Recherche indirecte de matière noire avec ANTARES en direction des galaxies naines

Alexis Dumas
LPC Clermont-Ferrand
Université Blaise Pascal

Sommaire

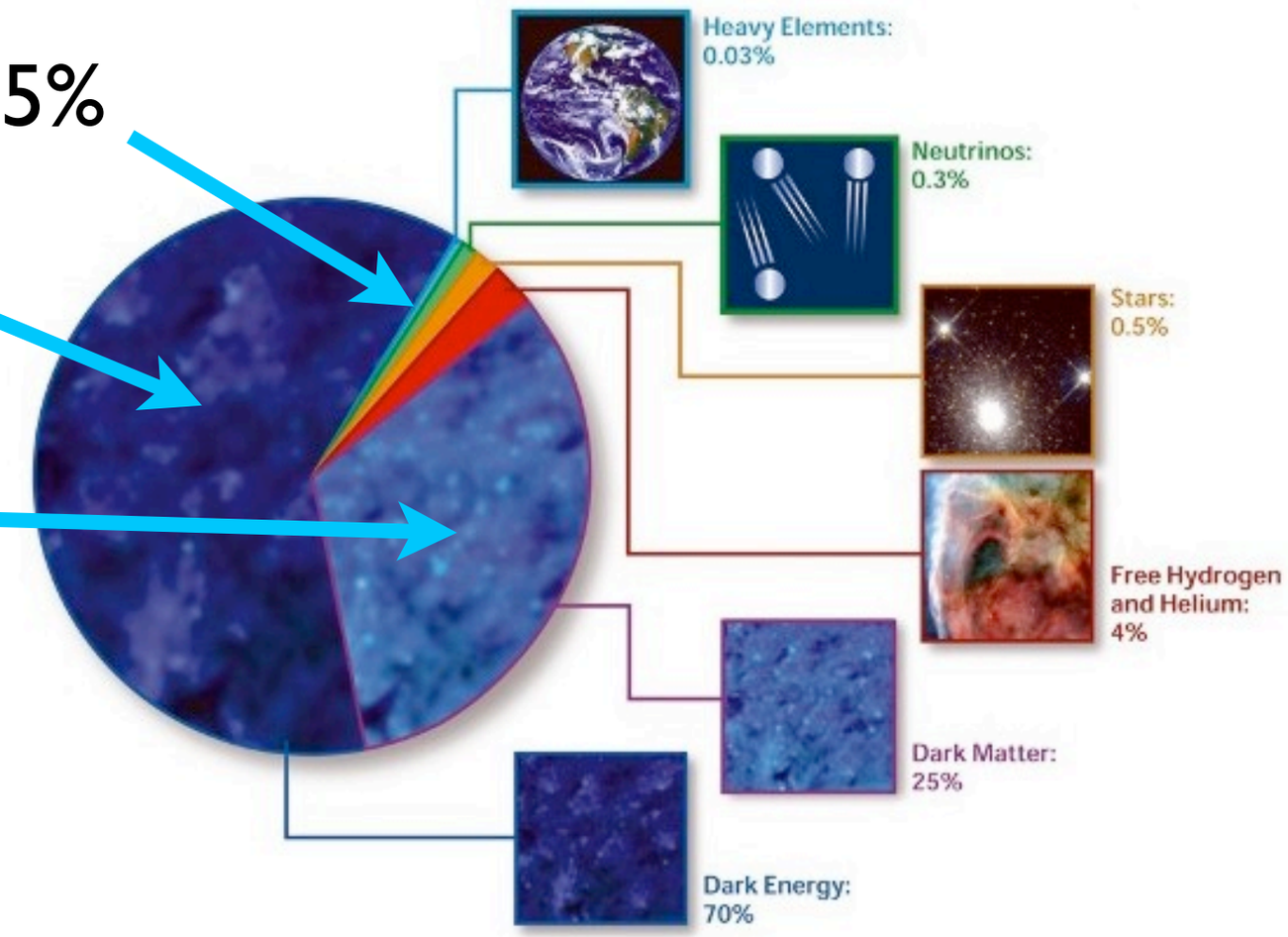
- Matière noire et détection
- Recherche indirecte de matière noire
- Galaxies naines et terme astrophysique J
- Simulation
- Détecteur ANTARES

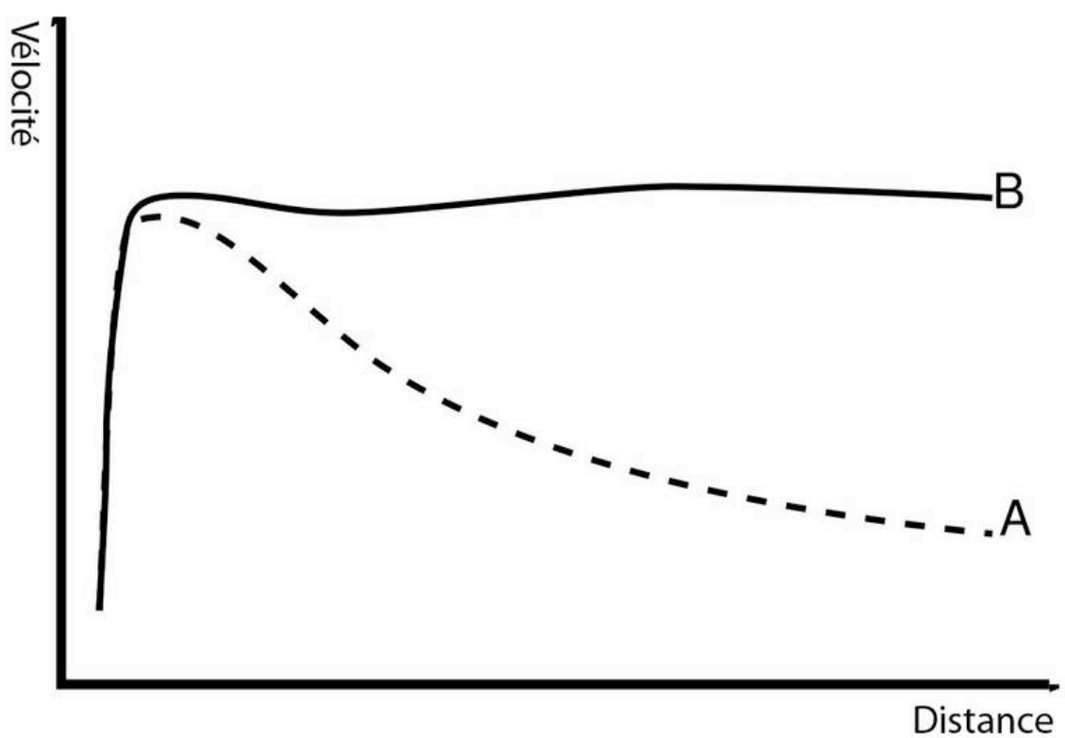
Matière noire

Matière baryonique : 5%

Energie noire : 75%

Matière noire : 20%



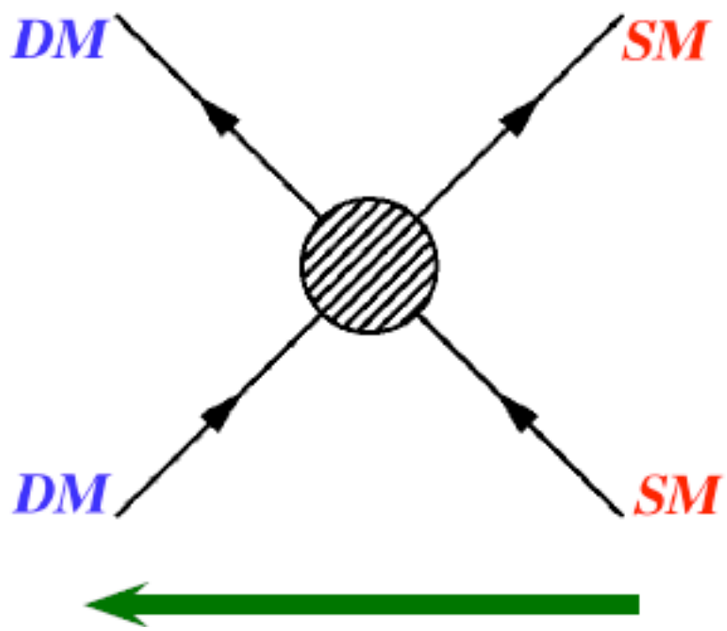


La vitesse des étoiles, preuve de l'existence de matière noire ?

Detection

Détection indirecte

Détection directe



Collisionneur

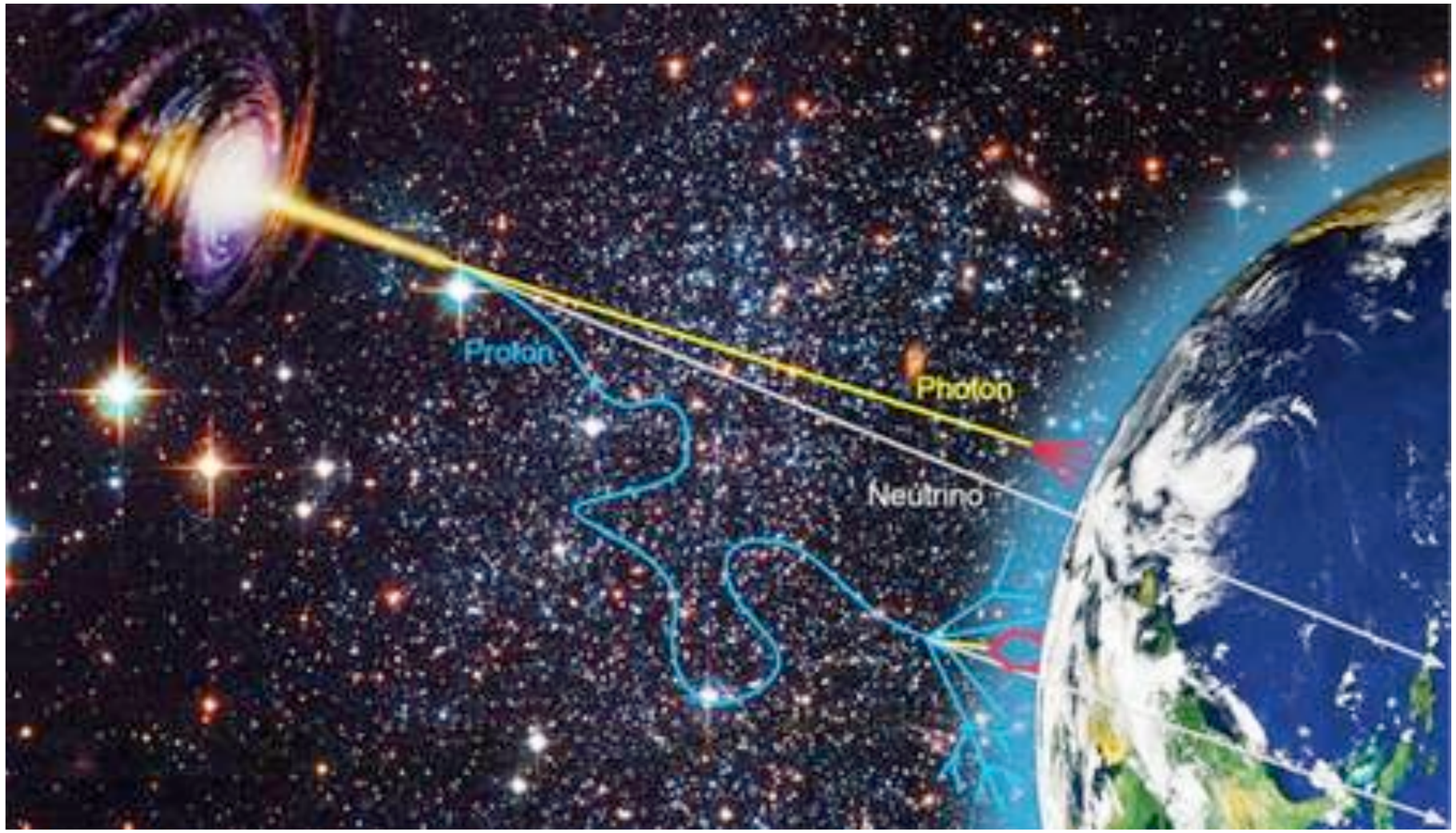
$$\frac{d\Phi}{dE}(E, \Delta\Omega) = \Phi^{pp}(E) J(\Delta\Omega)$$

Signal d'annihilation de matière noire

Terme de physique des particules

Terme astrophysique : facteur J

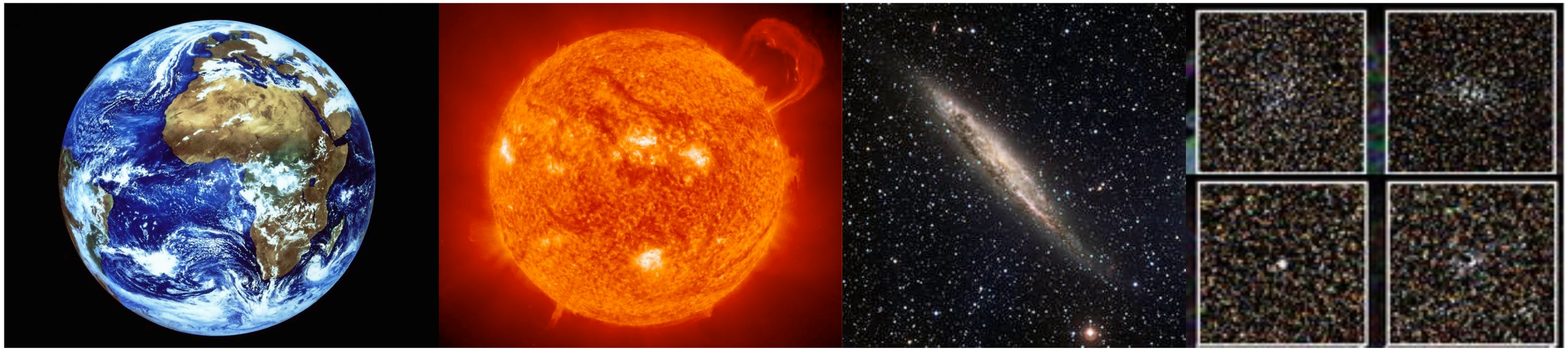
Messagers



Particules électriquement neutres : photons et neutrinos

- voyagent sur de longues distances
- conversent la direction de leur émission

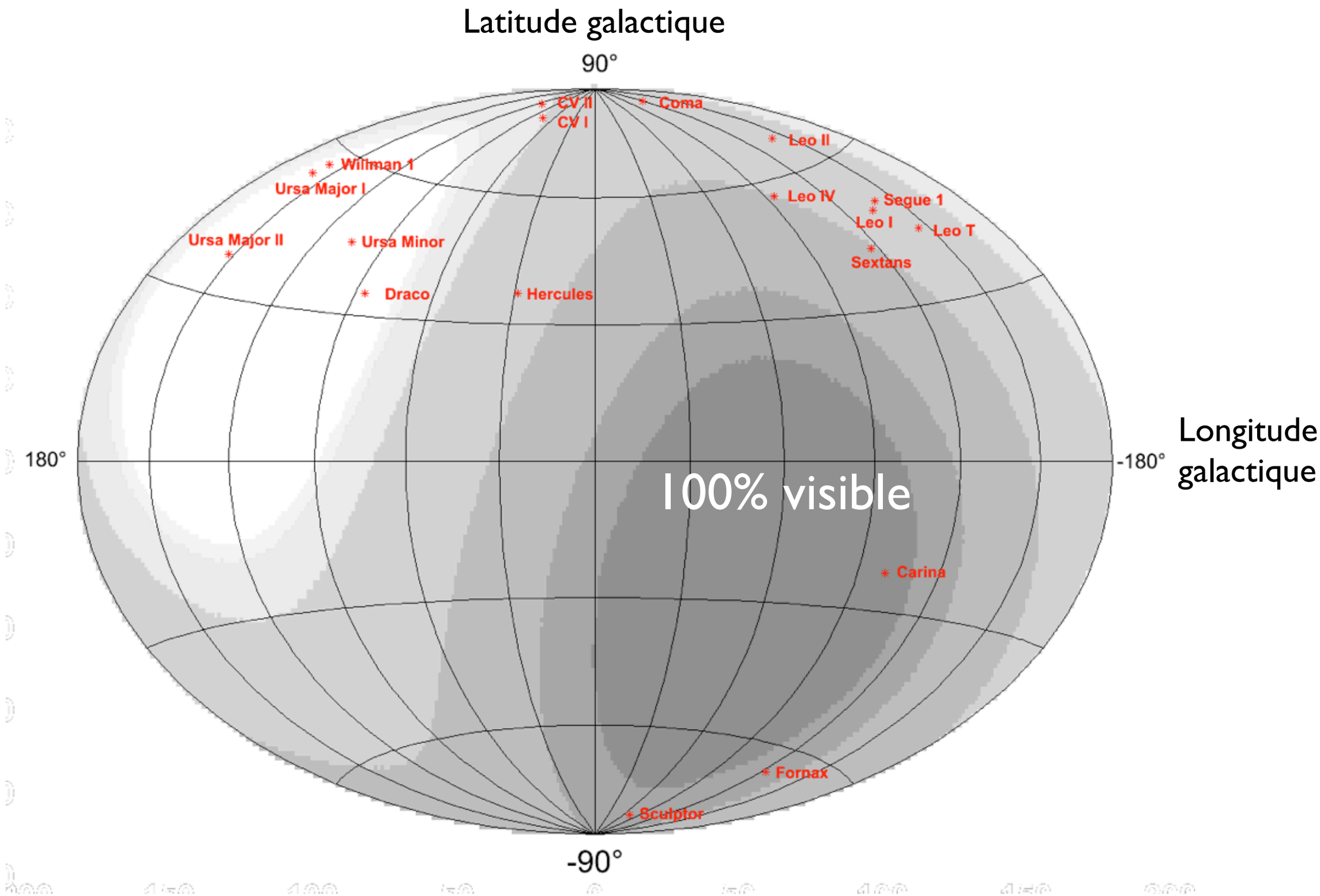
Sources observables dans l'espace



Sources de matière noire observable :

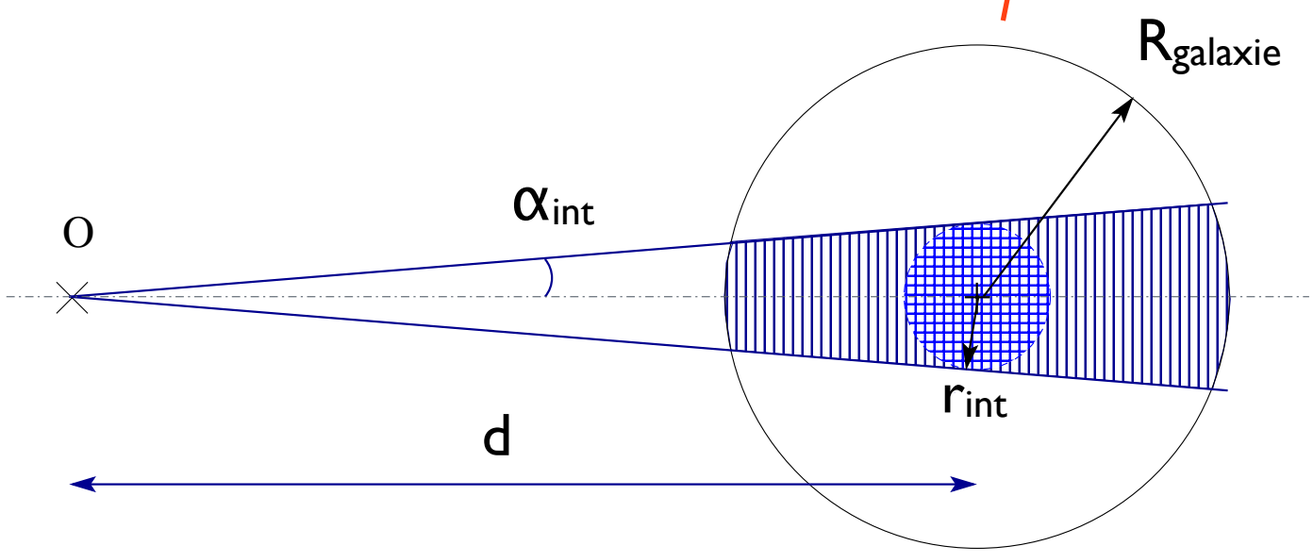
- la Terre
- le Soleil : source proche
- Centre de la Voie Lactée : forte concentration de matière noire
- Halo galactique de la Voie Lactée
- Galaxies naines : la plus forte proportion de matière noire parmi les objets célestes

Distribution des galaxies



Facteur J

$$\mathrm{J} = \int_{\Delta\Omega} \int \rho^2(\ell, \Omega) \mathrm{d}\ell \mathrm{d}\Omega$$



Profil de matière noire :

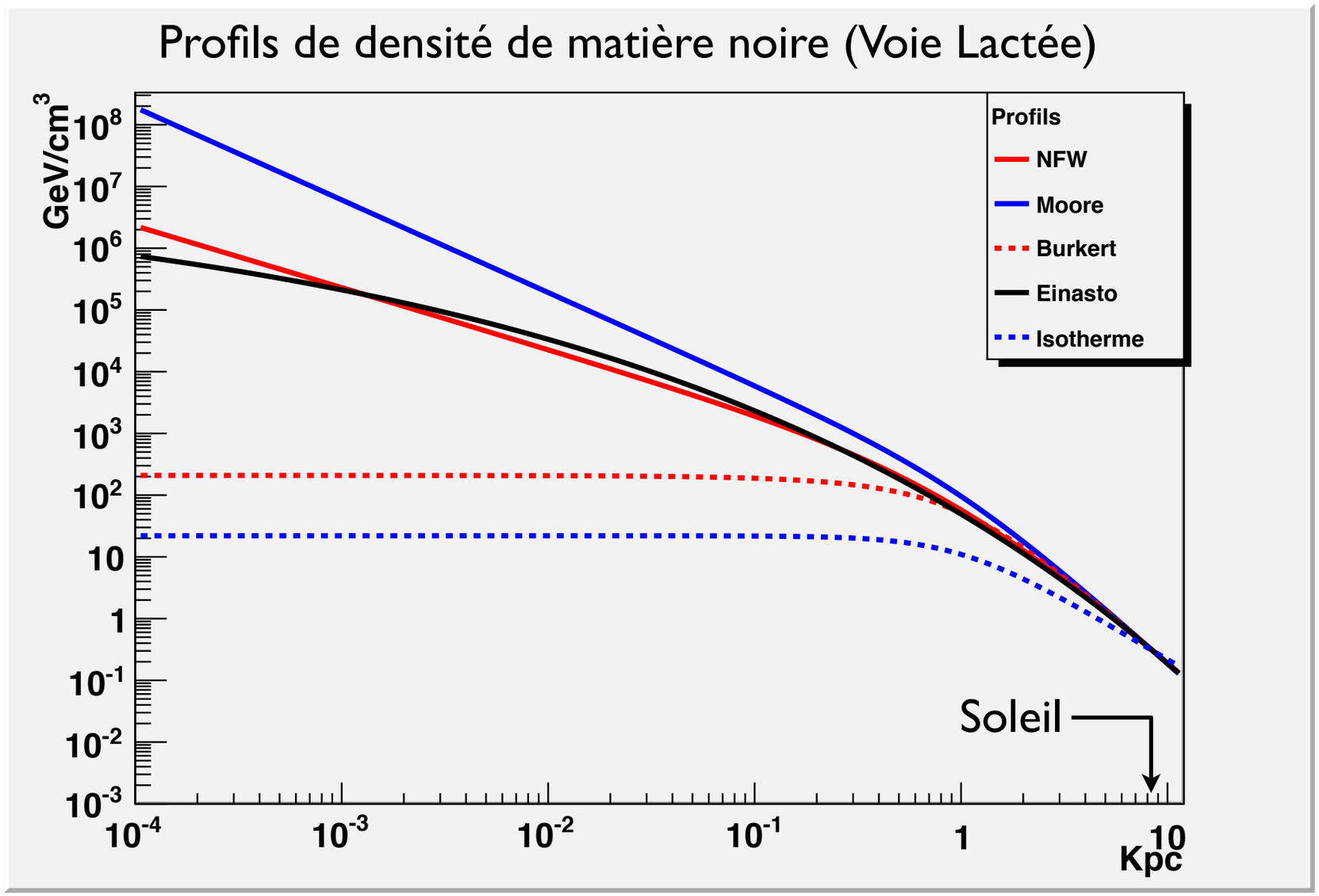
densité au carré (co-annihilation de matière noire) intégré sur un volume donné

→ **Quelle distribution de densité de matière noire ?**

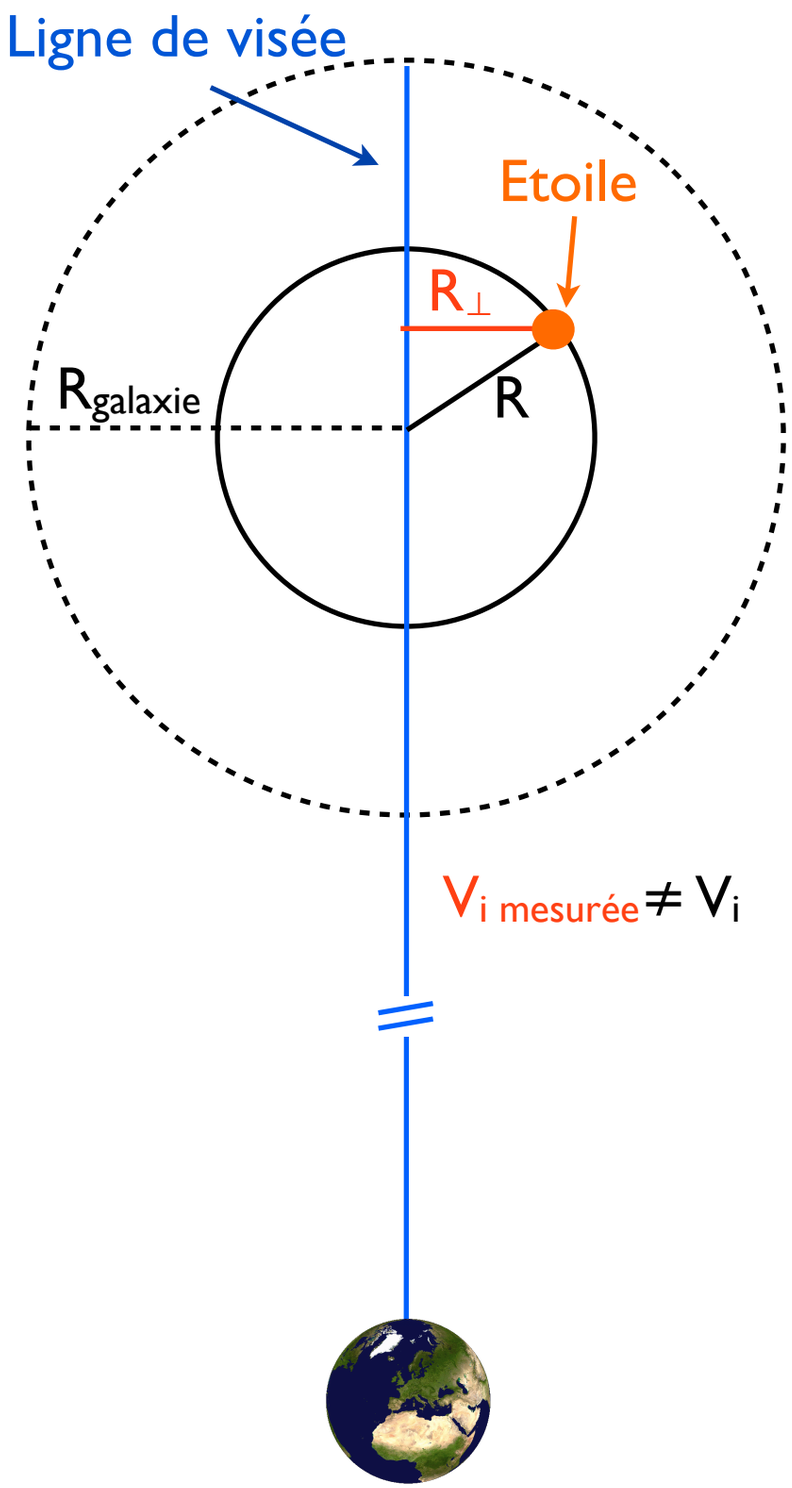
Profils de densité de matière noire

Théorie vs expérience

- Théorie (Simulation à N corps) : favorise les profils ayant une singularité à faible rayon,
- Expérience (dynamique des étoiles) : comportement indiquant un profil ayant un coeur de matière noire en son centre



Equation de Jeans



Equation de Jeans :

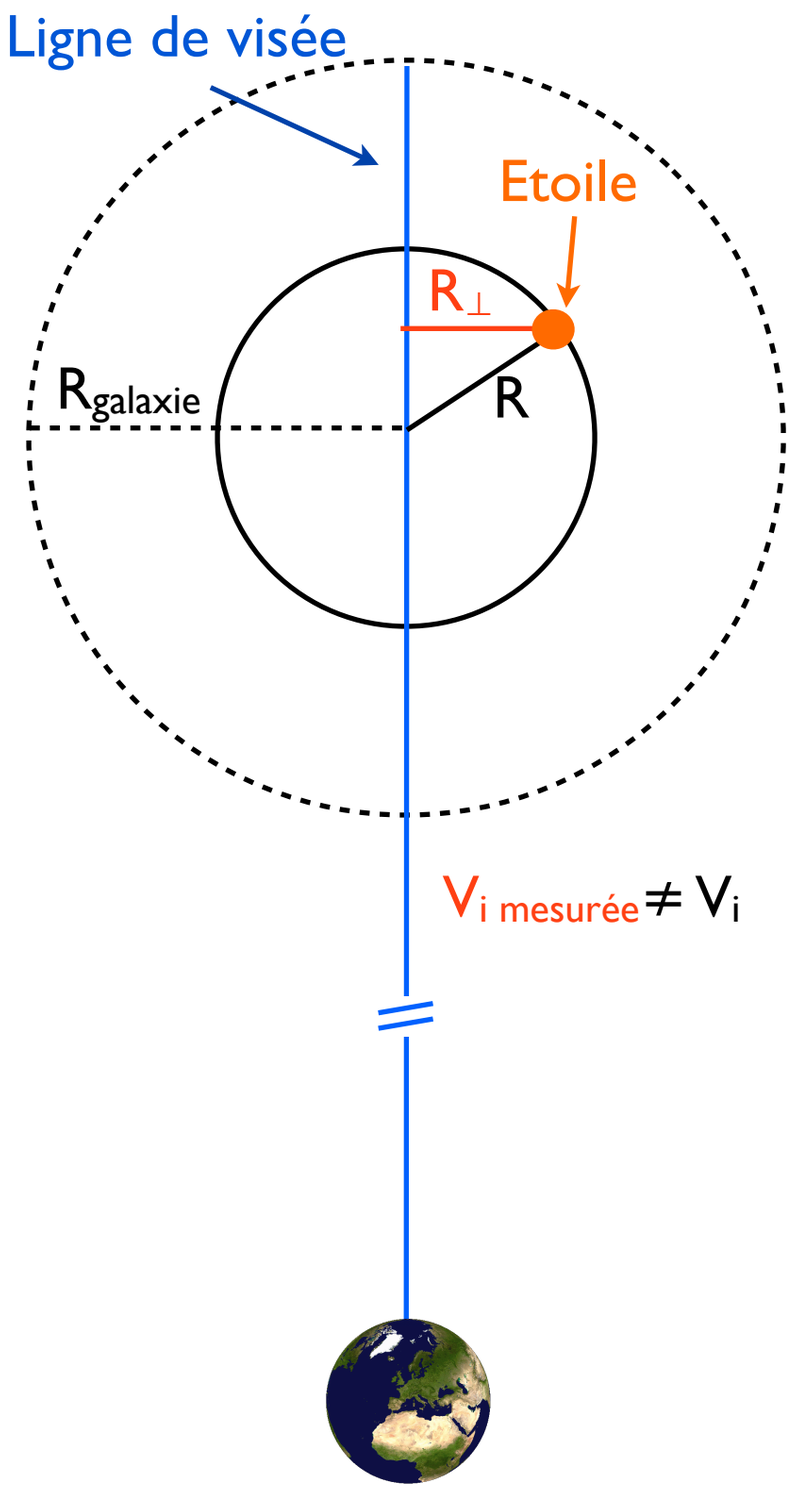
$$\frac{d(\nu(r)\bar{v}_r^2)}{dr} + 2\frac{\beta(r)}{r}\nu(r)\bar{v}_r^2 + \nu(r)\frac{d\phi(r)}{dr} = 0$$

$\nu(r)$ la densité stellaire tri-dimensionnelle
$\bar{v}_r^2$ la dispersion radiale des vitesses
$\beta(r) = 1 - \frac{\bar{v}_\theta^2}{\bar{v}_r^2}$ terme d'anisotropie des vitesses
$\phi(r) = G\frac{M(r)}{r}$ potentiel gravitationnel

Résolution de l'équation de Jeans puis projection de la solution sur la ligne de visée

$$\sigma_{los}^2(R) = \frac{2}{I(R)}\int_R^\infty \left(1 - \beta\frac{R^2}{r^2}\right)\frac{\nu(r)\bar{v}_r^2 r}{\sqrt{r^2 - R^2}}dr$$

Utilisation des mesures sur les étoiles

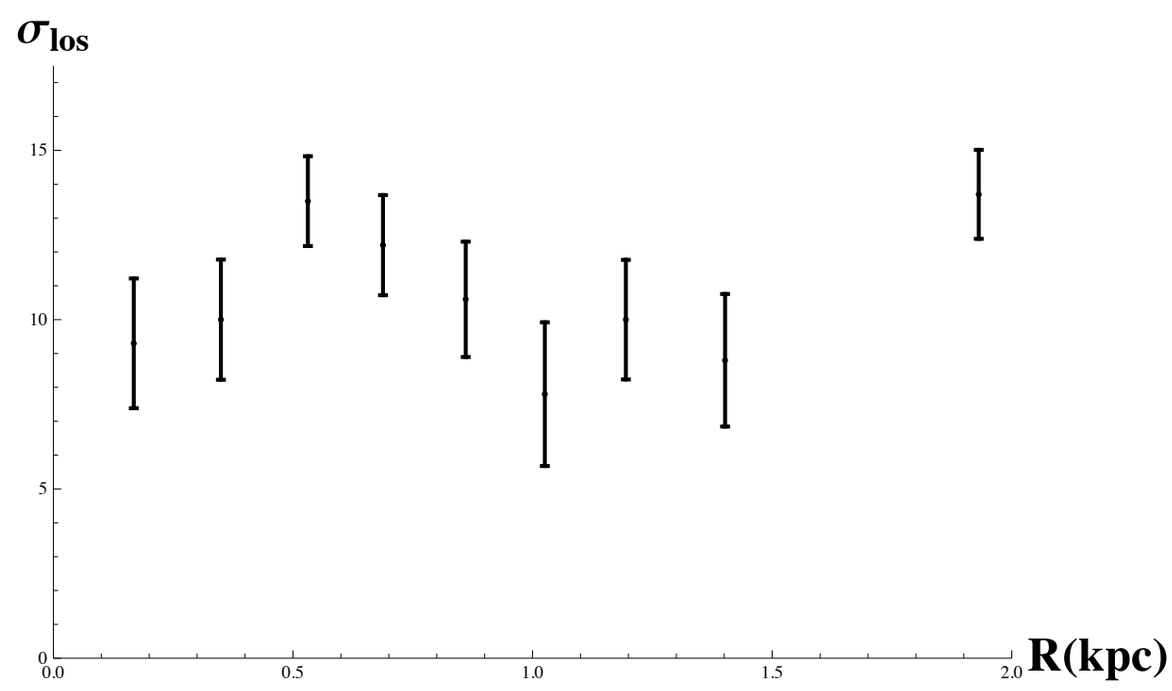


Estimation de l'incertitude dû à la ligne de visée :

$$L(v_1, ..., v_n) = \prod_{i=1}^{n} \frac{1}{\sqrt{2\pi(\sigma_i^2+\sigma_{los}^2)}} e^{\left[-\frac{1}{2}\frac{(v_i-\langle u\rangle)^2}{(\sigma_i^2+\sigma_{los}^2)}\right]}$$

Incertitudes :

- sur la mesure
- dû à la ligne de visée



Comparaison entre σ_{los} calculé et attendu

Résultats profil NFW

$$\rho(r) = \rho_s \left(\frac{r}{r_s}\right)^{-1} \left(1 + \frac{r}{r_s}\right)^{-2}$$

ρ_s : densité caractéristique

r_s : rayon d'échelle

Galaxies	β	$r_s(pc)$	ρ_s ($M_\odot$ kpc^{-3})	B
Fornax	**-0.5**	622	5.16×10^8	6.16
	-1	355	1.52×10^9	6.60
Carina	1	> 2000	5.38×10^5	151.8
	0	1026	1.41×10^6	29.40
	-0.5	772	2.21×10^6	27.82
	-1	652	2.92×10^6	29.27
	-2	524	4.20×10^6	33.33
Sculptor	-0.5	1226	2.98×10^6	15.63
	-1	678	7.08×10^6	15.55
	-3	253	3.69×10^7	19.84
	-4	200	5.70×10^7	21.29
	-5	170	7.78×10^7	22.32
Sextans	0	> 2000	3.15×10^7	77.48
	-1	190	2.33×10^9	71.41
	-2	79	1.73×10^10	71.96
	-3	39	9.57×10^10	71.07
	-4	27	2.45×10^11	71.00

Obtention des valeurs optimales des paramètres du profil de matière noire :

$$L(\sigma_{att,1}, \ldots, \sigma_{att,n}) = \prod_{i=1}^{n} exp\left[-\frac{1}{2}\frac{(\sigma_{cal,i} - \sigma_{att,i})^2}{\sigma^2_{cal_{inc},i}}\right]$$

Physique des particules

moyenne de la section efficace d'auto-annihilation de la matière noire multipliée par la distribution de sa vitesse

$\sim 3 \times 10^{-26} cm^3 s^{-1}$

$$\Phi^{pp}(E_\nu) = \frac{\mathrm{d}\Phi_\nu}{\mathrm{dE}_\nu} = \frac{1}{4\pi} \frac{<\sigma_{ann} v>}{2m_\chi^2} \frac{\mathrm{dN}_\nu}{\mathrm{dE}_\nu}$$

Telescope à neutrinos → large balayage de masses

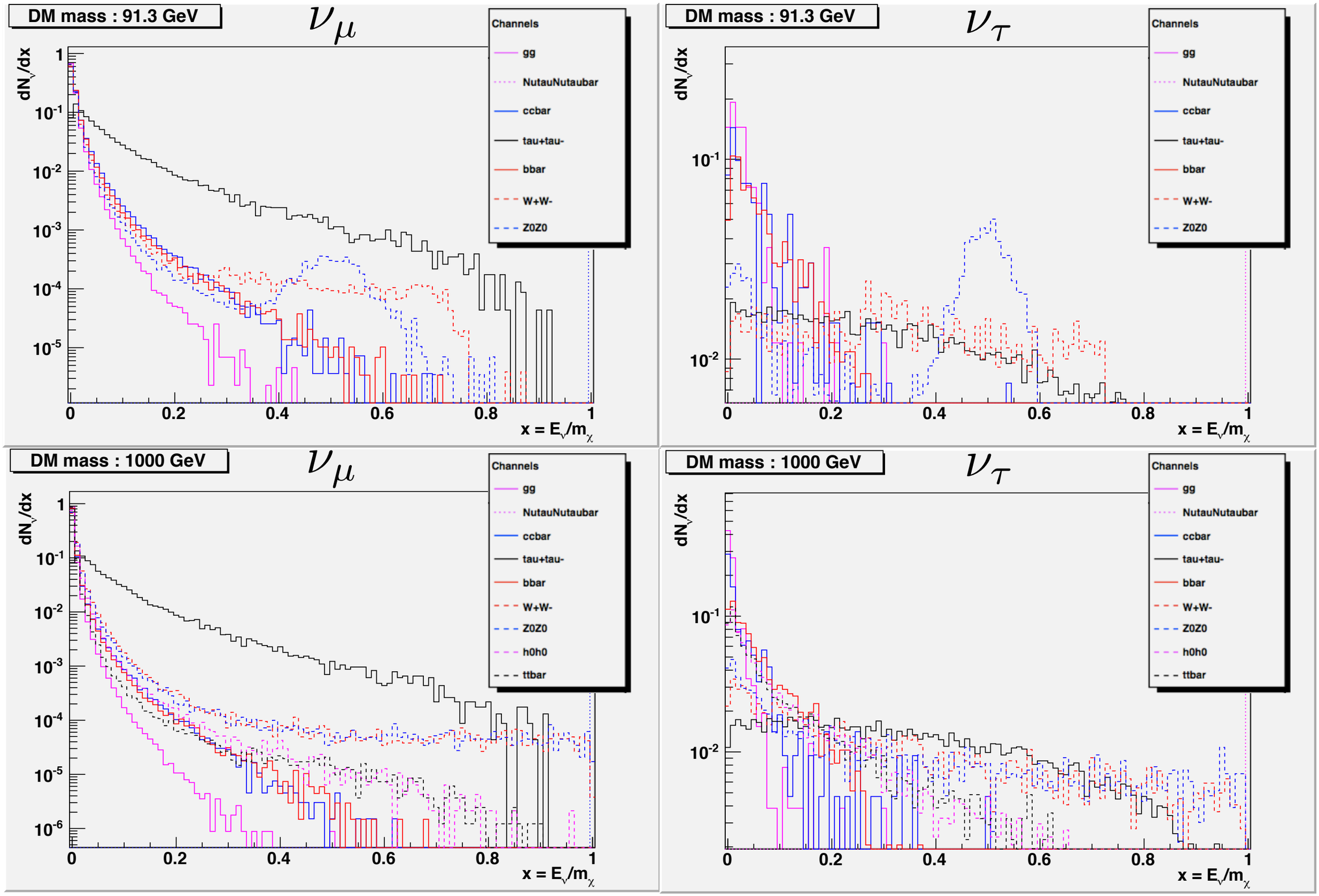
masses génériques : 10, 25, 50, 100, 150, 200, 250, 350, 500, 750 GeV/c^2 et 1, 1.5, 2, 3, 5, 10 TeV/c^2
masses du W, Z et quark t : 80.3, 91.5, 176 GeV/c^2
hypothèse autour du boson de Higgs : 125 GeV/c^2
analyse indépendante des données de Fermi : 130 GeV/c^2 (arXiv:1203.1312)

spectre différentiel de neutrinos

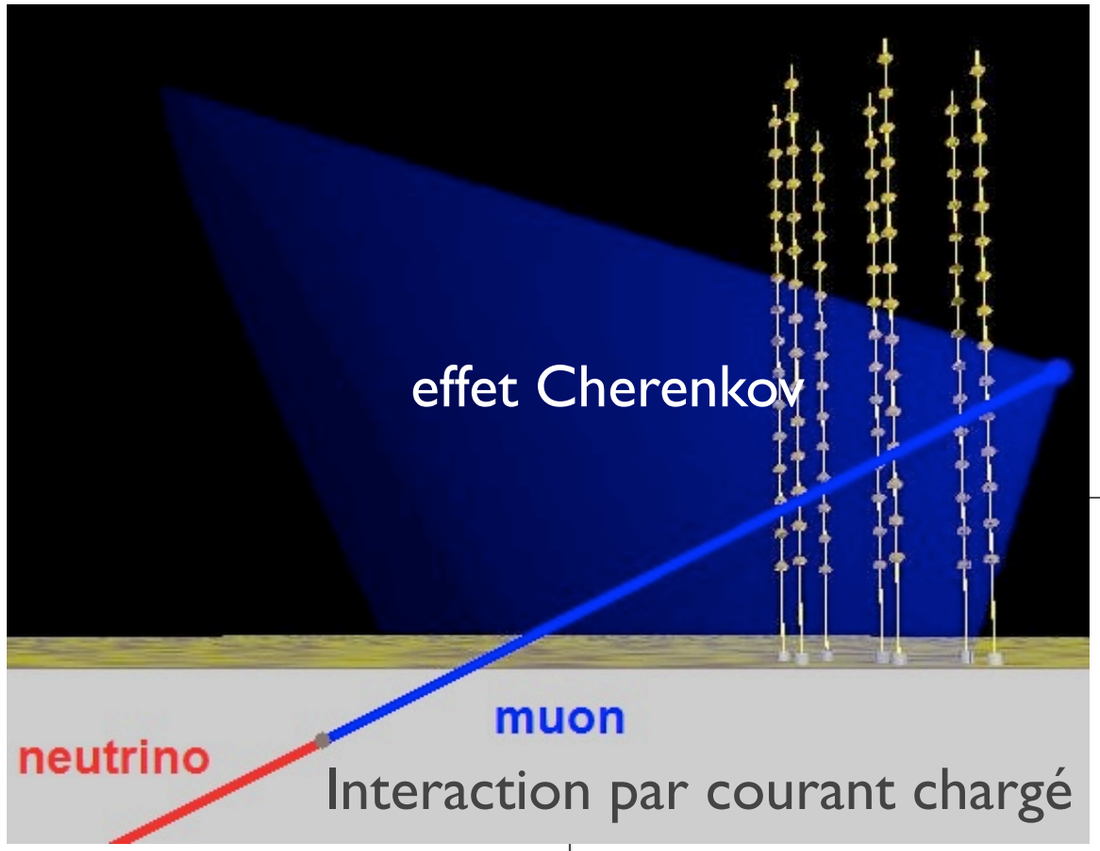
Recherche indirecte → indépendant du modèle

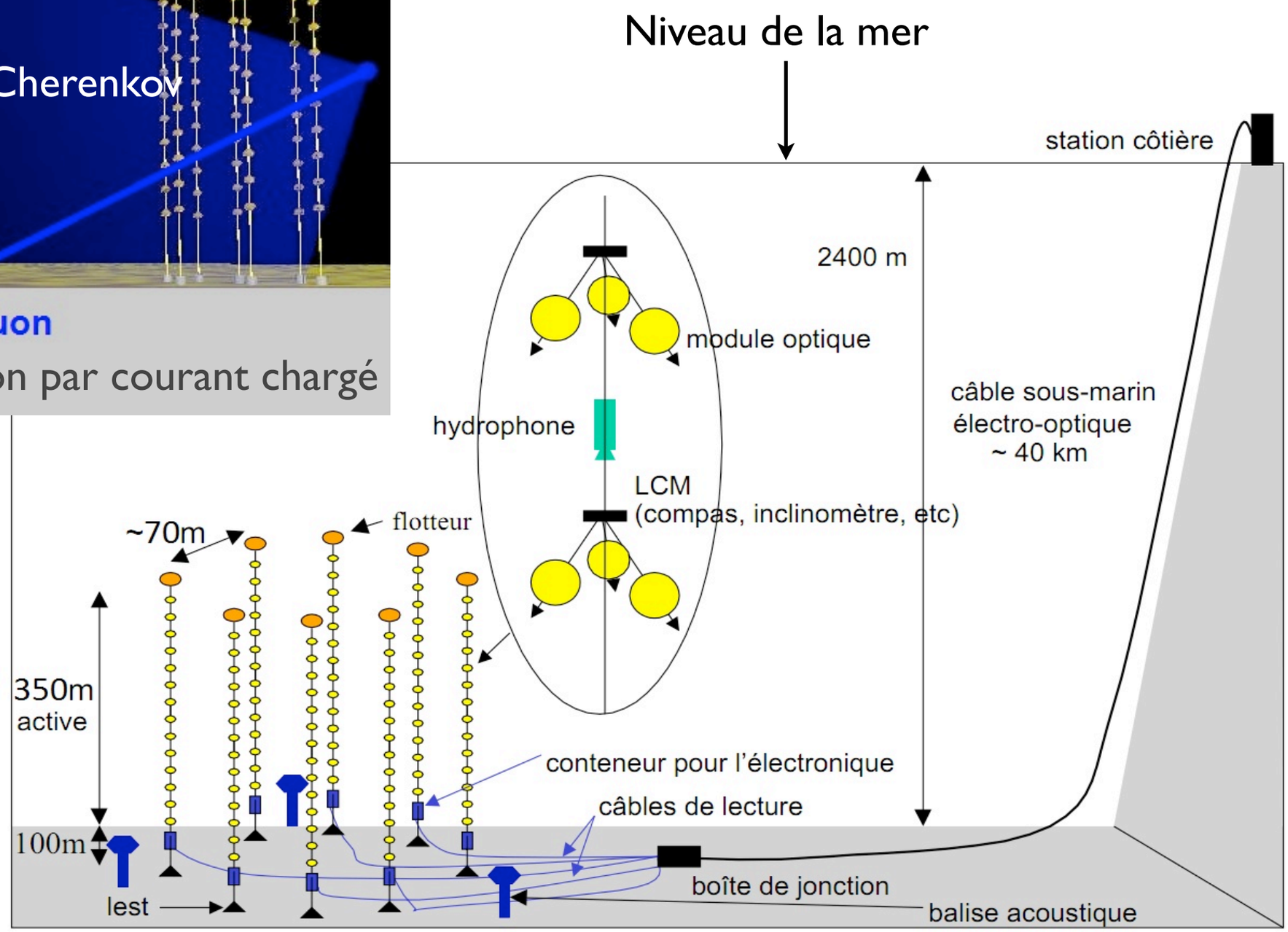
Canaux considérés :
neutrinos primaires : $\nu_e\bar{\nu}_e, \nu_\mu\bar{\nu}_\mu, \nu_\tau\bar{\nu}_\tau$
bosons : W^+W^-, ZZ, hh, gg
quarks : $b\bar{b}, c\bar{c}, t\bar{t}$
leptons : $\tau^+\tau^-$

Spectres des neutrinos dans la galaxie



Télescope à neutrinos ANTARES





Conclusion

Galaxie naine : source pure mais modélisation complexe

➡ améliorer notre compréhension des galaxies naines

Recherche indirecte : tous les canaux peuvent être observés

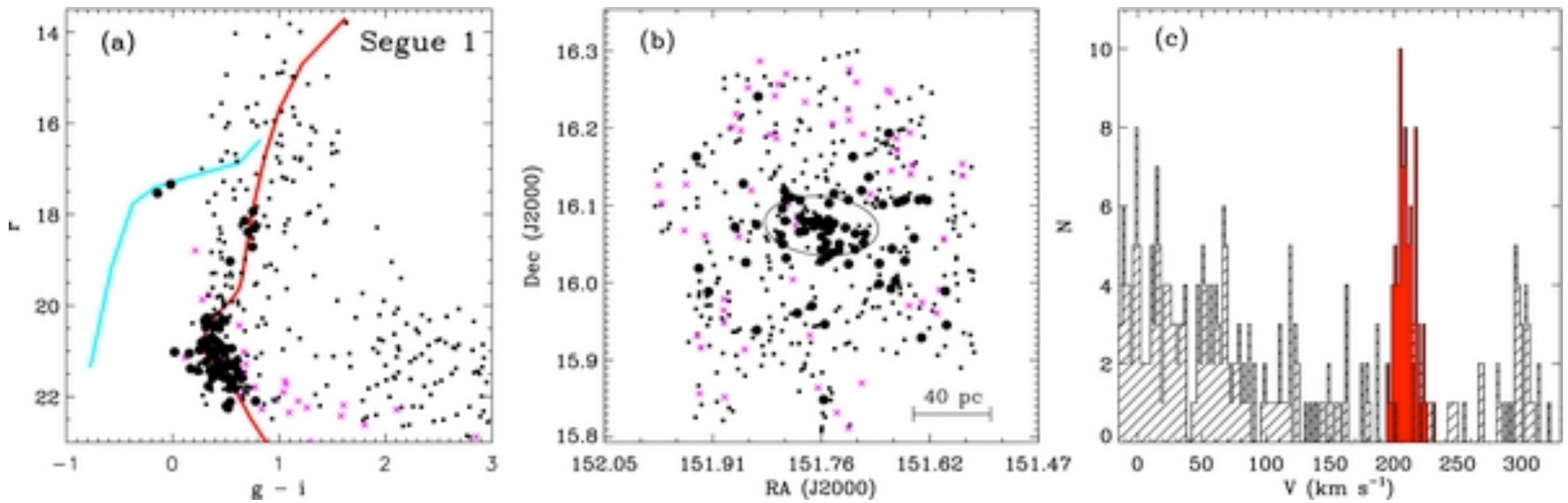
Neutrinos : traverse de longue distance mais bruit de fond élevé

➡ sélectionner un modèle pour contraindre l'analyse

Backup

Appartenance des étoiles à une galaxie

Segue 1



Identification des étoiles appartenant à une galaxie :

- température et luminosité (diagramme de Hertzsprung-Russell)
- métallicité
- distance au centre et vitesse de rotation

→ **Proportion d'étoiles dites «membres» plus ou moins importante en fonction de la quantité d'étoiles / qualité des données souhaitée**

Interactions des neutrinos

Galaxie naine ⟶ Terre

Matrice PMNS

$$\begin{pmatrix} \nu_e \\ \nu_\mu \\ \nu_\tau \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} U_{e1} & U_{e2} & U_{e3} \\ U_{\mu 1} & U_{\mu 2} & U_{\mu 3} \\ U_{\tau 1} & U_{\tau 2} & U_{\tau 3} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \nu_1 \\ \nu_2 \\ \nu_3 \end{pmatrix}$$

En prenant en compte :

- 3 saveurs de neutrinos
- neutrinos particules de Dirac
- absence de violation de CP

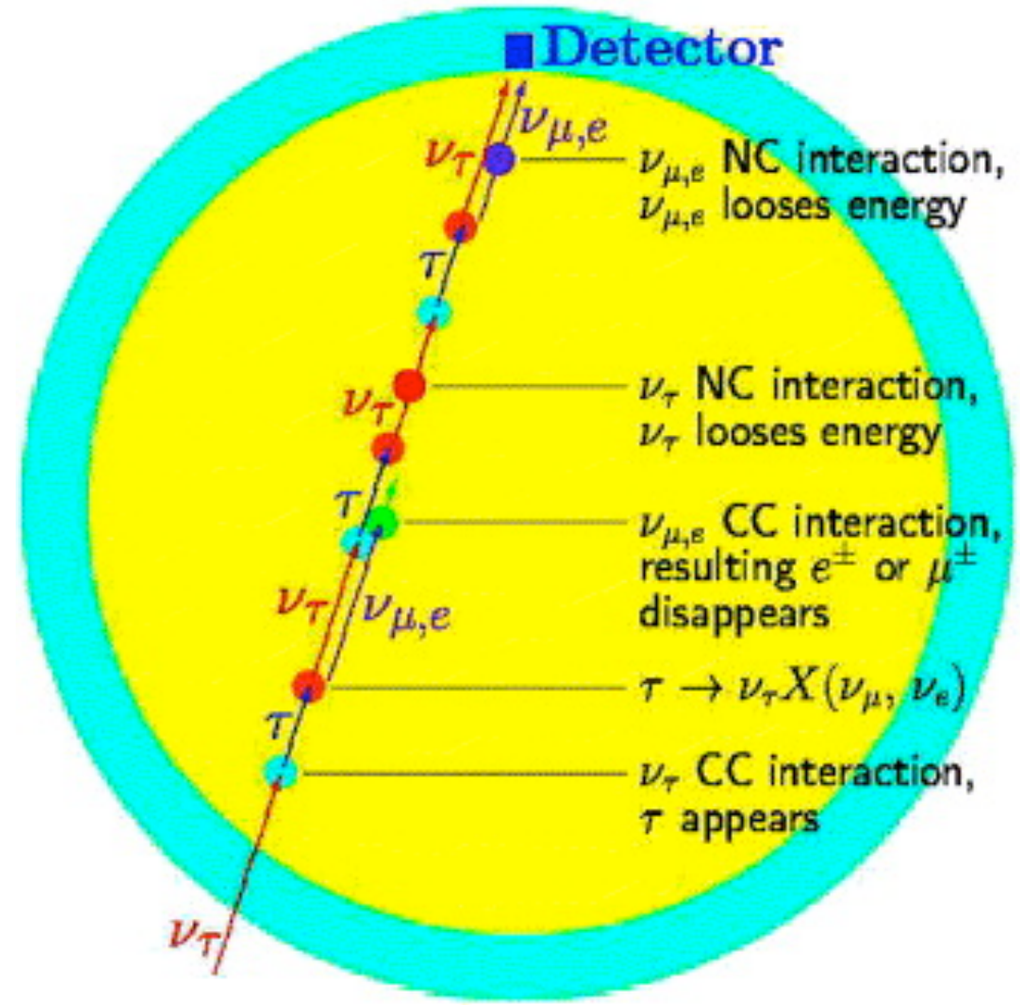
Matrice de probabilité

$$P(\nu_l \to \nu_l') = \sum_{j=1}^{3} |U_{l'j}|^2 |U_{lj}|^2$$

Ce qui nous donne ici :

$$\begin{pmatrix} \nu_e \\ \nu_\mu \\ \nu_\tau \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.60 & 0.25 & 0.15 \\ 0.25 & 0.35 & 0.40 \\ 0.15 & 0.40 & 0.45 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \nu_e \\ \nu_\mu \\ \nu_\tau \end{pmatrix}$$

Traversée de la Terre



- oscillations dans la matière
- interaction par CC
- interaction par CN
- distance traversée
- énergie du neutrinos