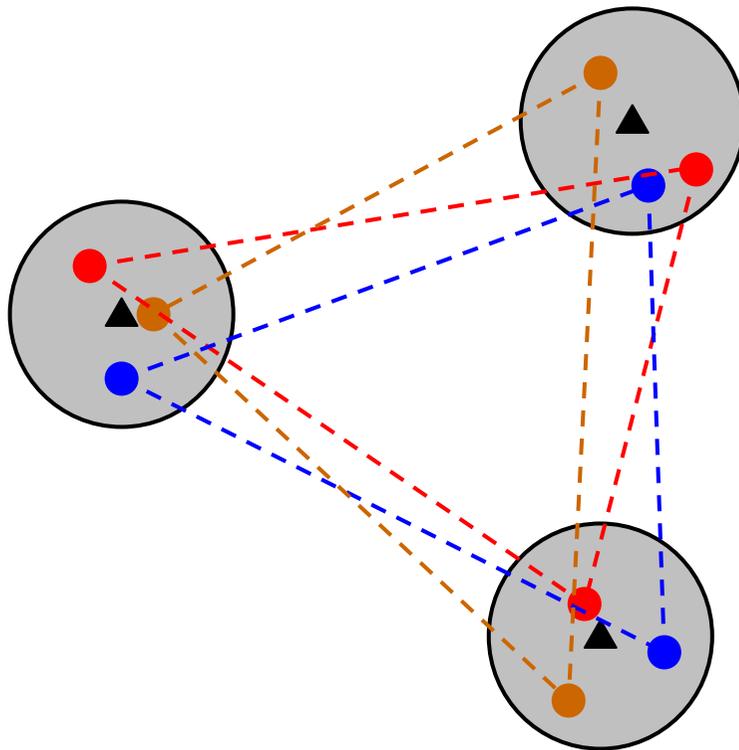
Génération :
1, 2, ... 5000 détecteurs



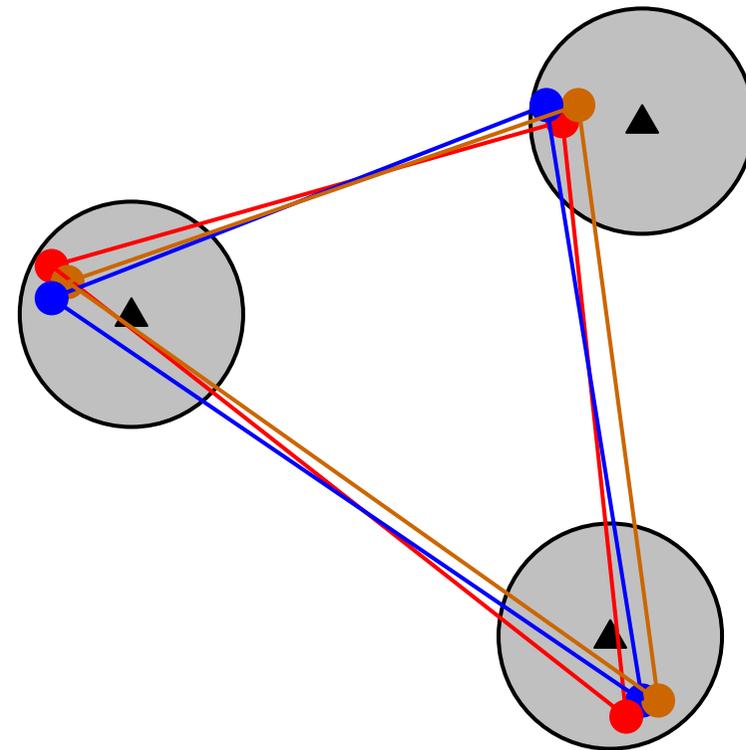
Triangulation :
1, 2, ... 5000 détecteurs



Simulation Monte-Carlo



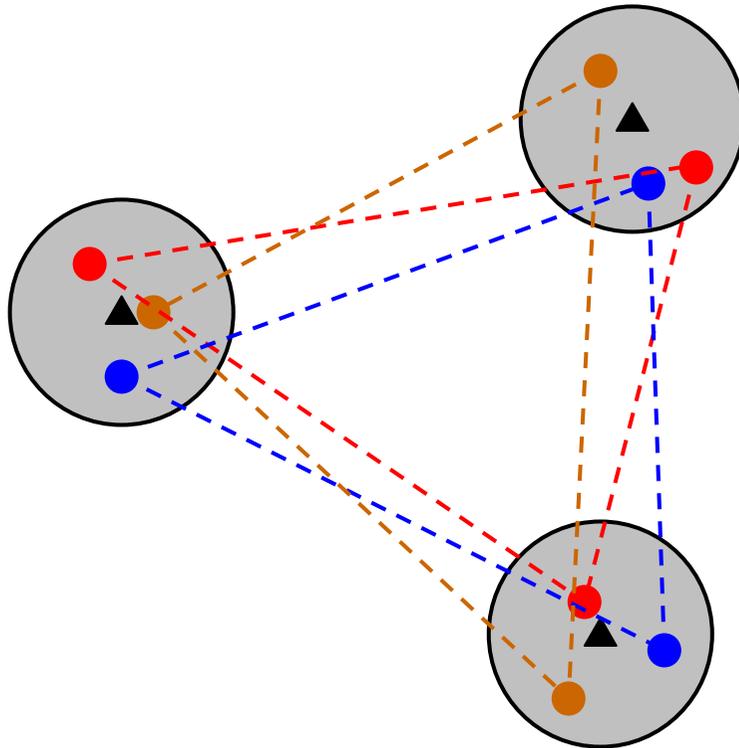
Génération :
1, 2, ... 5000 détecteurs



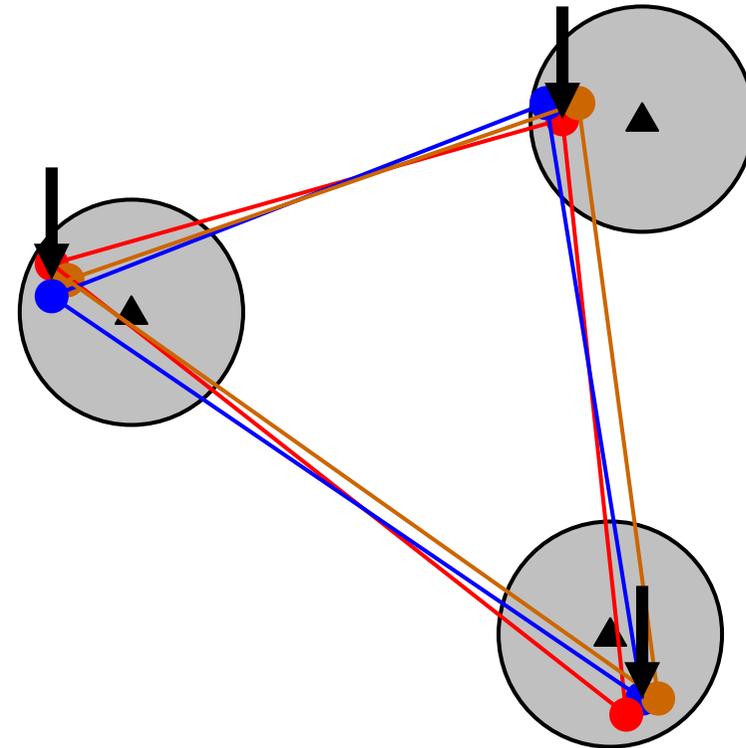
Triangulation :
1, 2, ... 5000 détecteurs



Simulation Monte-Carlo



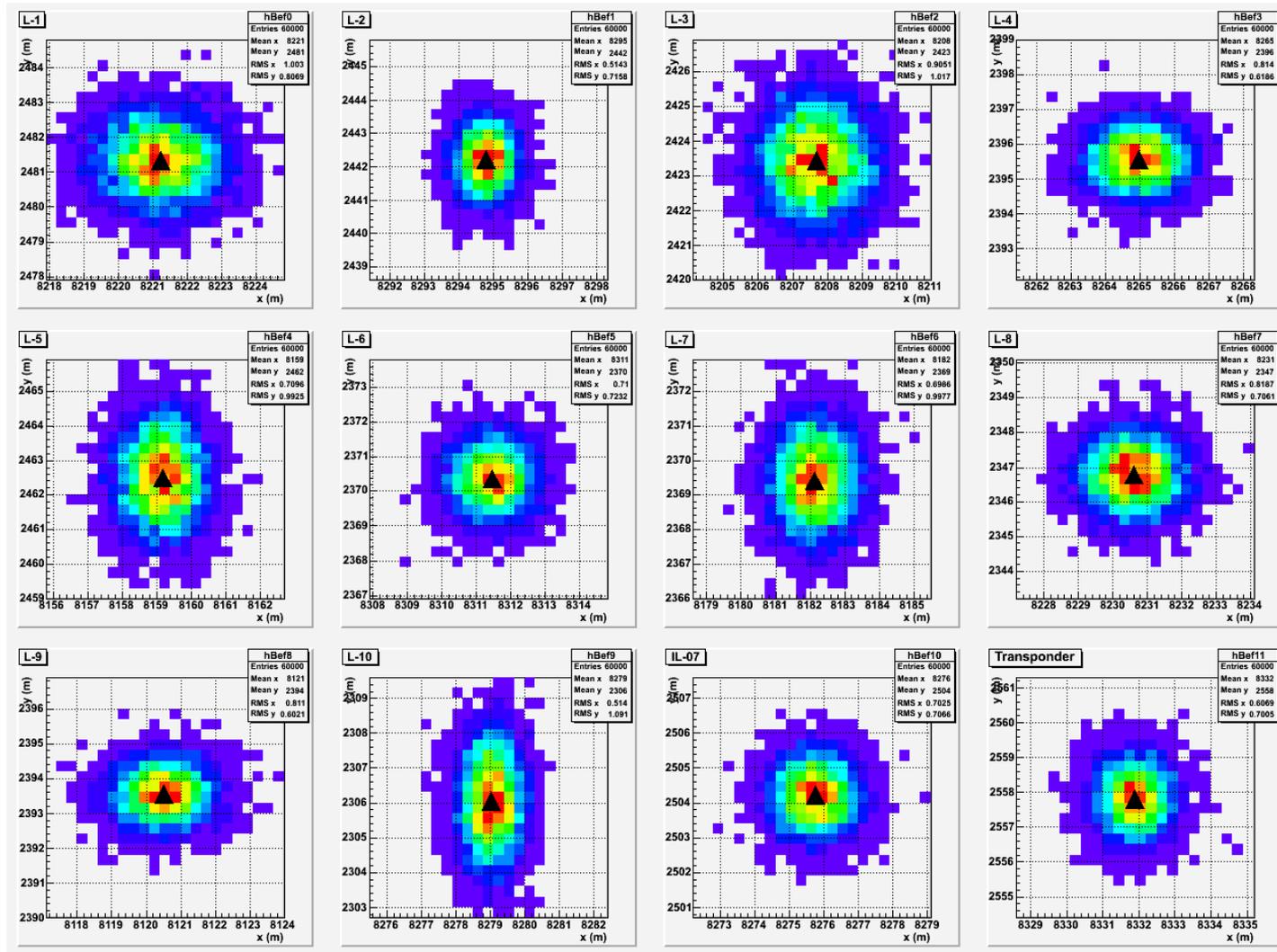
Génération :
1, 2, ... 5000 détecteurs



Triangulation :
1, 2, ... 5000 détecteurs

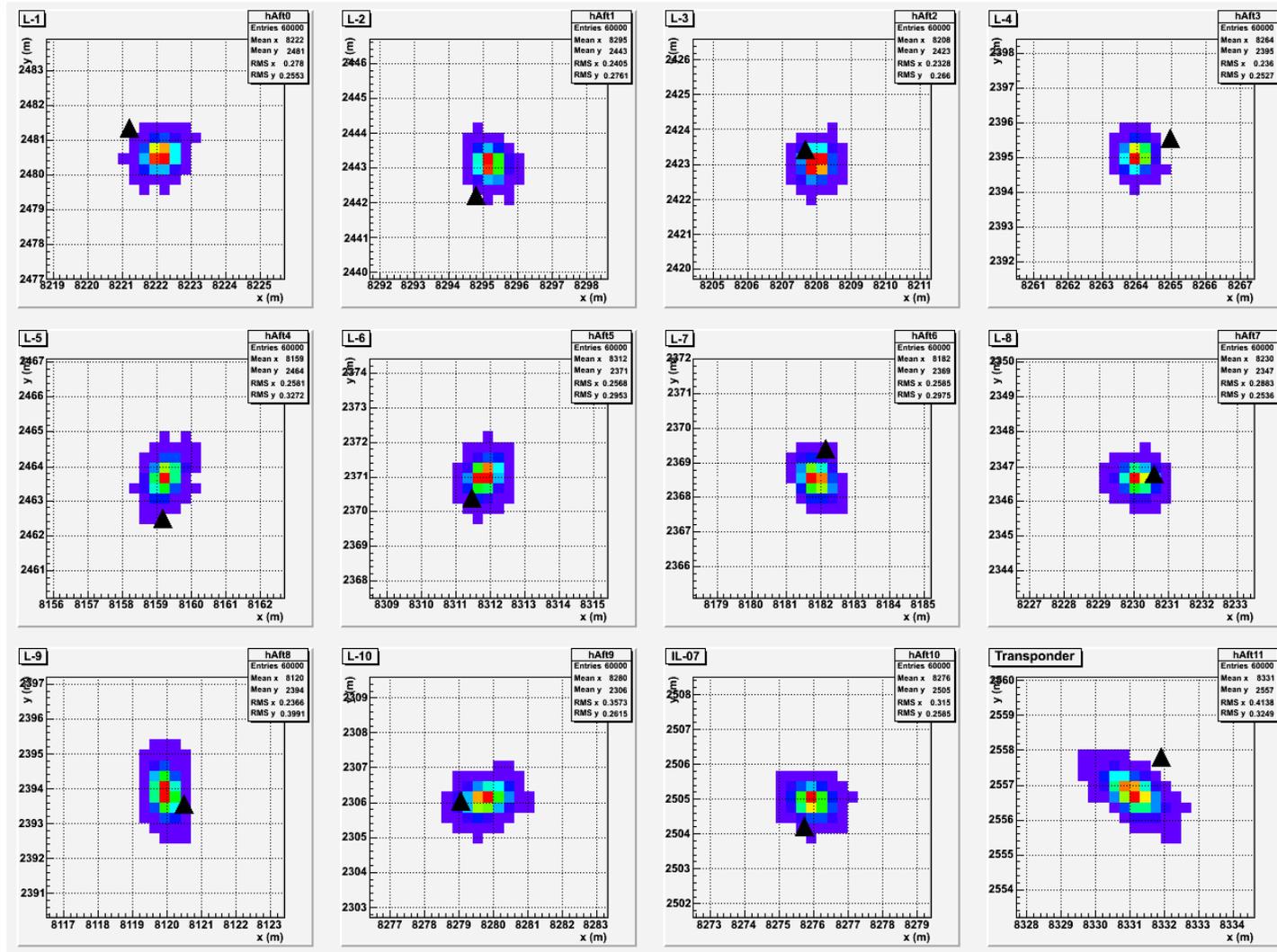


Avant triangulation



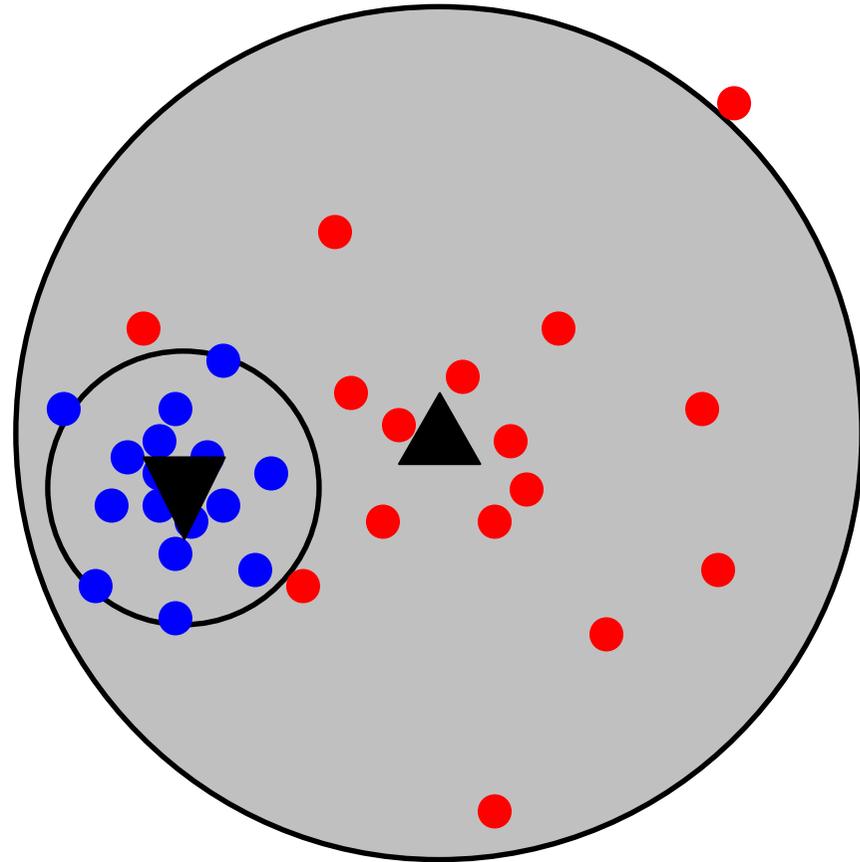
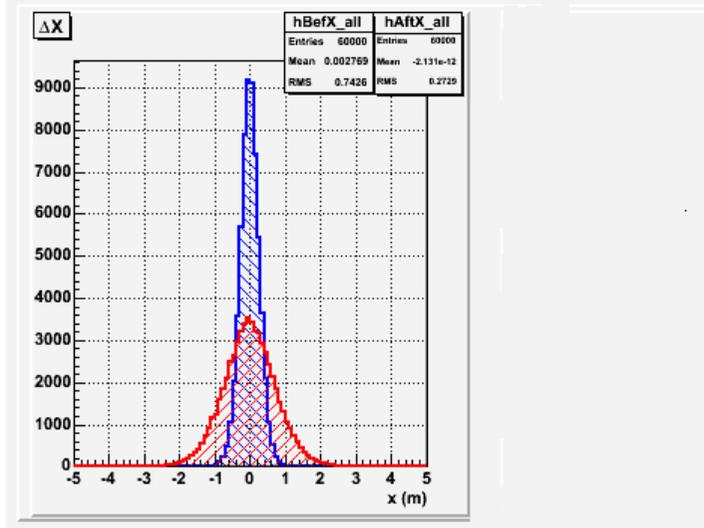
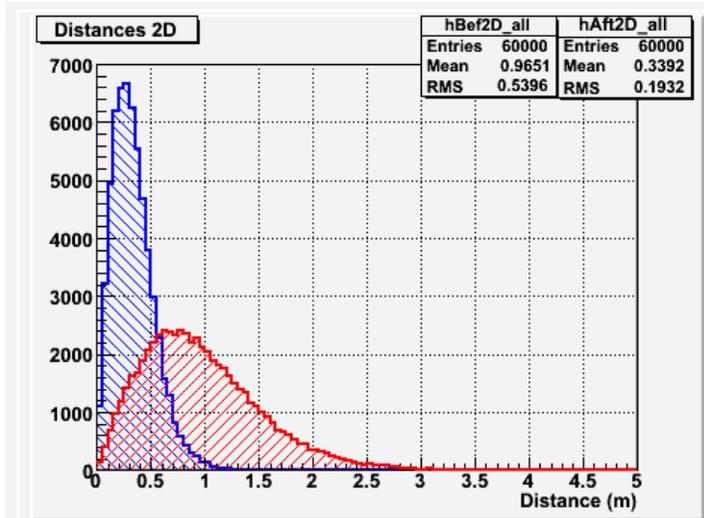


Après triangulation



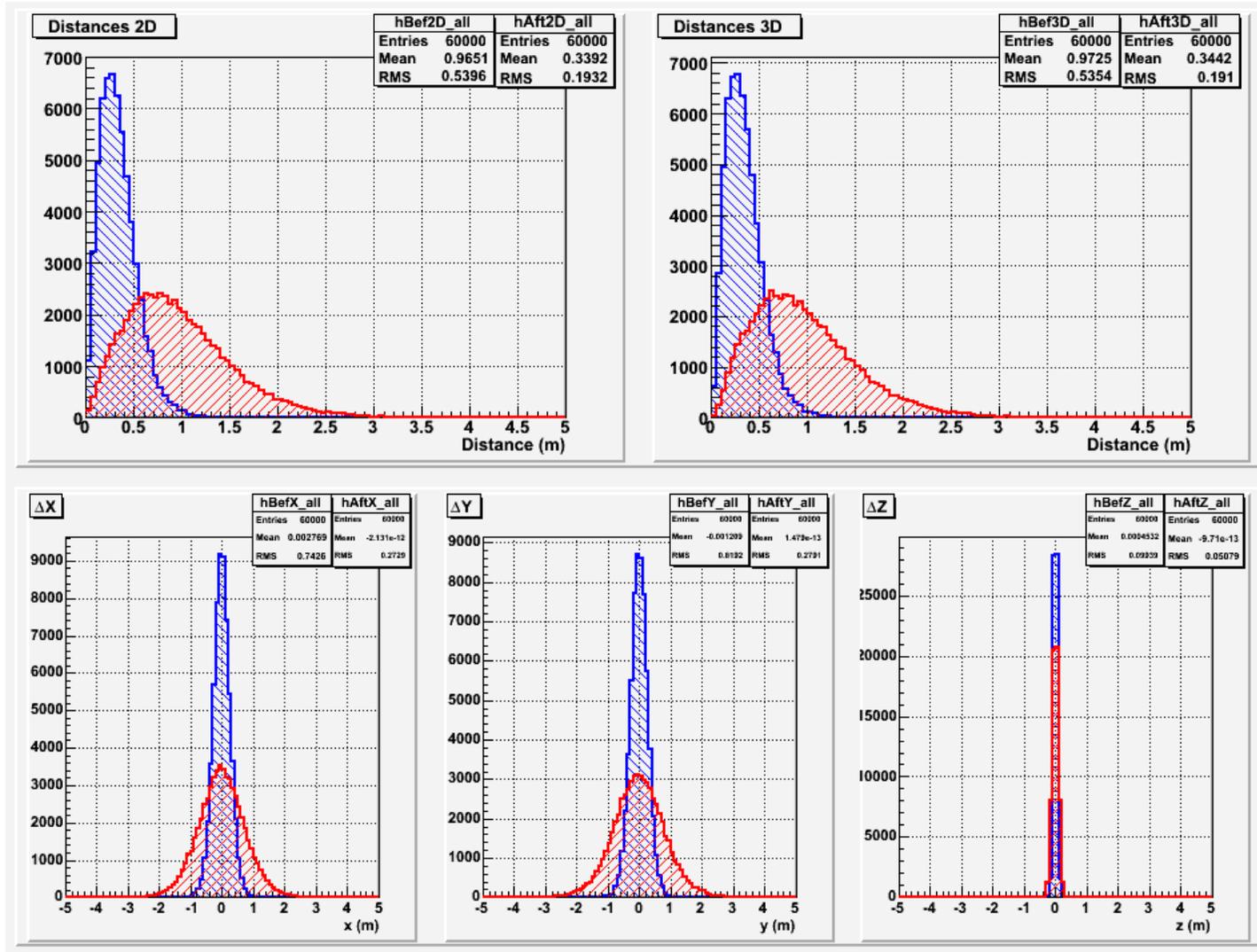


Distances





Distances



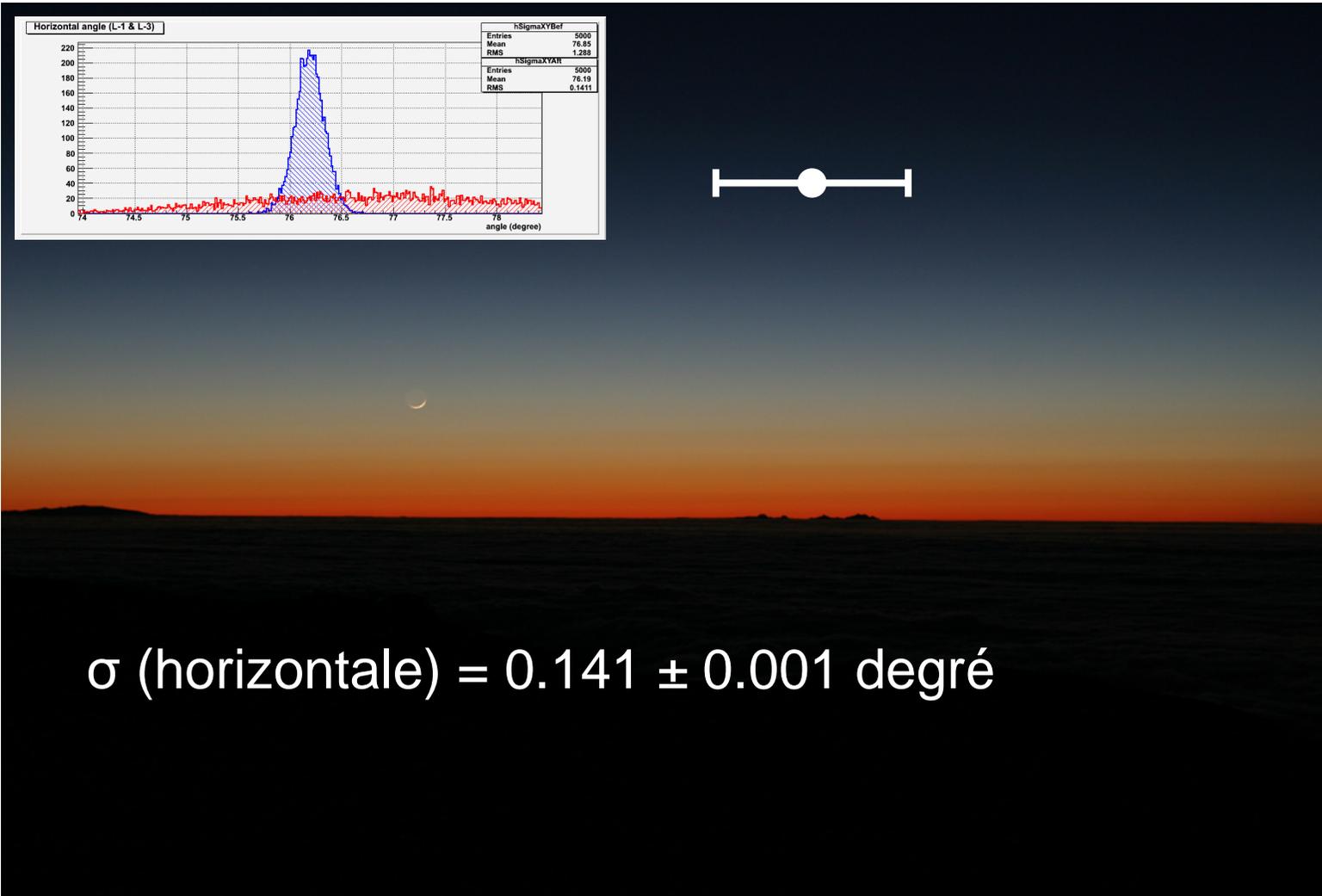


Résolution angulaire (10 lignes)





Résolution angulaire (10 lignes)





Résolution angulaire (10 lignes)

