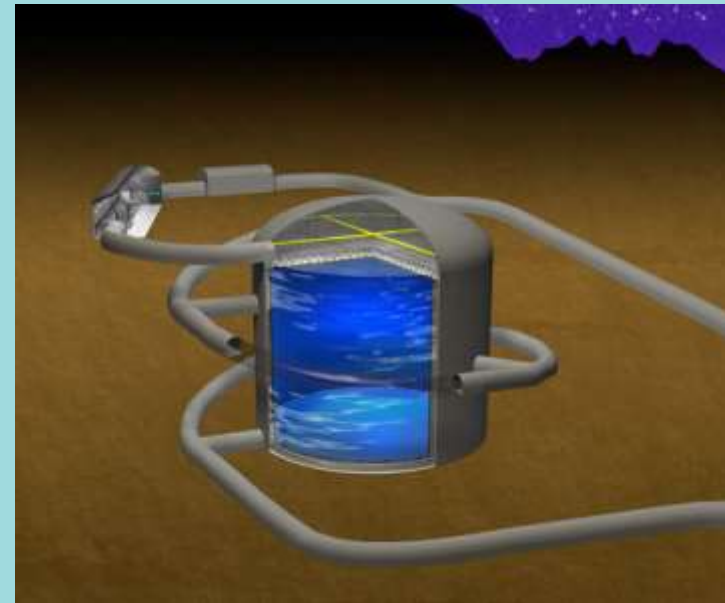




LPNHE
PARIS

Préparation de la reconstruction pour HK

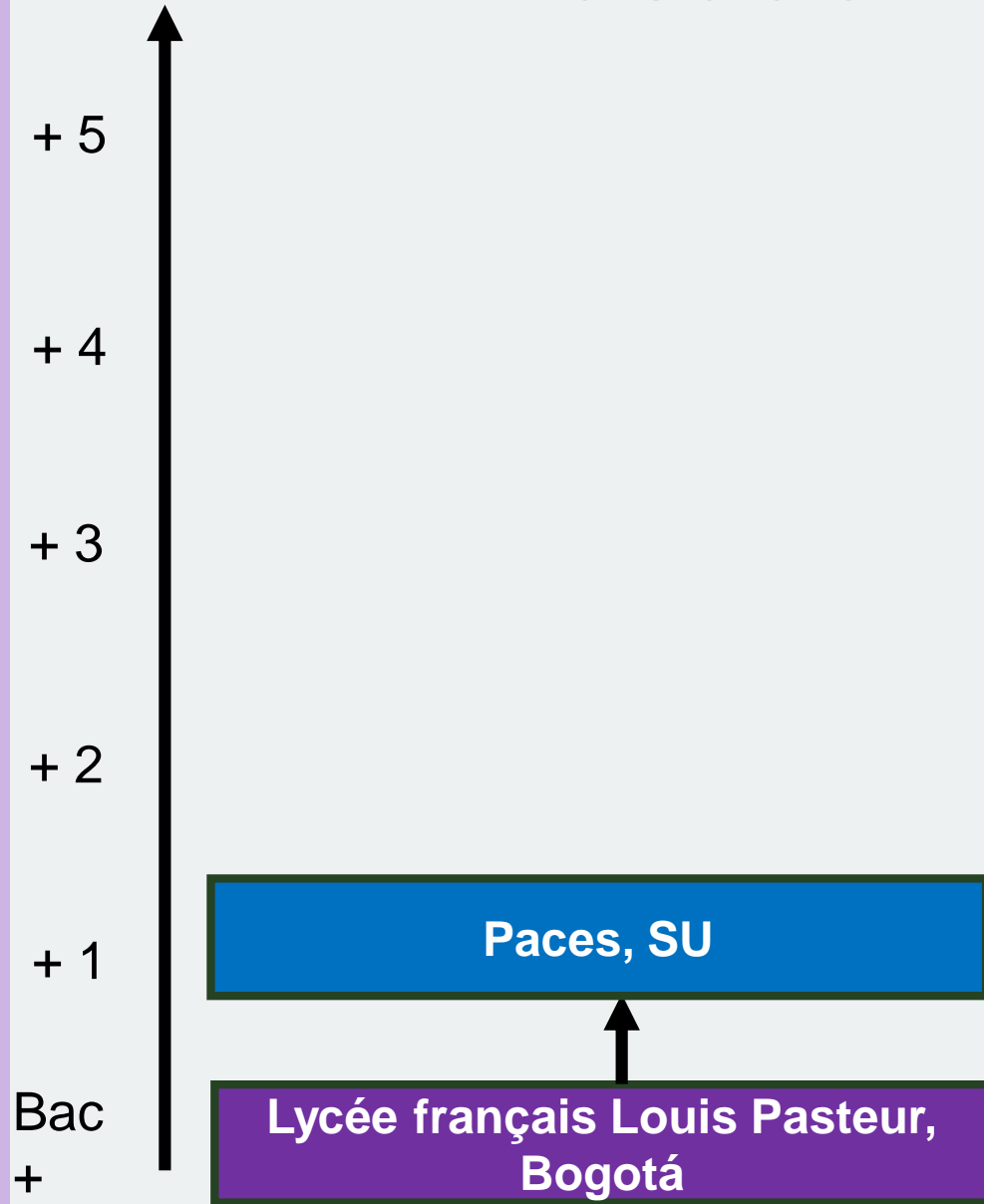
Lorenzo RESTREPO ORRANTIA



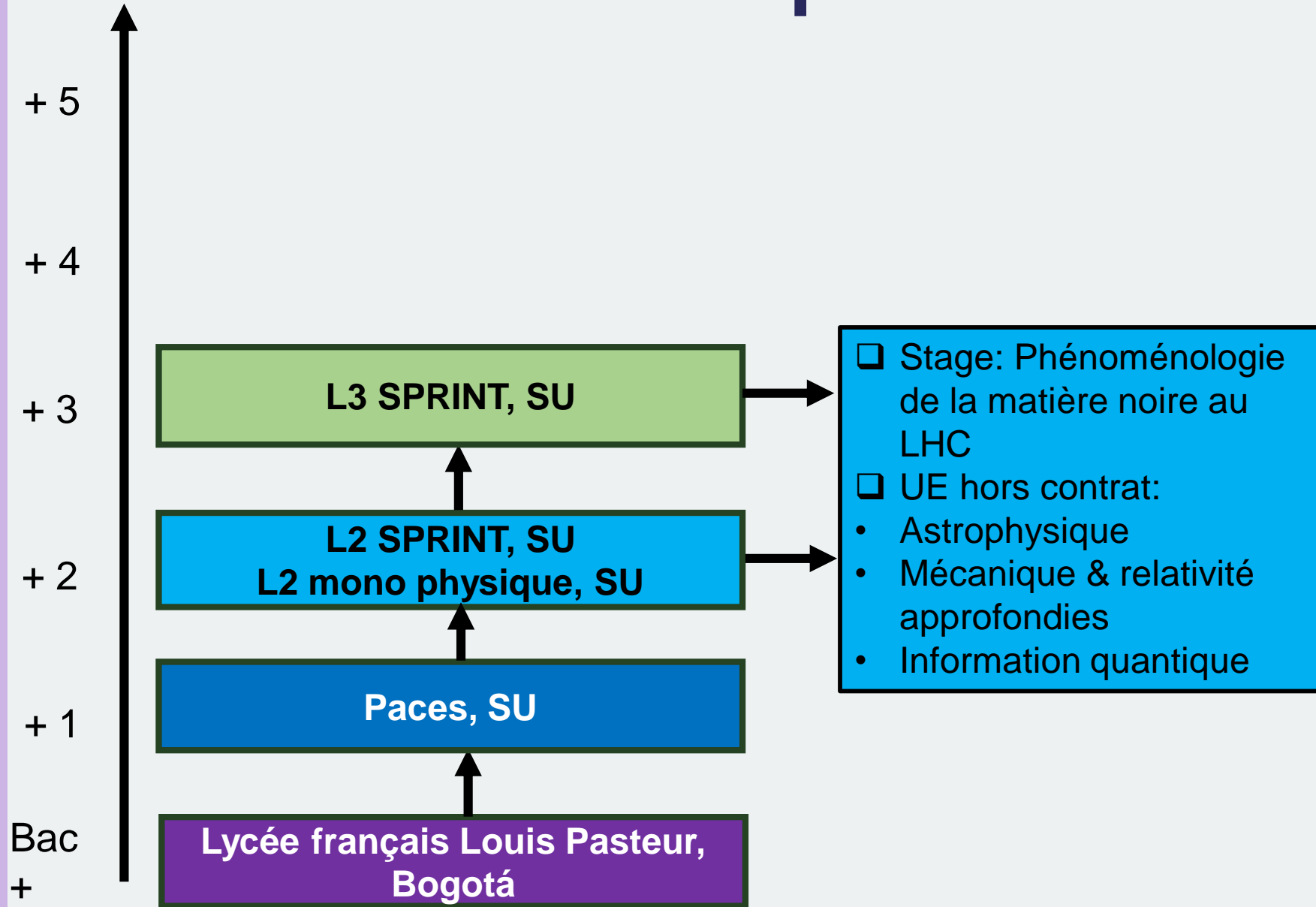
Plan de la présentation

- ❑ Parcours académique
- ❑ Stage de M1
- ❑ Stage de M2 & sujet de thèse
 - La physique des neutrinos
 - Super-Kamiokande
 - Hyper-Kamiokande
 - Reconstruction de vertex
- ❑ Conclusion

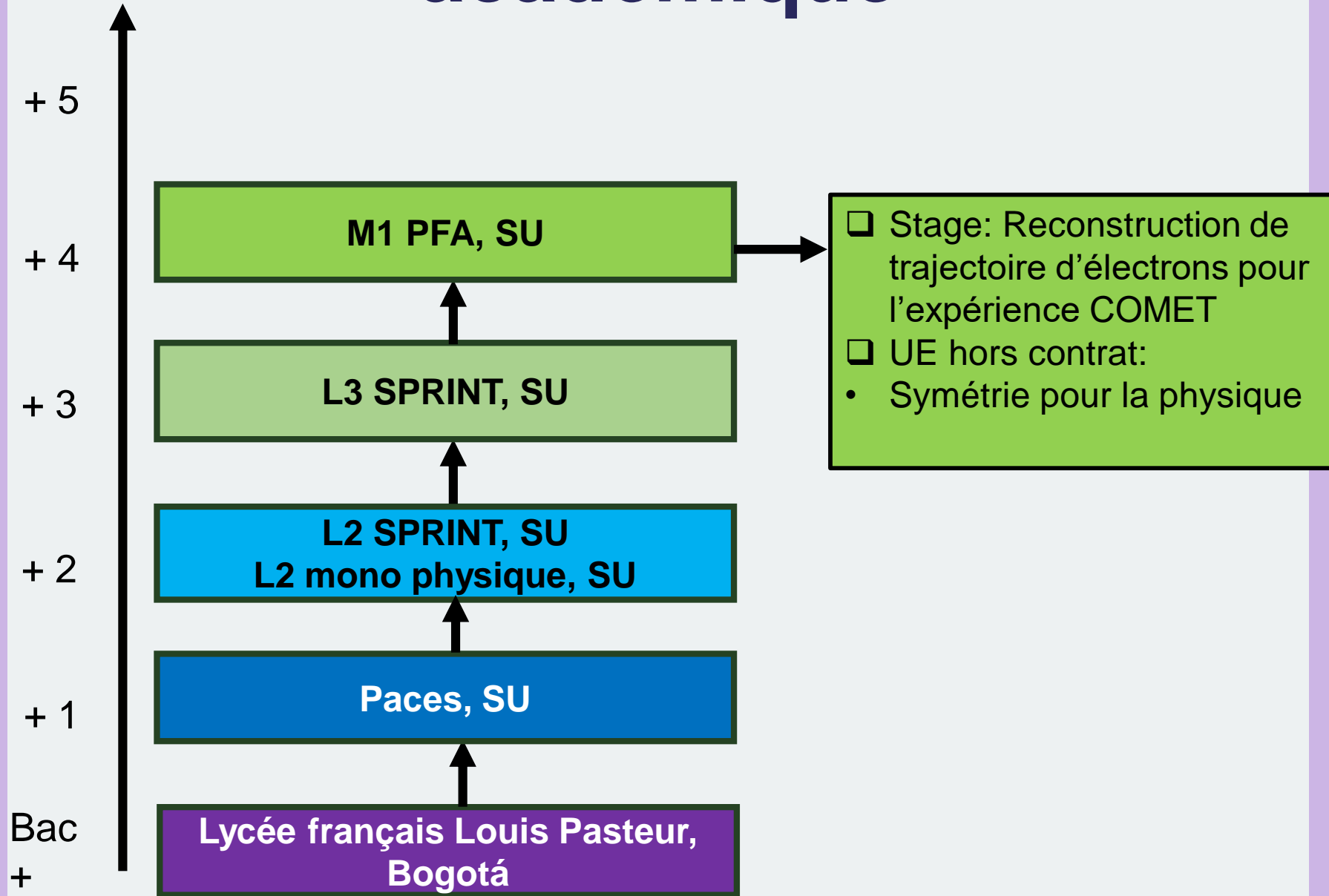
Parcours académique



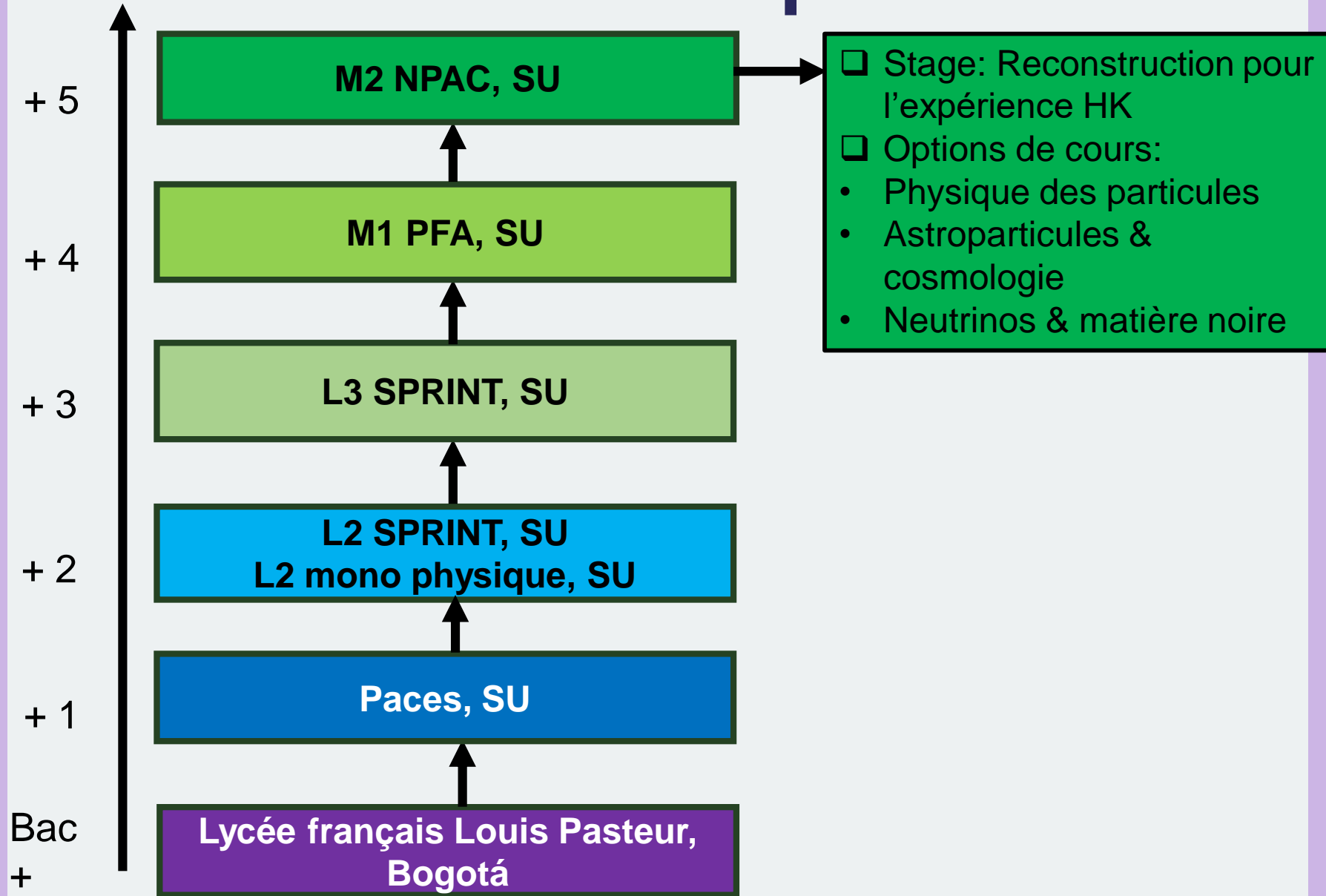
Parcours académique



Parcours académique



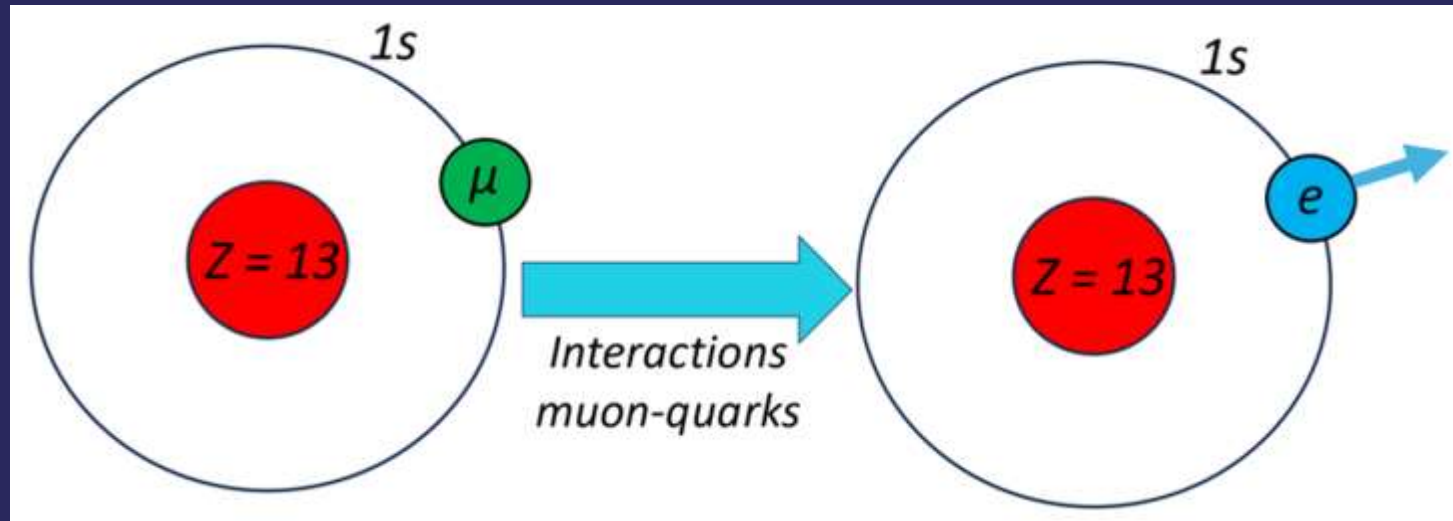
Parcours académique





Stage de M1: expérience COMET

- ❑ Conversion de muon à électron sans production de neutrinos \longrightarrow Nouvelle physique ?



$$\Delta L_e = 1$$
$$\Delta L_\mu = -1$$

- ❑ La mesure précise de l'énergie de l'électron est fondamentale
- ❑ Système de détection: chambre à dérives cylindrique

Reconstruction de trajectoire d'électrons

Modélisation du champ magnétique B_r et B_z



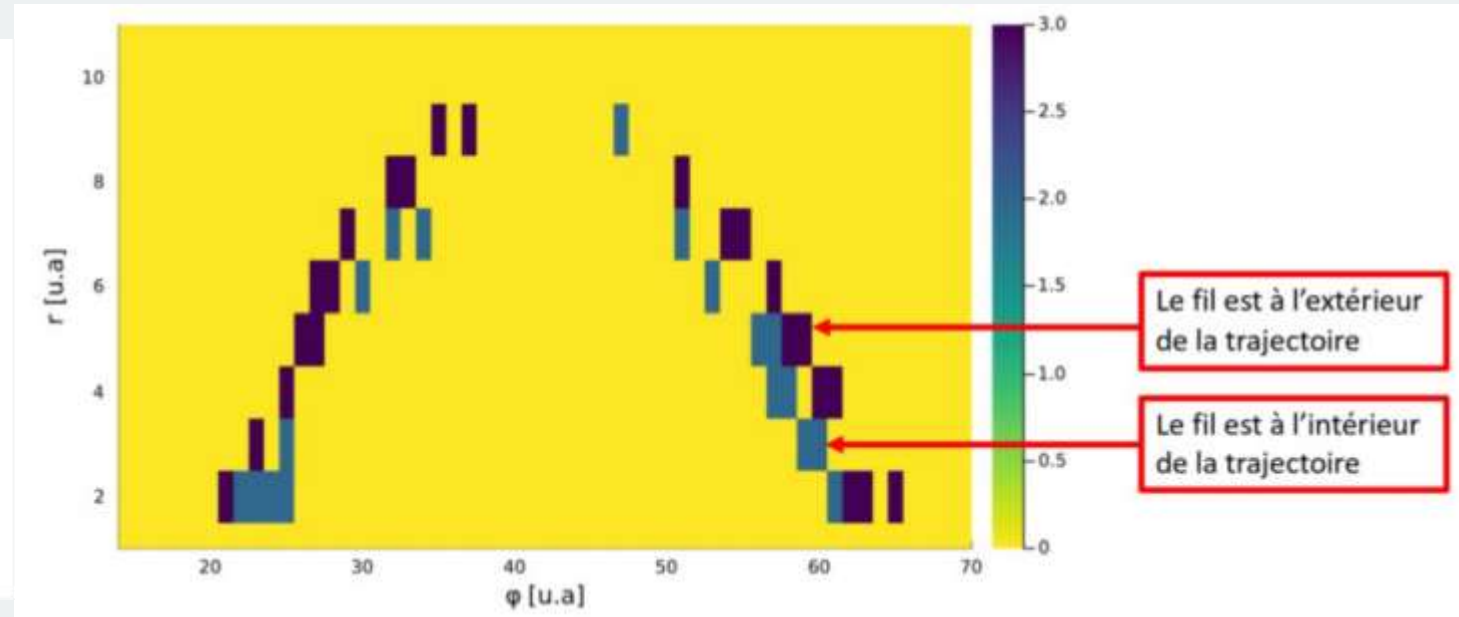
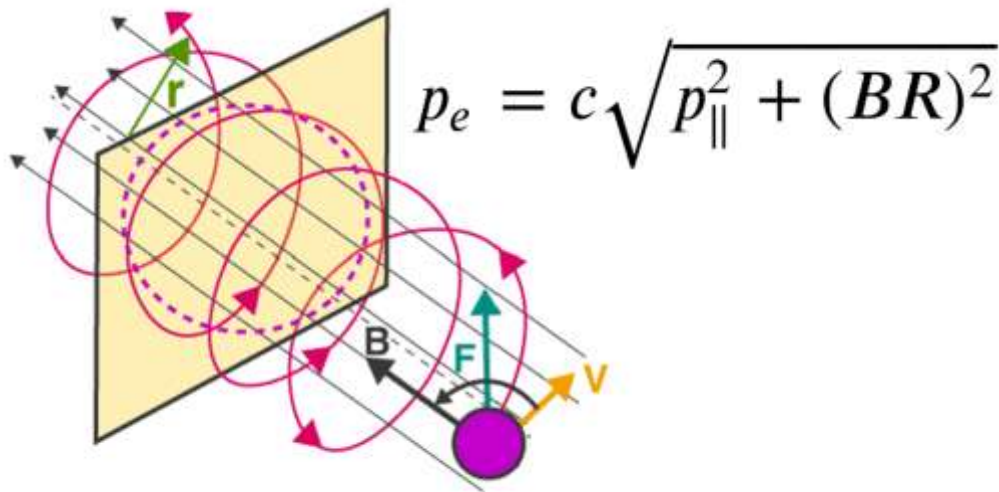
Simulation de trajectoires



Entraînement d'un réseau de neurones



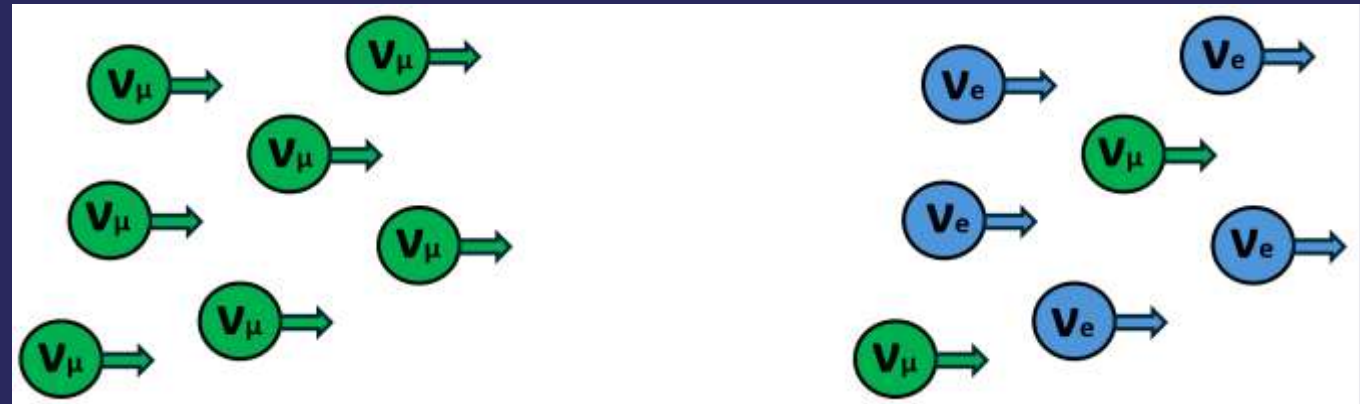
Reconstruction



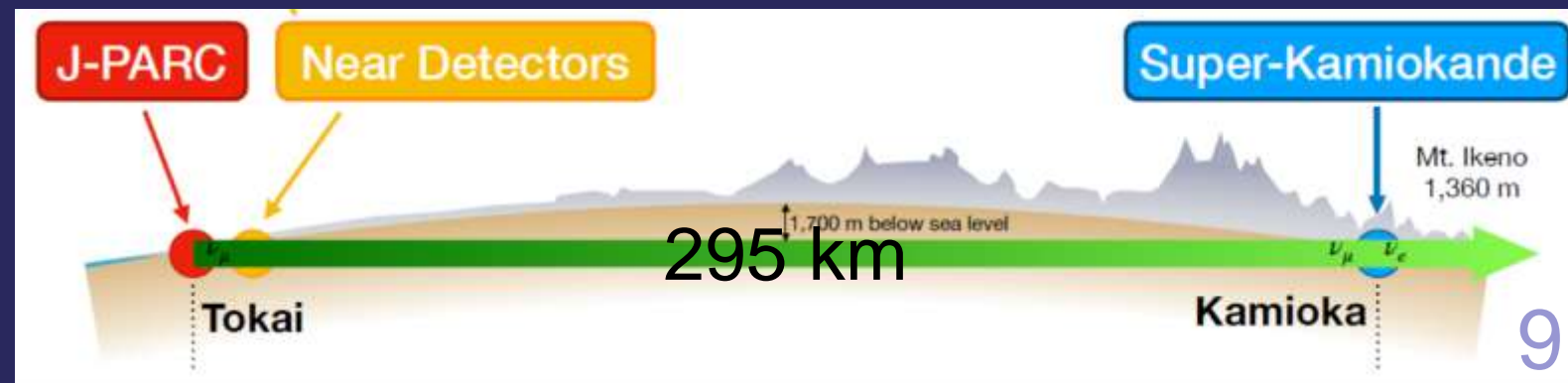
La physique des neutrinos

- Neutrinos = Particules élémentaires du Modèle Standard
- Trois types (saveurs): ν_e ν_μ ν_τ

- Oscillation des neutrinos
→ Seule évidence de physique au-delà du Modèle Standard



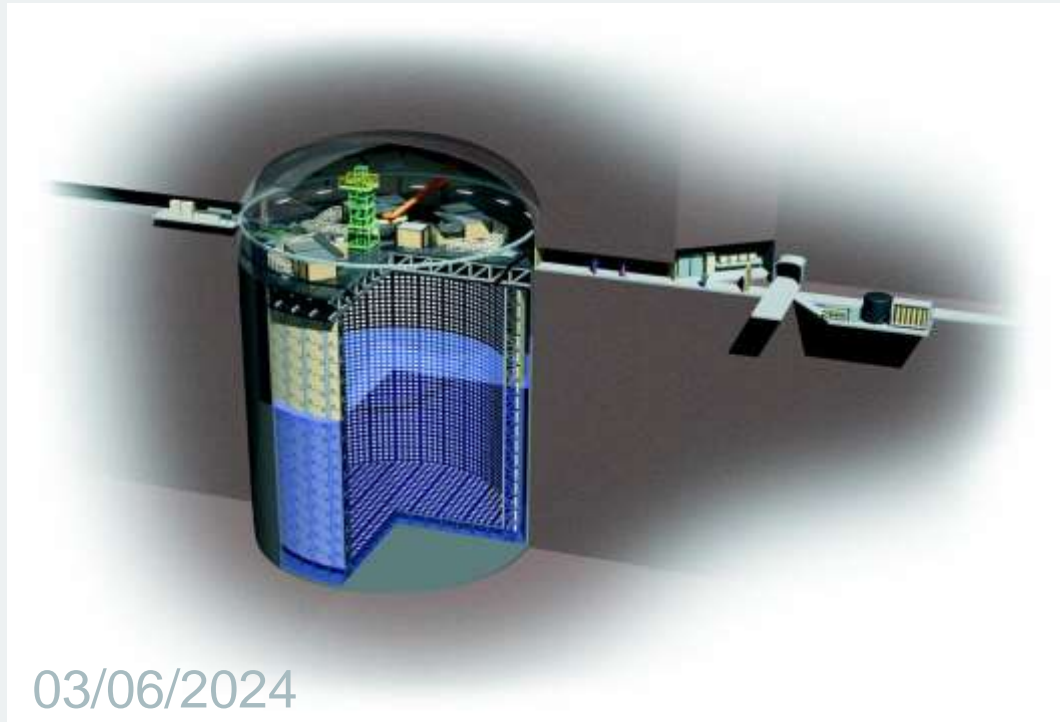
- T2K: Expérience d'oscillation





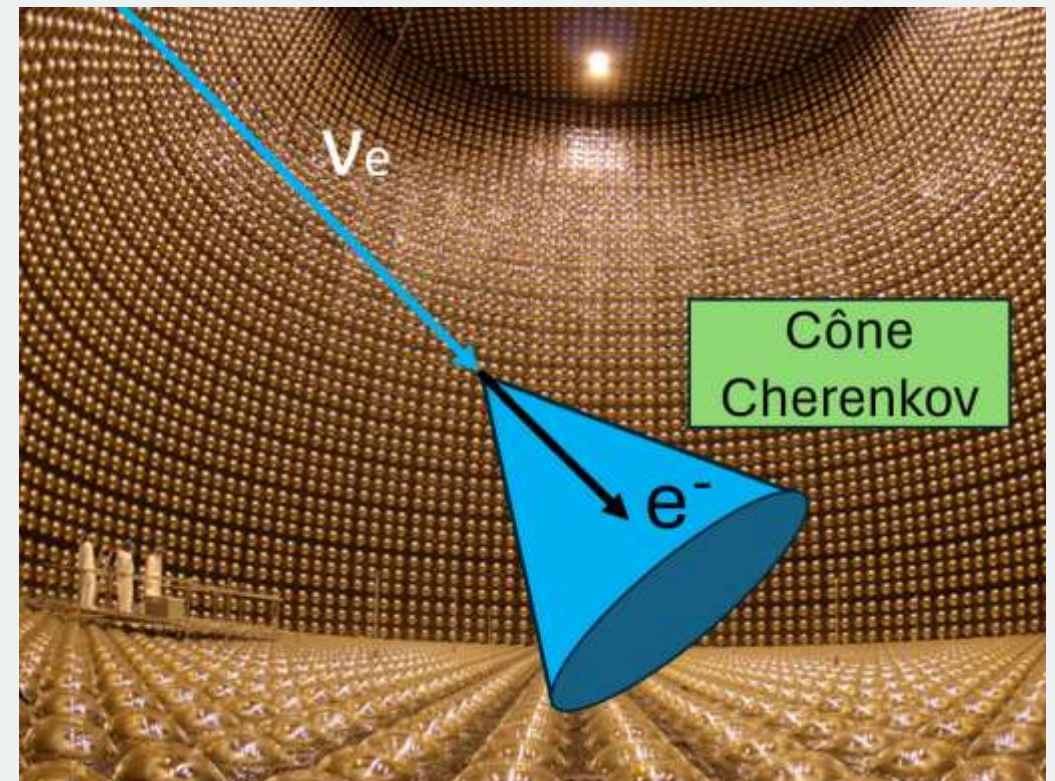
Super-Kamiokande

- Cuve à eau (50 000 tonnes) munie de 10 000 détecteurs de photons (PMT) sur les parois



- Algorithme de reconstruction: fiTQun

→ Détermination du vertex, énergie et saveur du neutrino incident

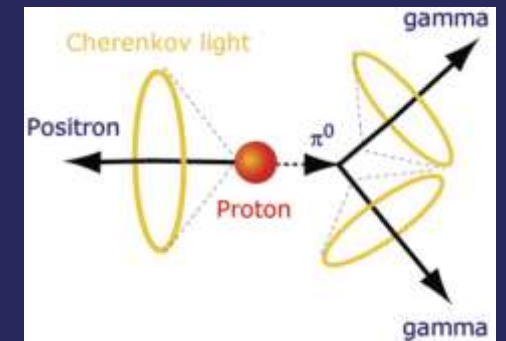




Hyper-Kamiokande

- ❑ Détecteur de nouvelle génération (8 fois le volume de SK)
- ❑ Début des acquisitions: décembre 2027

- ❑ Programme de physique:
 - Mesure de δ_{CP}
 - Physique des Supernovas
 - Désintégration du proton

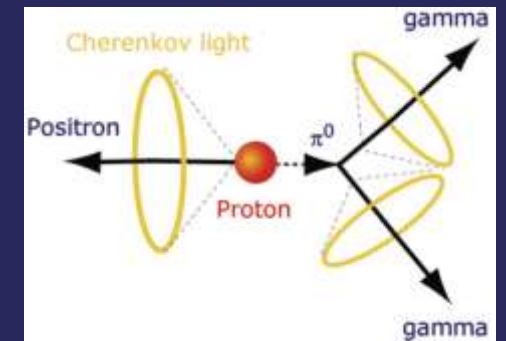
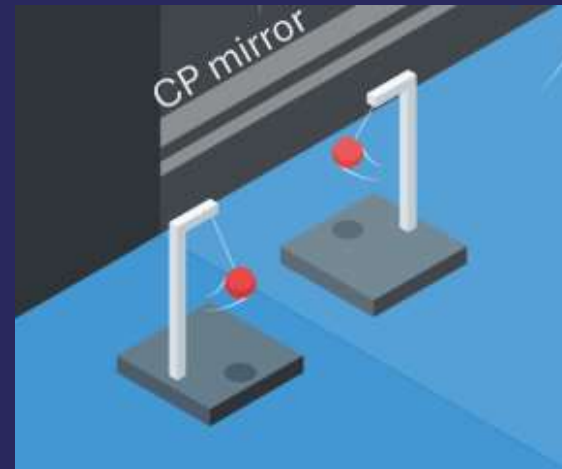




Hyper-Kamiokande

- ❑ Détecteur de nouvelle génération (8 fois le volume de SK)
- ❑ Début des acquisitions: décembre 2027

- ❑ Programme de physique:
 - Mesure de δ_{CP}
 - Physique des Supernovas
 - Désintégration du proton



- ❑ Nécessité d'adapter fiTQun:
 - Nouvelle géométrie et électronique
 - Algorithmes plus rapides et performants

1ère partie

→ Stage de M2

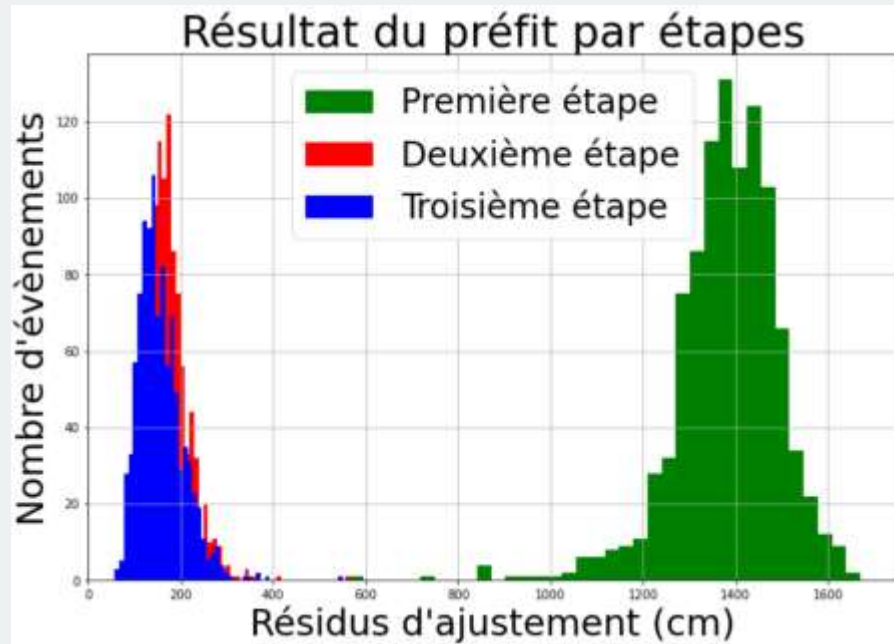
2ème partie

→ Thèse

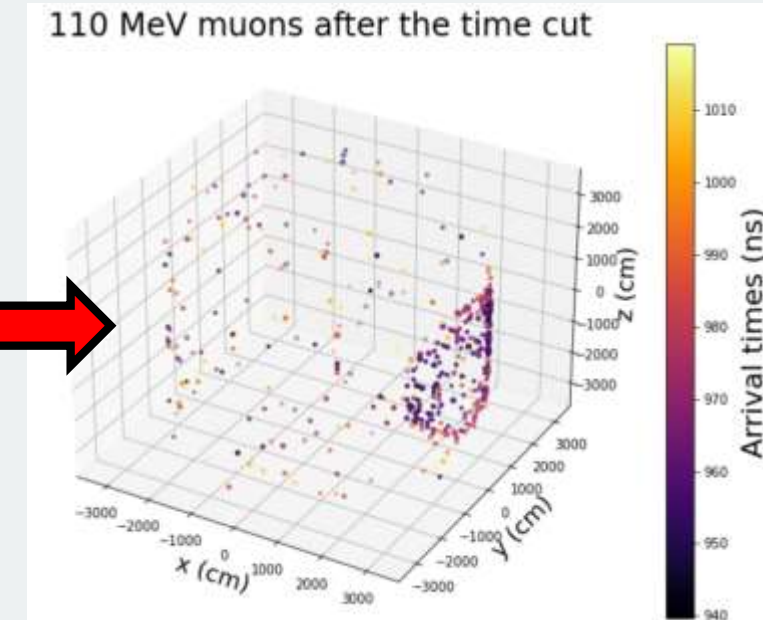
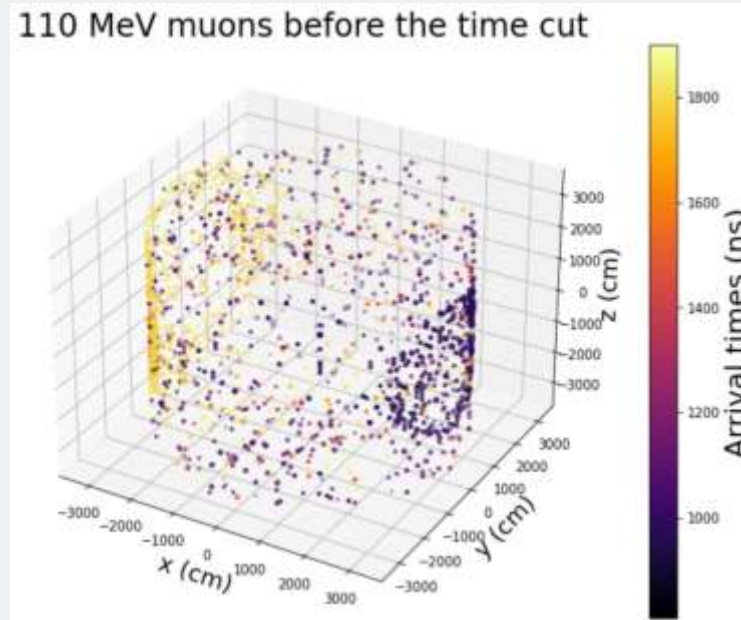
Sujet de thèse: Reconstruction de vertex

- ❑ **Préfit:** première détermination du vertex
- ❑ Deux optimisations du préfit lors du stage:

1) Préfit par étapes



2) Coupure temporelle



- Par rapport à fiTQun
- ❑ Réduction significative du nombre d'étapes de calcul
 - ❑ Performance légèrement meilleure!

Conclusion

Projet de thèse

- Optimisation de la totalité de fitQun
- Analyse d'oscillation
- Contrainte de modèles de leptogénèse en fonction de δ_{CP}

Conclusion

Projet de thèse

- Optimisation de la totalité de fiTQun
- Analyse d'oscillation
- Contrainte de modèles de leptogénèse en fonction de δ_{CP}

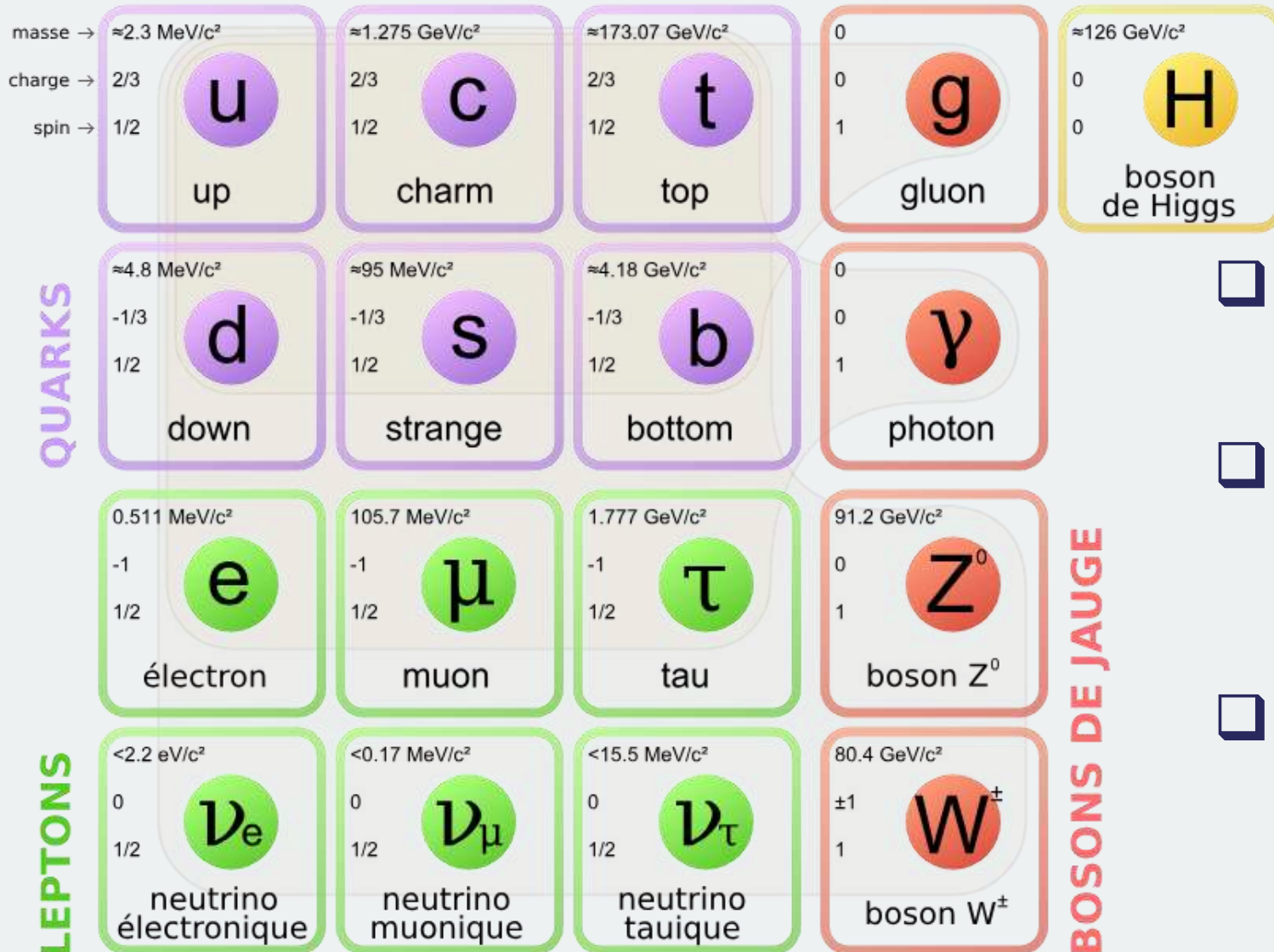
La physique des neutrinos

- Seule évidence de physique au-delà du Modèle Standard
- Pistes sur l'asymétrie matière-antimatière
- Messagers astrophysiques

Merci

Lorenzo RESTREPO ORRANTIA
lorenzorestrepo@gmail.com

Le Modèle Standard



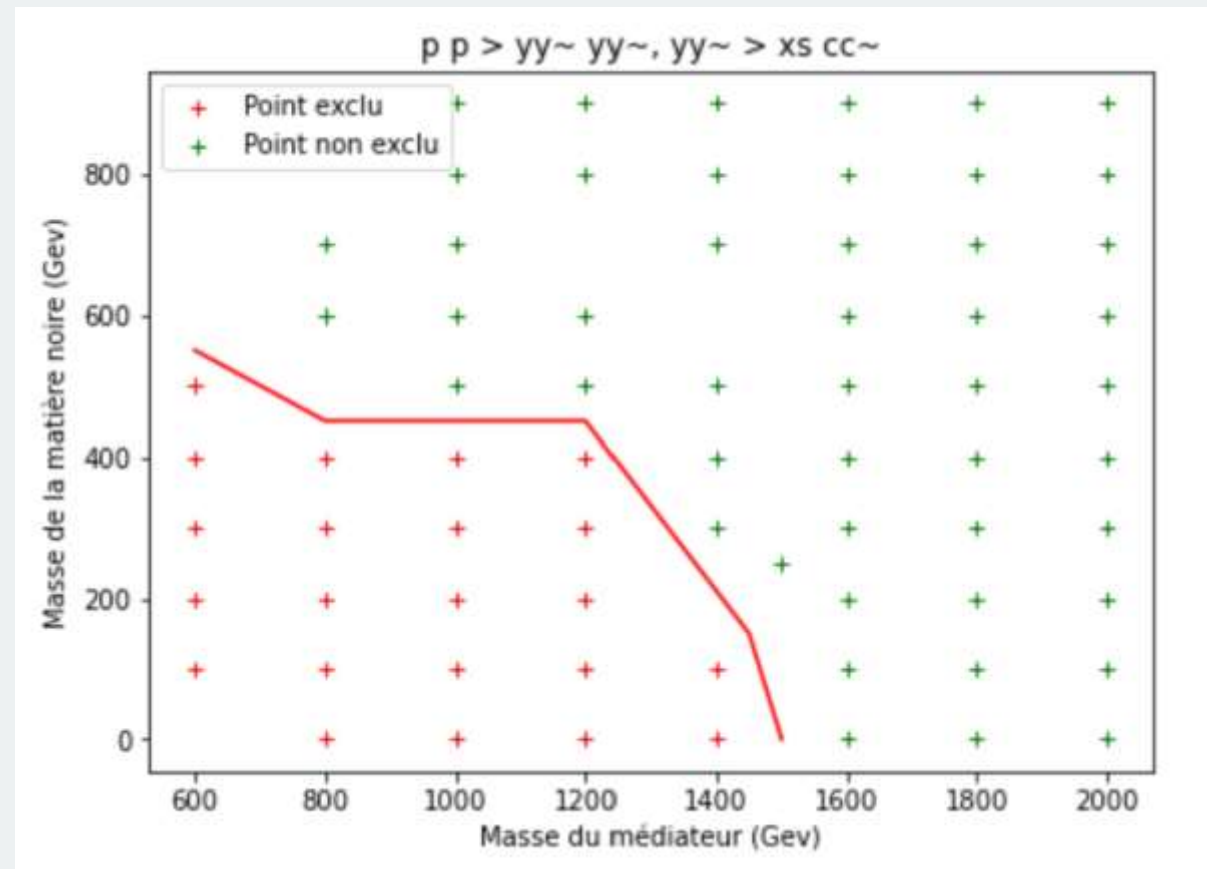
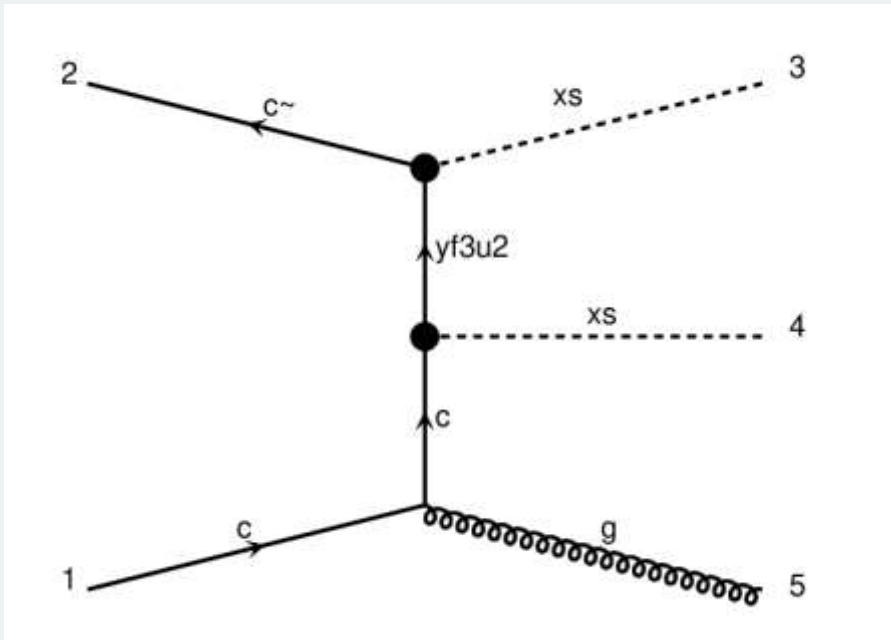
- N'inclut pas la matière noire
- Ne permet pas d'expliquer la conversion $\mu \rightarrow e$
- N'inclut pas la masse des neutrinos

Phénoménologie de la matière noire au LHC

□ Modèle théorique:

- Particule scalaire X_s
- Interactions via t-channel avec le Modèle Standard via un médiateur

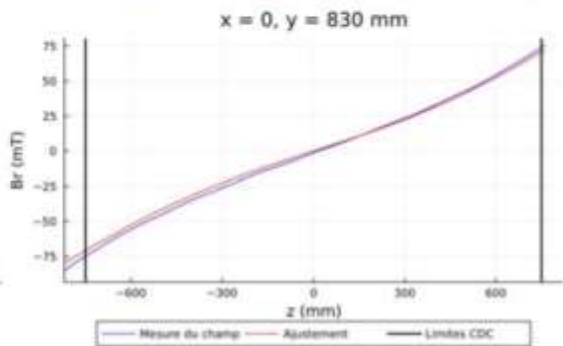
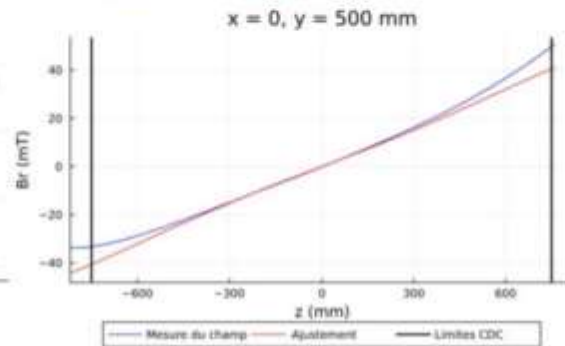
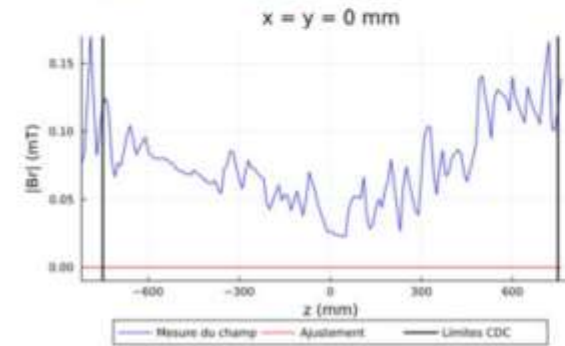
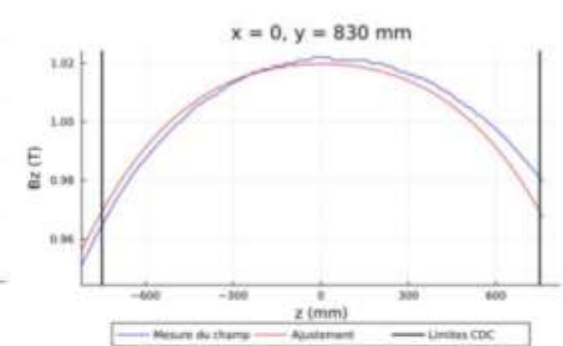
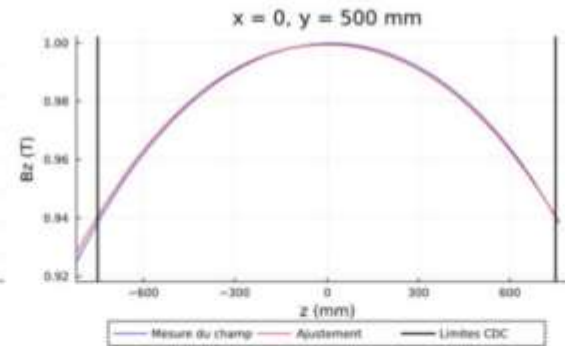
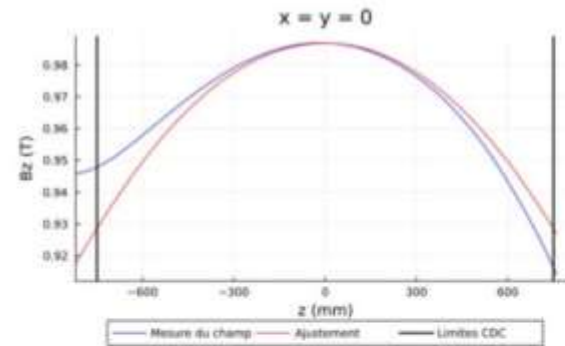
□ Diagramme d'exclusion obtenu



Modélisation du champ magnétique

$$B_z(\vec{x}; C_n, s) = \sum_{n=1}^4 C_n \cos\left(\frac{nz}{s}\right) I_0\left(\frac{nr}{s}\right)$$

$$B_r(\vec{x}; C_n, s) = \sum_{n=1}^4 C_n \sin\left(\frac{nz}{s}\right) I_1\left(\frac{nr}{s}\right)$$



Chambre à dérivation

how tracking works

wires with signals shown in yellow; circle radius \sim drift time

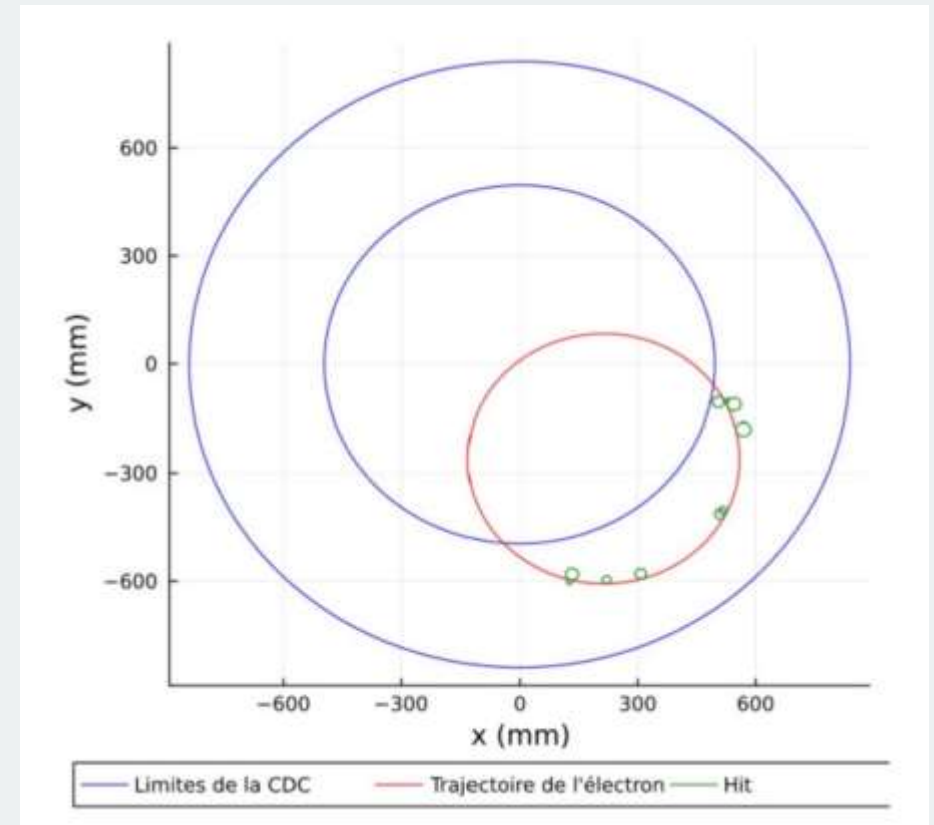
Wire chamber
- looking along the wires

minimize rms between track and calculated distance

April 30, 2010

Quarks: search for the smallest

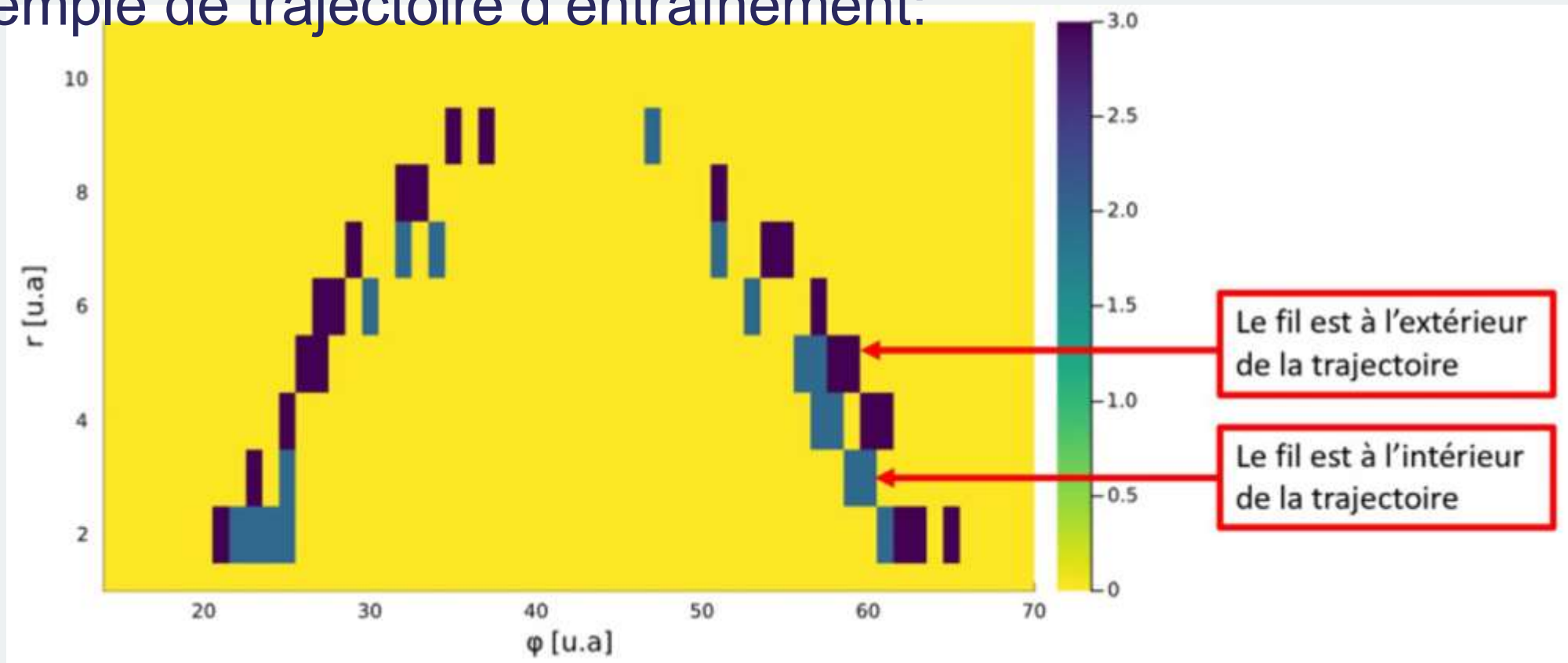
1



Réseau de neurones

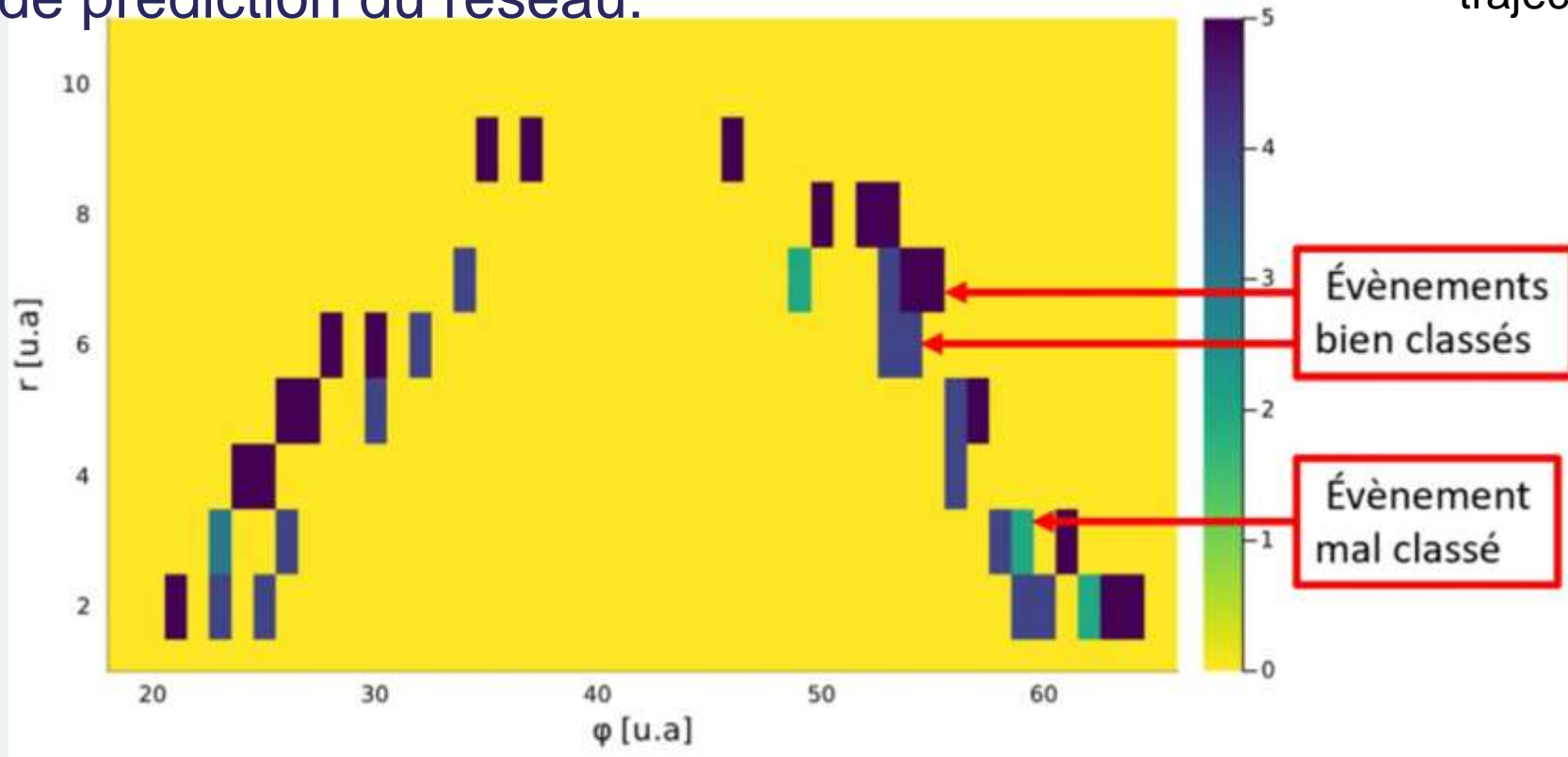
❑ Position et distance de dérive des fils touchés

❑ Exemple de trajectoire d'entraînement:



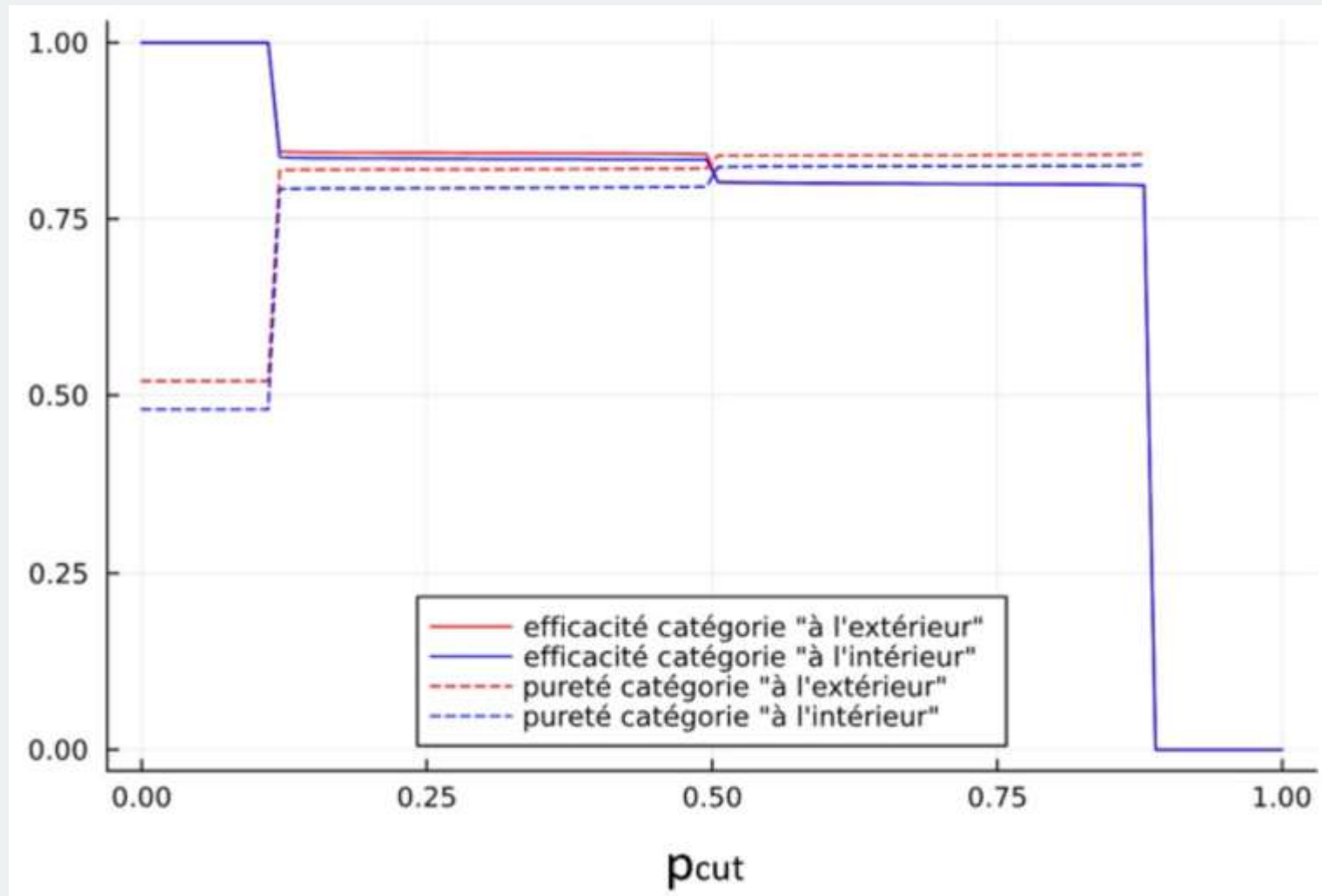
Réseau de neurones

- ❑ On associe à chaque pixel p_{int} et p_{ext} (avec $p_{int} + p_{ext} = 1$)
- ❑ On définit p_{cut}
- ❑ Exemple de prédiction du réseau:
 - ❑ Si $p_{int} > p_{cut} \rightarrow$ le fil est à l'intérieur de la trajectoire
 - ❑ Si $p_{ext} > p_{cut} \rightarrow$ le fil est à l'extérieur de la trajectoire



Réseau de neurones

- p_{cut} optimal: pureté et efficacité



Oscillation de neutrinos

États propres de saveur différents des états propres de masse

$$|\nu_\alpha\rangle = \sum_{i=1}^3 U_{\alpha i} |\nu_i\rangle$$

Matrice de mélange

$$U_{\alpha i}^{PMNS} = \begin{pmatrix} c_{12}c_{13} & s_{12}s_{13} & s_{13}e^{-i\delta} \\ -s_{12}c_{23} - c_{12}s_{23}s_{13}e^{i\delta} & c_{12}c_{23} - s_{12}s_{23}s_{13}e^{i\delta} & s_{23}c_{13} \\ s_{12}s_{23} - c_{12}c_{23}s_{13}e^{i\delta} & -c_{12}s_{23} - s_{12}c_{23}s_{13}e^{i\delta} & c_{23}c_{13} \end{pmatrix}$$

Probabilité d'oscillation :

$$P_{\alpha \rightarrow \beta} = \delta_{\alpha\beta} - 4 \sum_{j>k} \mathcal{R}e\{U_{\alpha j}^* U_{\beta j} U_{\alpha k} U_{\beta k}^*\} \sin^2\left(\frac{\Delta m_{jk}^2 L}{4E}\right) + 2 \sum_{j>k} \mathcal{I}m\{U_{\alpha j}^* U_{\beta j} U_{\alpha k} U_{\beta k}^*\} \sin^2\left(\frac{\Delta m_{jk}^2 L}{2E}\right)$$

Preuve de la
masse des
neutrinos

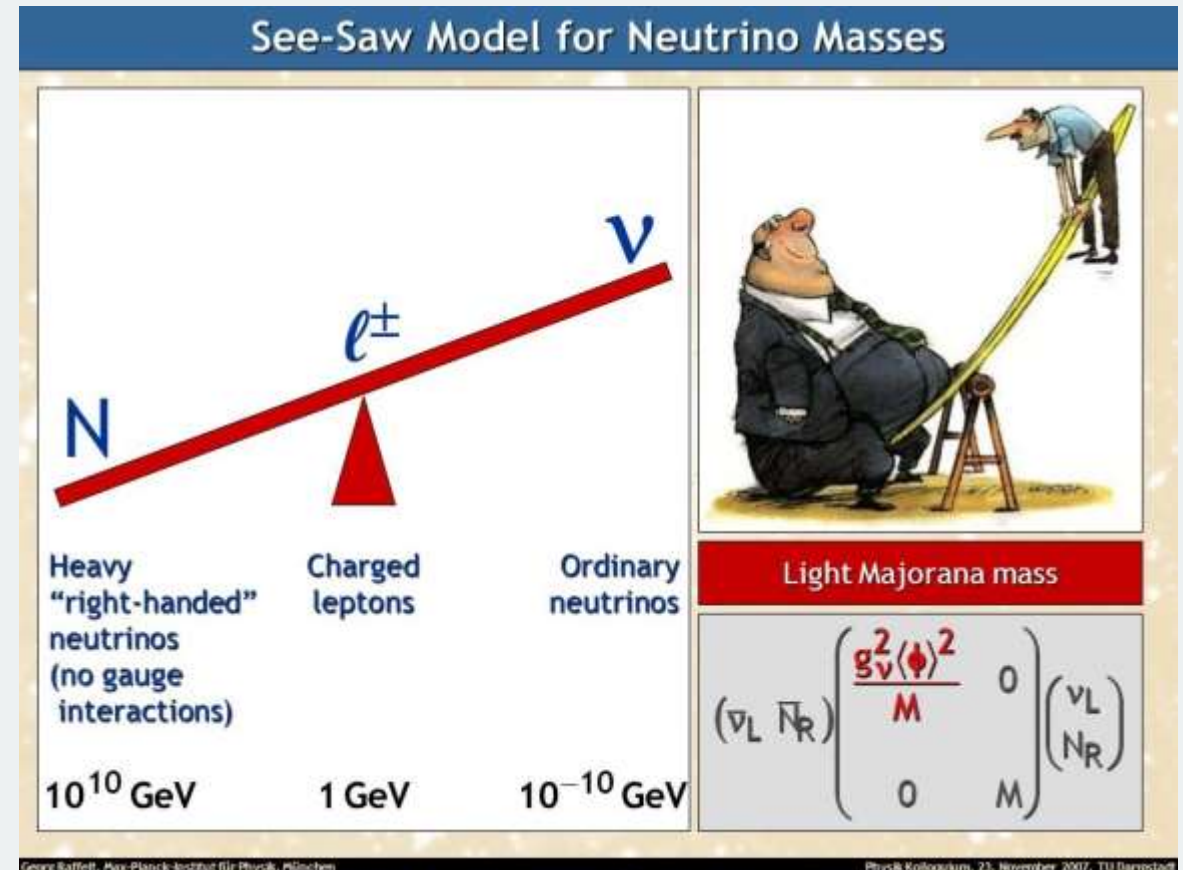
→ Nouvelle génération d'expériences: mesure des paramètres de UPMNS

Oscillation de neutrinos

Violation de CP



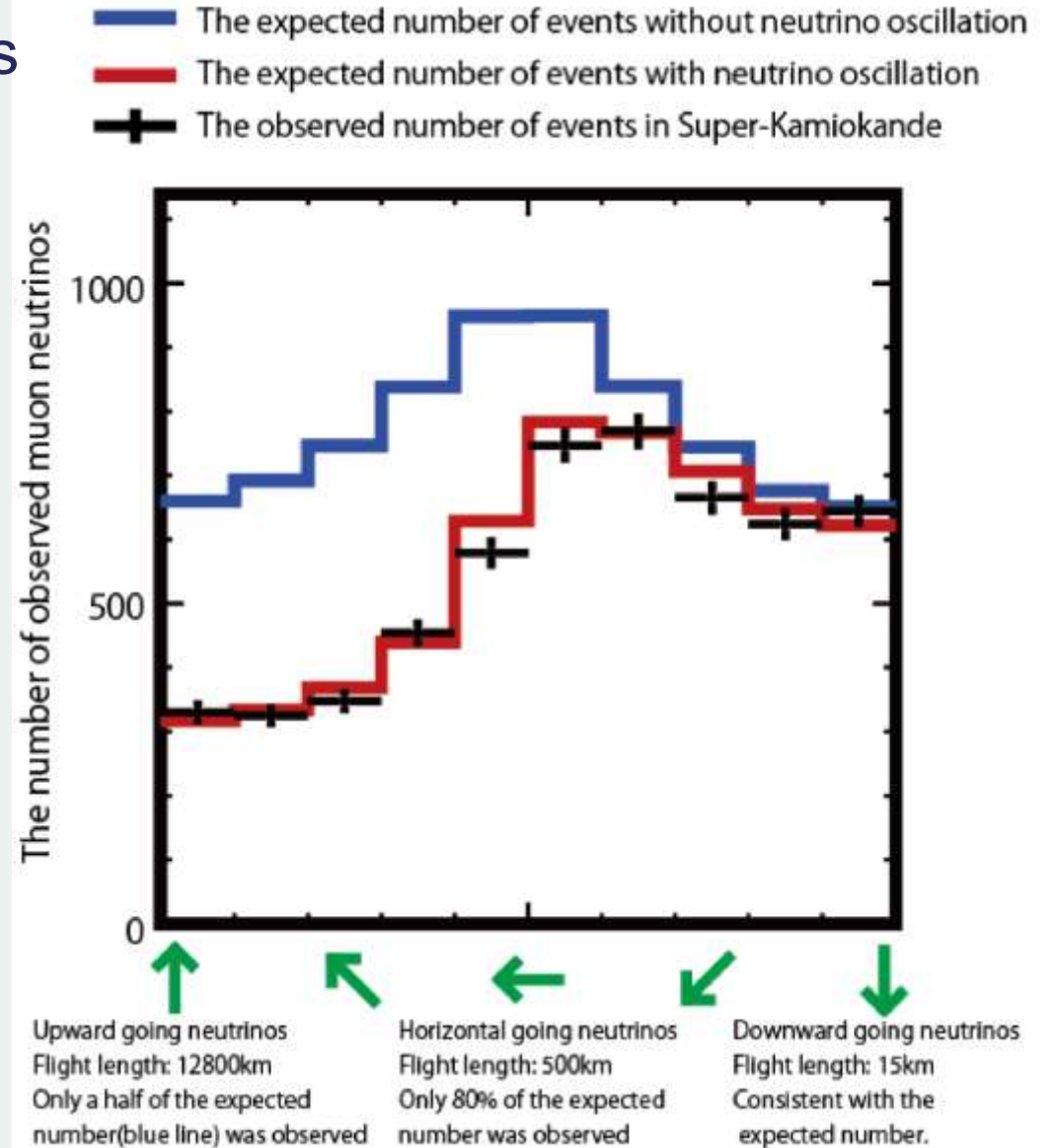
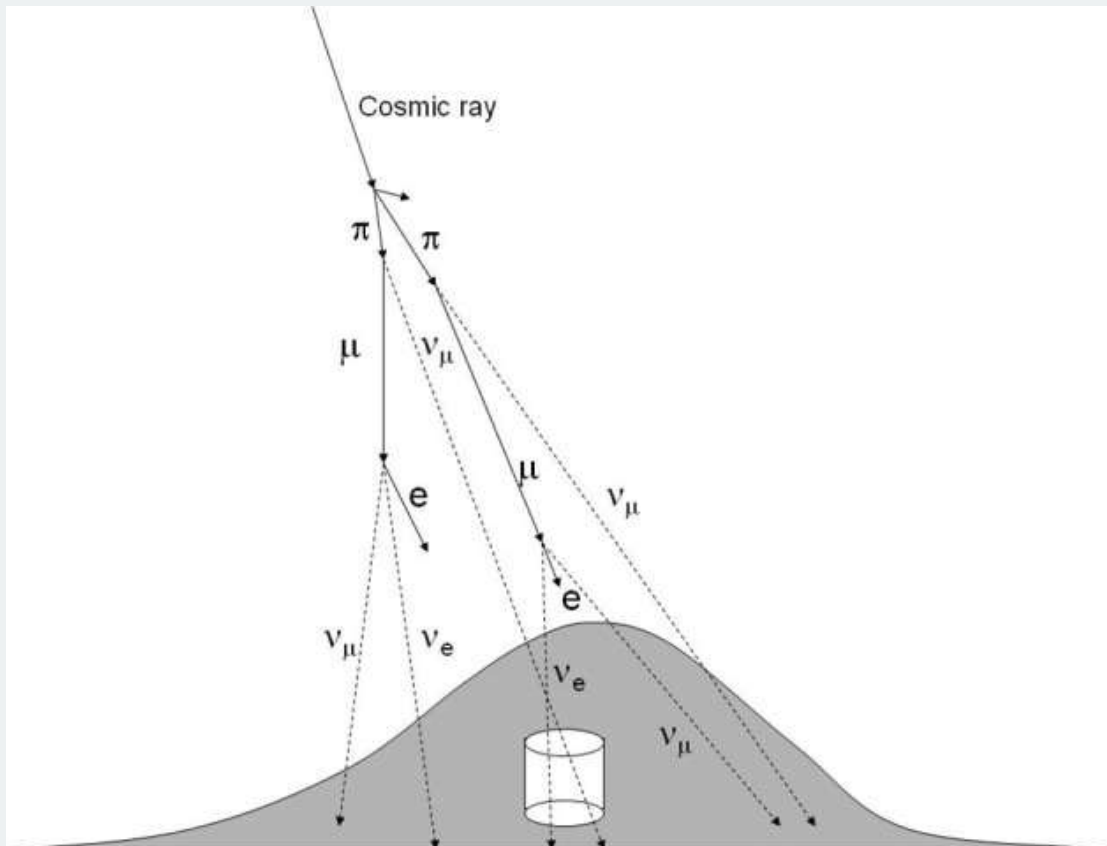
Potentiel mécanisme de génération de masse



- δ_{CP} paramètre fondamental de la nature
- Certains modèles de leptogénèse à basse énergie dépendent de δ_{CP}

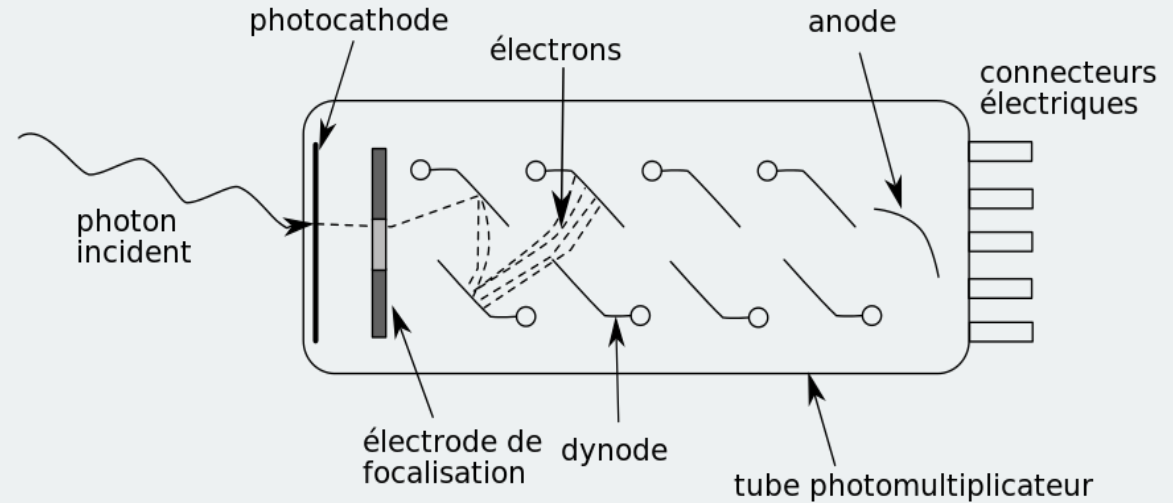
Oscillation de neutrinos atmosphériques avec SK

- 1^{ère} évidence de l'oscillation des neutrinos
- Prix Nobel de 2015: Takaaki Kajita



Tubes photomultiplicateurs (PMT)

❑ Dispositifs permettant de détecter des photons



❑ Signal lumineux → Signal électrique

❑ Gain typique $\sim 10^7$



Préfit: principe

❑ Fonction « Goodness

$$G(\mathbf{x}, t) \equiv \sum_i^{\text{hit}} \exp(- (T_{\text{res}}^i / \sigma)^2 / 2)$$

Un seul paramètre libre: σ

❑ Temps résiduel

$$T_{\text{res}}^i \equiv t_i - t - |\mathbf{R}_{\text{PMT}}^i - \mathbf{x}| / c_n$$

Tend vers zéro pour la vraie position \mathbf{x} et temps t du vertex

❑ **Préfit** = recherche de \mathbf{x} et t qui maximisent G

❑ G est deux fois différentiable → Méthode de Newton pour trouver le maximum

❑ Environ **70 itérations** pour trouver le maximum pour notre préfit

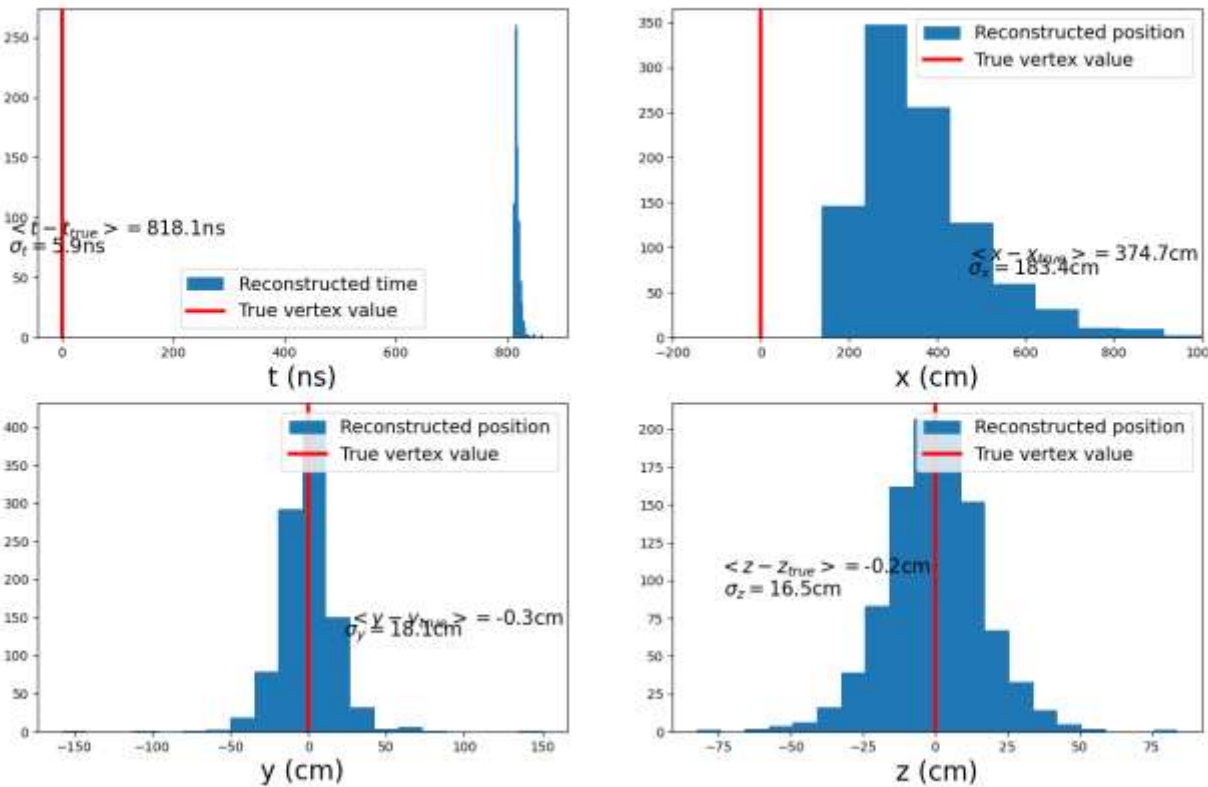
→ Vs **400** pour fiTQun + Goodness scan (8323 points)

Moins d'étapes de calcul que pour fiTQun

Préfit: performances

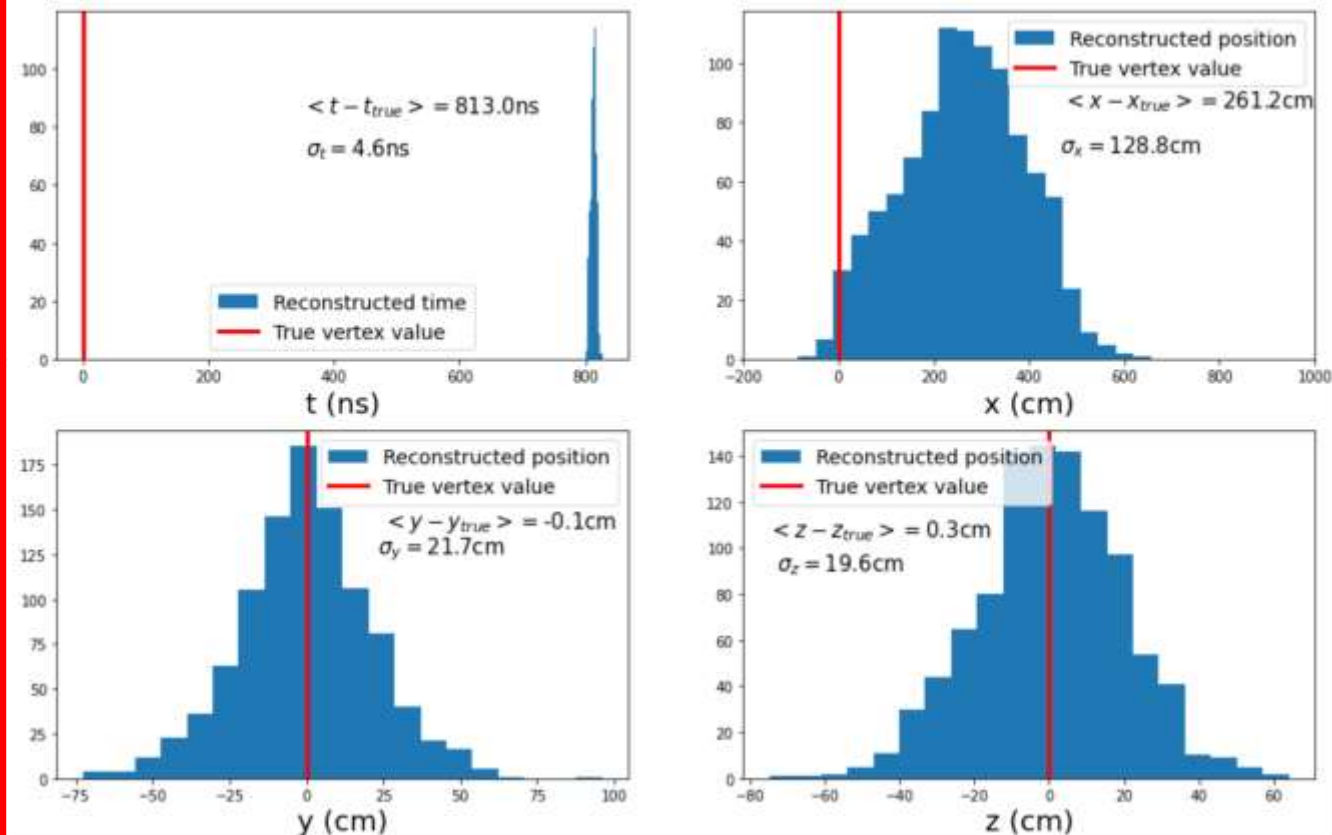
fiTQun

500 MeV muons emmitted along x using C++ fiTQun



Algorithme optimisé

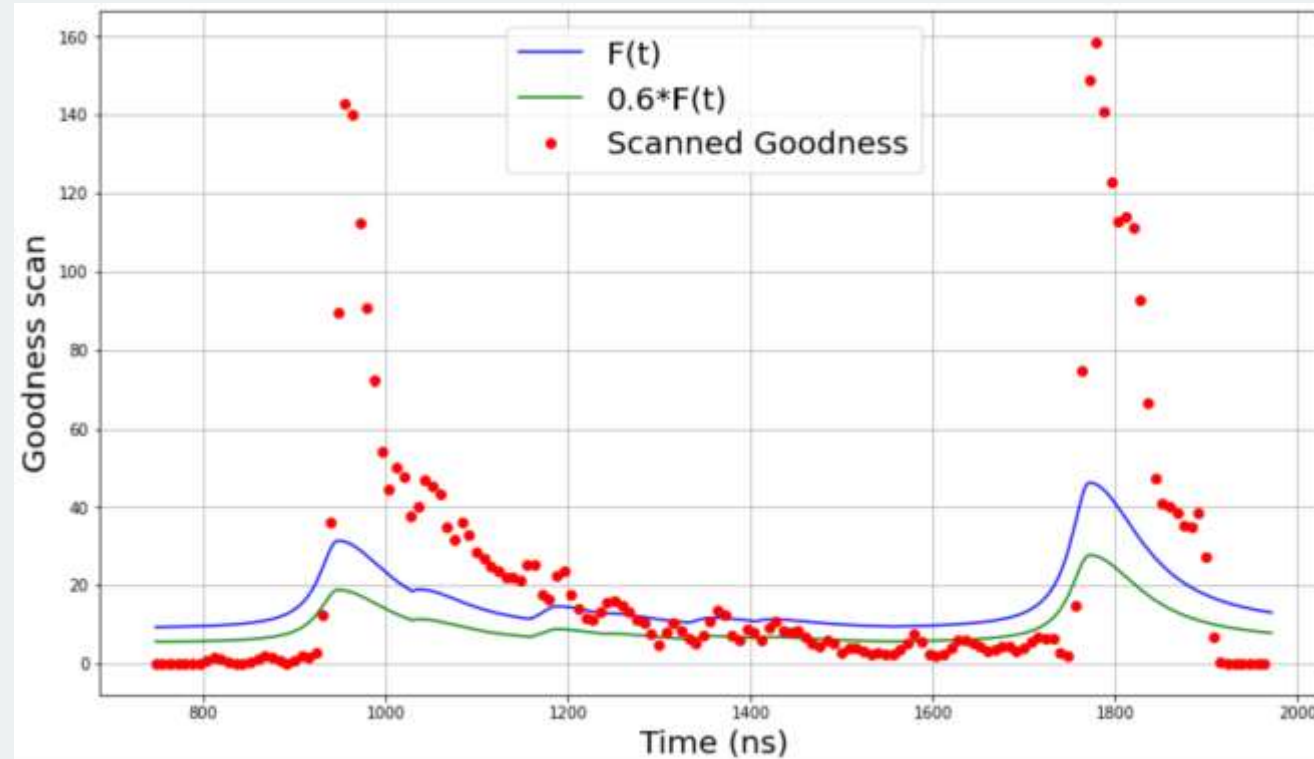
500 MeV muons emmitted along x using PyfiTQun



Algorithmes de reconstruction. subeventing

- ❑ Subeventing: Identification de différentes activités dans le détecteur séparées en temps
- ❑ Algorithme Peak Finder : détermination du nombre et du temps des subevents
- ❑ Scan de la Goodness en fixant \mathbf{X} , et en faisant varier t
→ Subevents = pics de Goodness

Ex: Désintégration du muon
($\mu \rightarrow e \nu \nu$)



Algorithmes de reconstruction: ring fitter

Maximum de vraisemblance

$$L(\mathbf{x}) = \prod_j^{\text{unhit}} \underbrace{P_j(\text{unhit}|\mu_j)}_{\text{PMT unhit probability}} \prod_i^{\text{hit}} \underbrace{\{1 - P_i(\text{unhit}|\mu_i)\}}_{\text{PMT hit probability}} \underbrace{f_q(q_i|\mu_i)}_{\text{PMT charge pdf}} \underbrace{f_t(t_i|\mathbf{x})}_{\text{PMT timing pdf}}$$

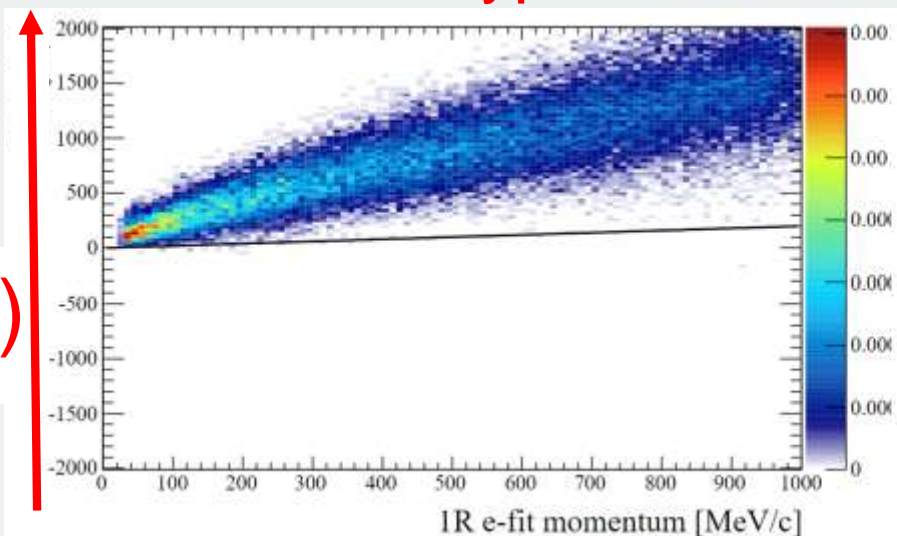
Charge prédite $\mu = \mu^{\text{dir}} + \mu^{\text{scat}} \rightarrow$ Dépend de la particule considérée

Ajustement de 7 variables au total: x, t, p, θ, φ

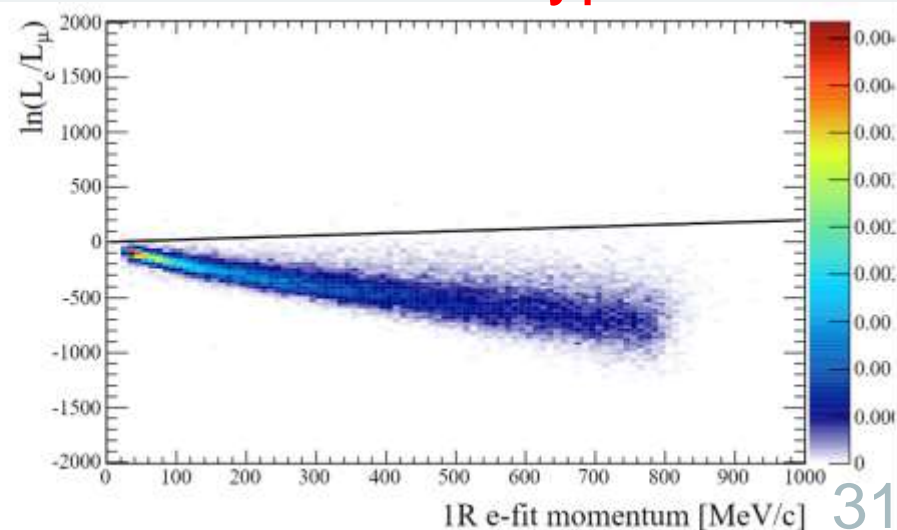
Identification de particule

$$\ln(L_e/L_\mu)$$

Évènements type électron



Évènements type muon



La Leptogénèse

- Mécanisme théorique selon lequel l'asymétrie matière-antimatière dans l'univers aurait été engendrée par les leptons