



Mise en perspective didactique des travaux de recherche

Etienne Chardonnet



Sommaire

I. Parcours

II. Neutrinos et DUNE

III. Activité sur la simulation et
identification de particules



Sommaire

I. Parcours

II. Neutrinos et DUNE

III. Activité sur la simulation et identification de
particules

Parcours

- 2013-2014 : 1ère année CPGE MPSI Lycée Fénélon
- 2014-2015 : L2 Majeure Physique – Mineure Maths UPMC
- 2015-2016 : L3 Formation Inter-universitaire de Paris ENS Paris
 - Stage au laboratoire AstroParticules et Cosmologie (APC) "Caractérisation de photomultiplicateurs au Silicium (SiPM)"
- 2016-2017 : M1 Centre International de Physique Fondamentale ENS Paris
 - Stage au Fermilab : "Déterminateur du nombre d'évènements 'rocheux' dans l'expérience NOvA"
- 2017-2018 : M2 Noyaux-Particules-Astroparticules et Cosmologie Paris Diderot
 - Stage de pré-thèse au laboratoire APC : "Evaluation de l'efficacité de l'algorithme 'Muon Coulomb Scattering' dans l'expérience DUNE"
- 2018-2021 : Thèse "Etude de la réponse du détecteur TPC à argon liquide à double-phase, ProtoDUNE Dual-Phase au CERN, et développement d'outils améliorant les performances du détecteur dans le cadre de l'expérience DUNE" dirigée par Thomas Patzak au laboratoire APC
- 2022-2023 : Préparation à l'agrégation Université de Bordeaux



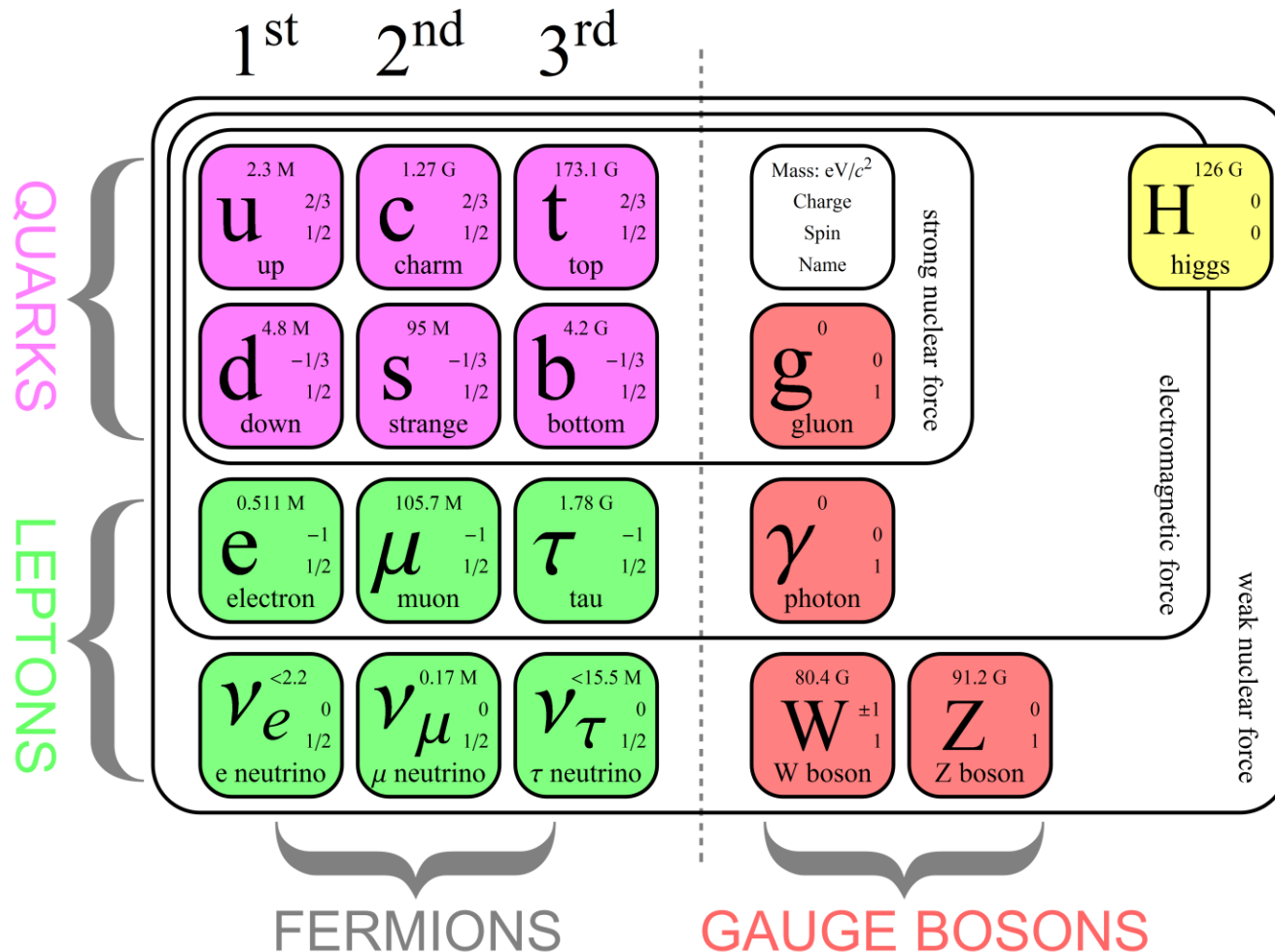
Sommaire

I. Parcours

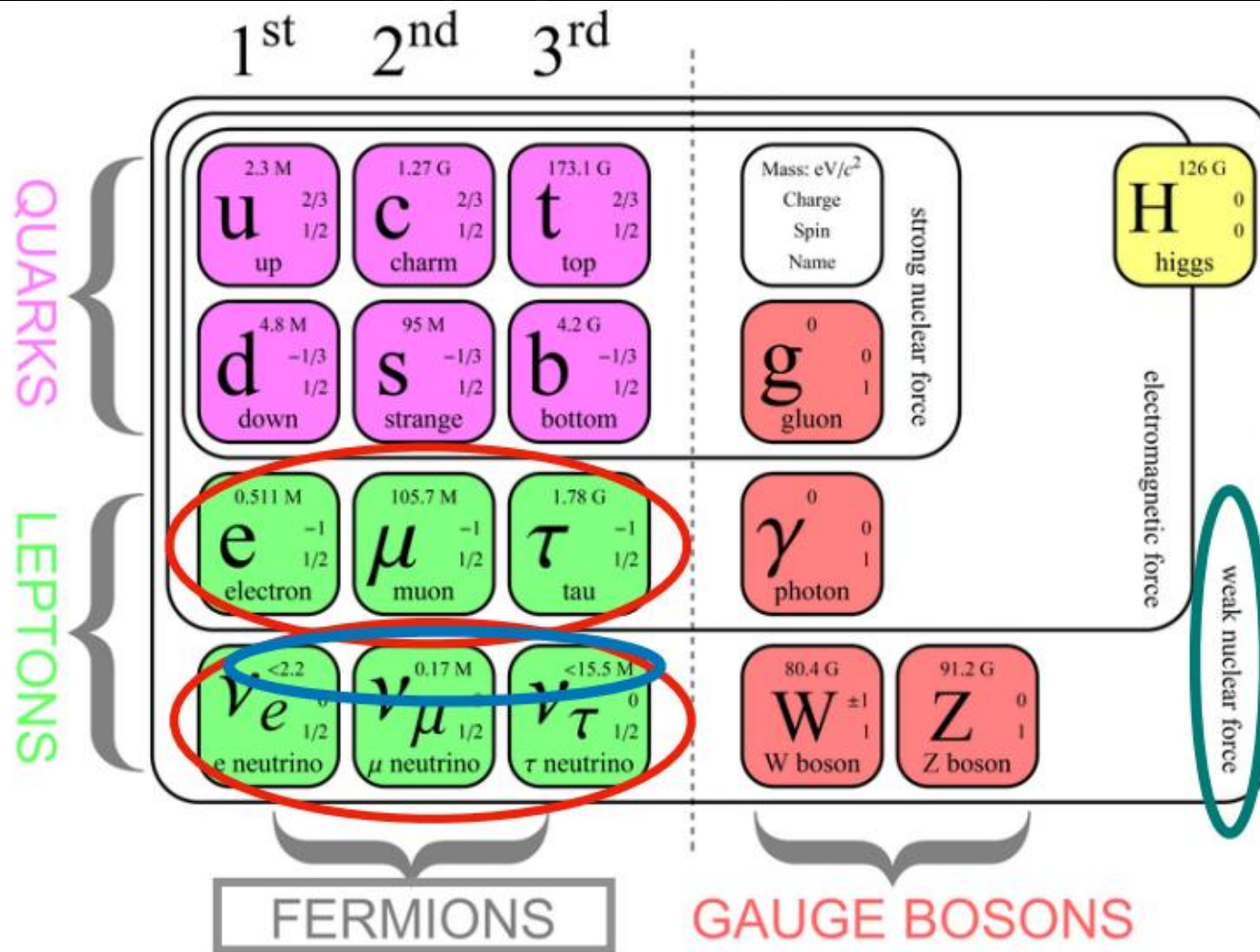
II. Neutrinos et DUNE

III. Activité sur la simulation et identification de
particules

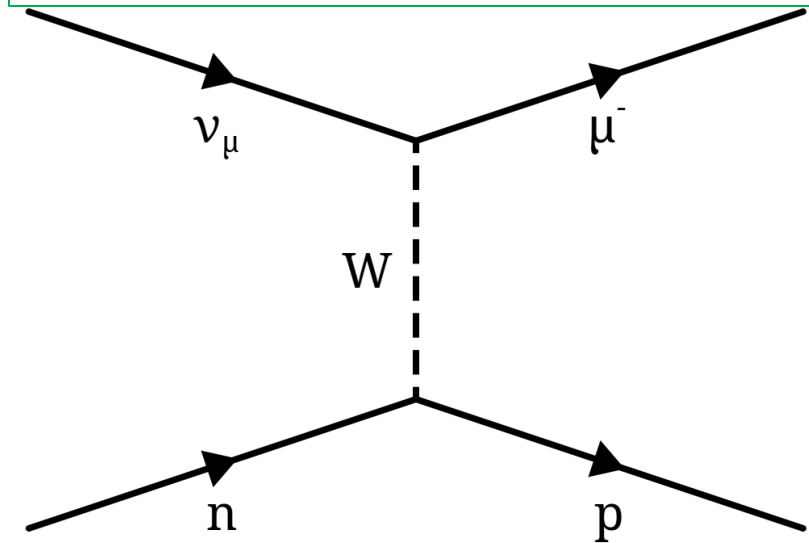
Modèle standard de la physique des particules



Modèle standard de la physique des particules

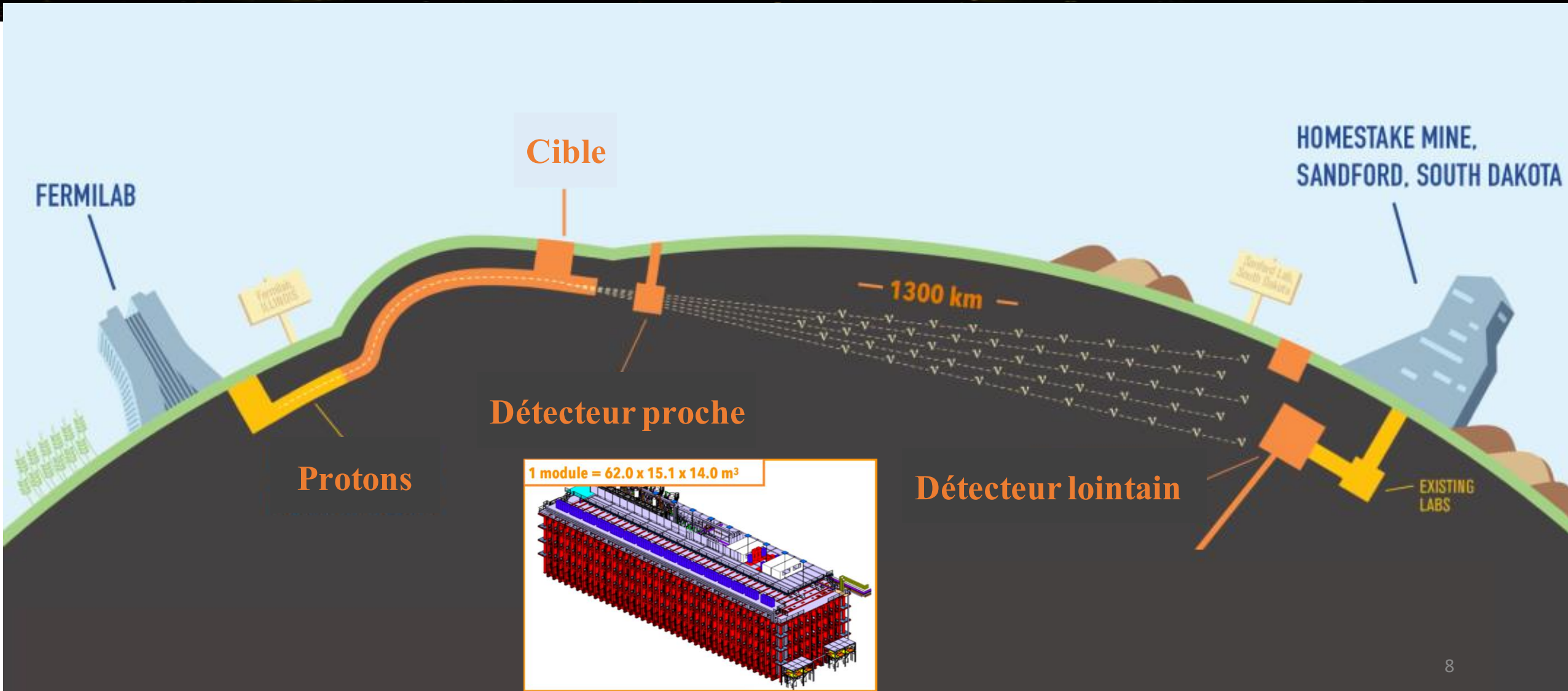


Interaction entre un neutrino muonique et un neutron



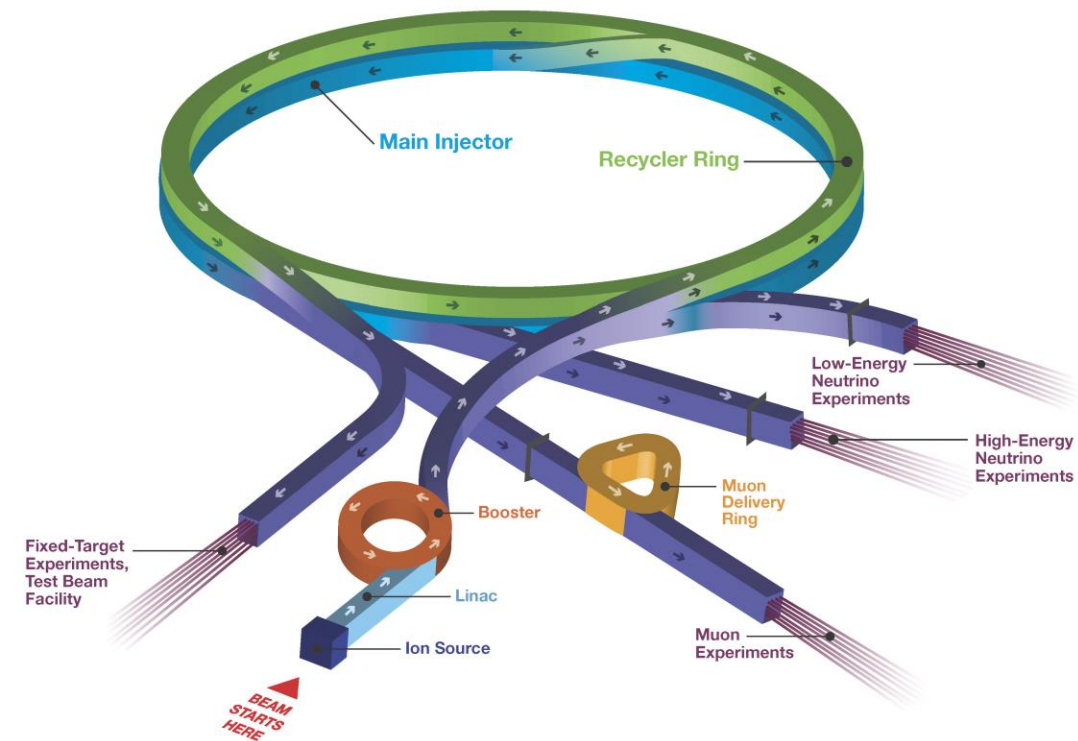
- 3 familles de neutrinos de masses non nulles, auxquelles sont associés 3 leptons chargés.
- Ils sont des **fermions** (spin $\frac{1}{2}$) et interagissent **uniquement** via l'interaction faible.

DUNE - Deep Underground Neutrino Experiment

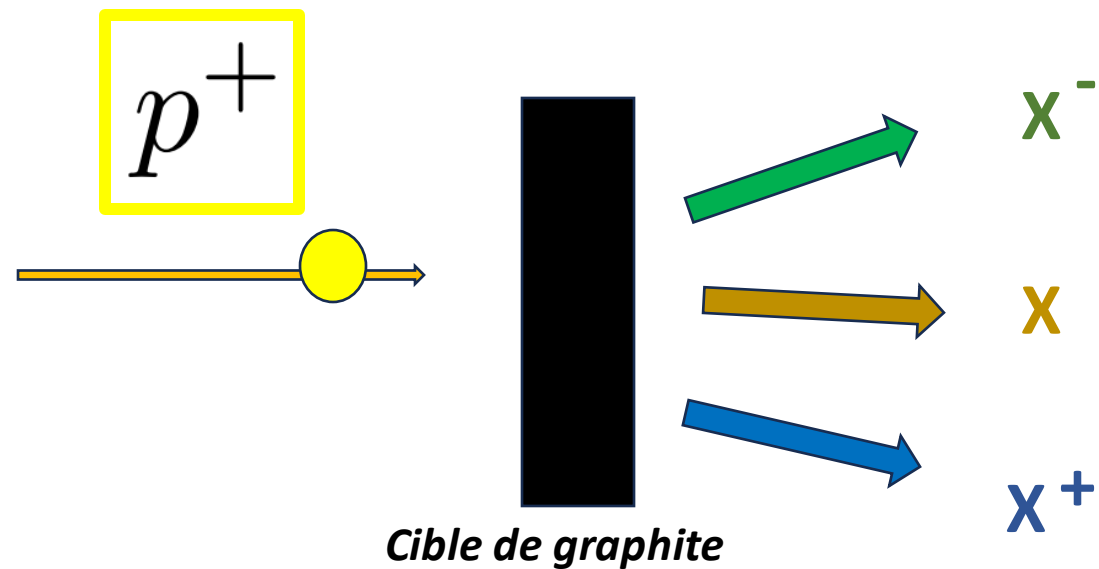


Construction du faisceau

Accélération des protons (120 GeV)

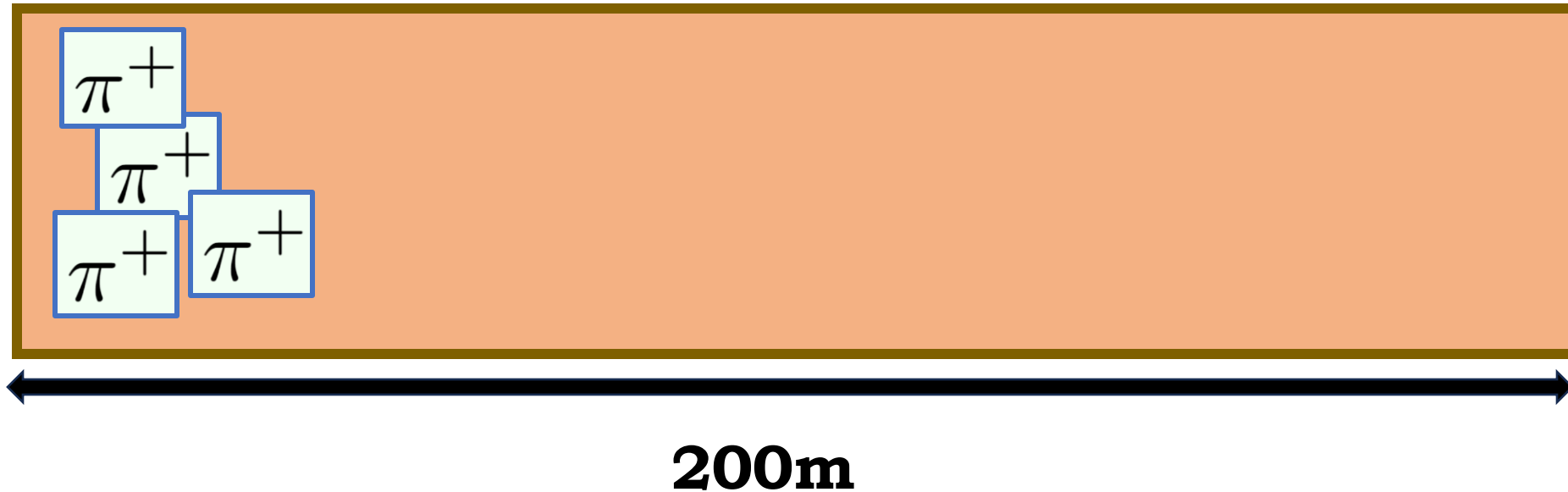


Collision des protons

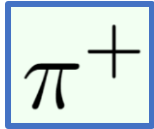


Construction du faisceau

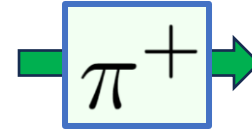
**Zone de
désintégration**



Construction du faisceau

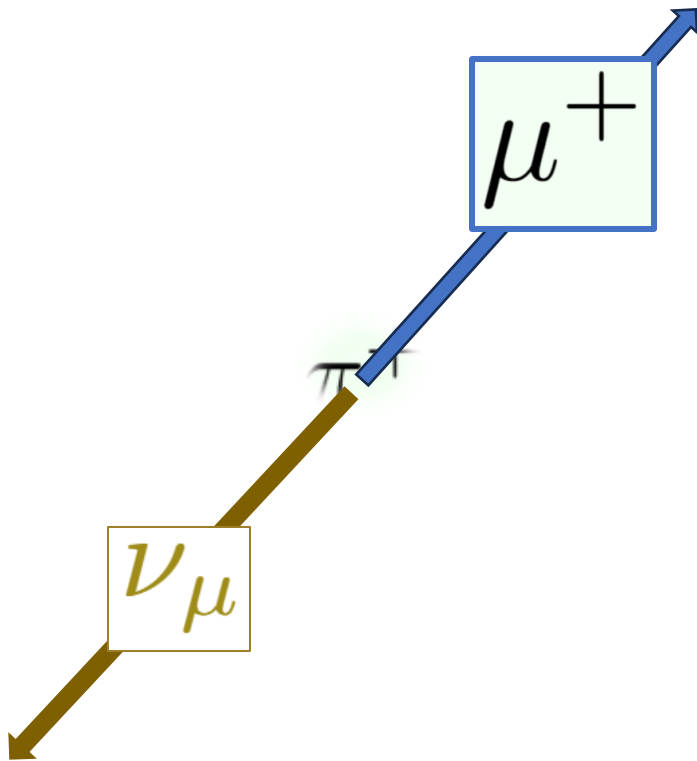


Référentiel du pion

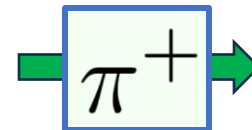


**Référentiel
terrestre**

Construction du faisceau

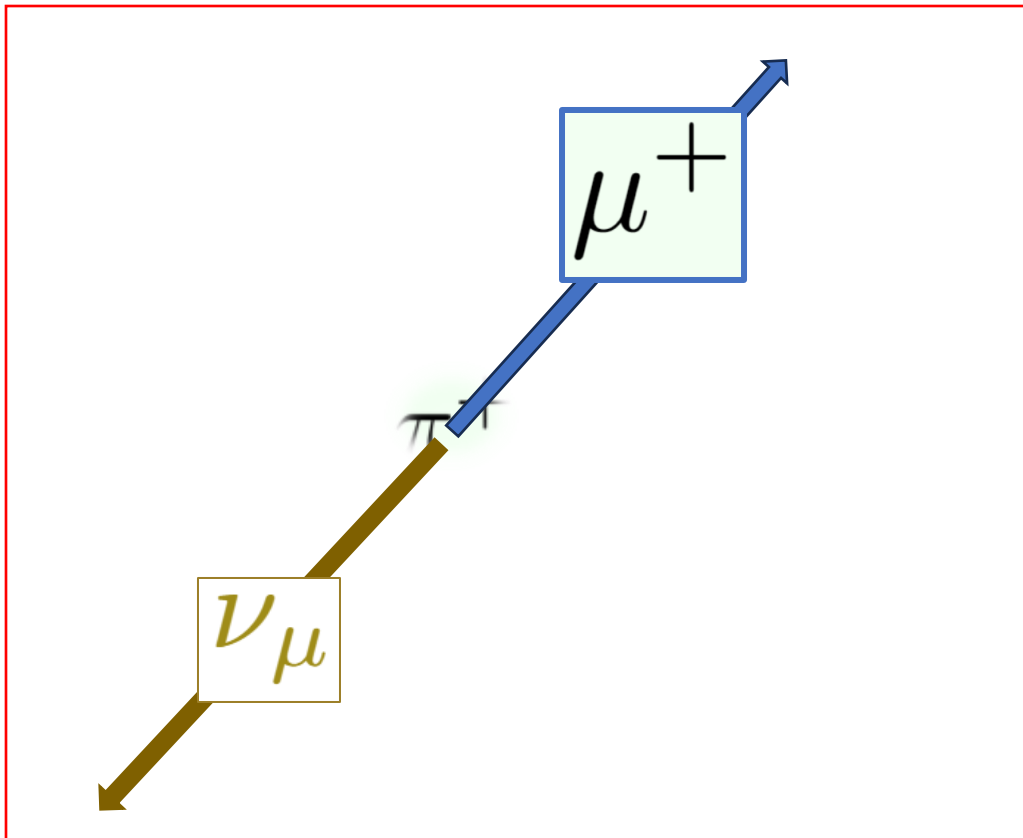


Référentiel du pion

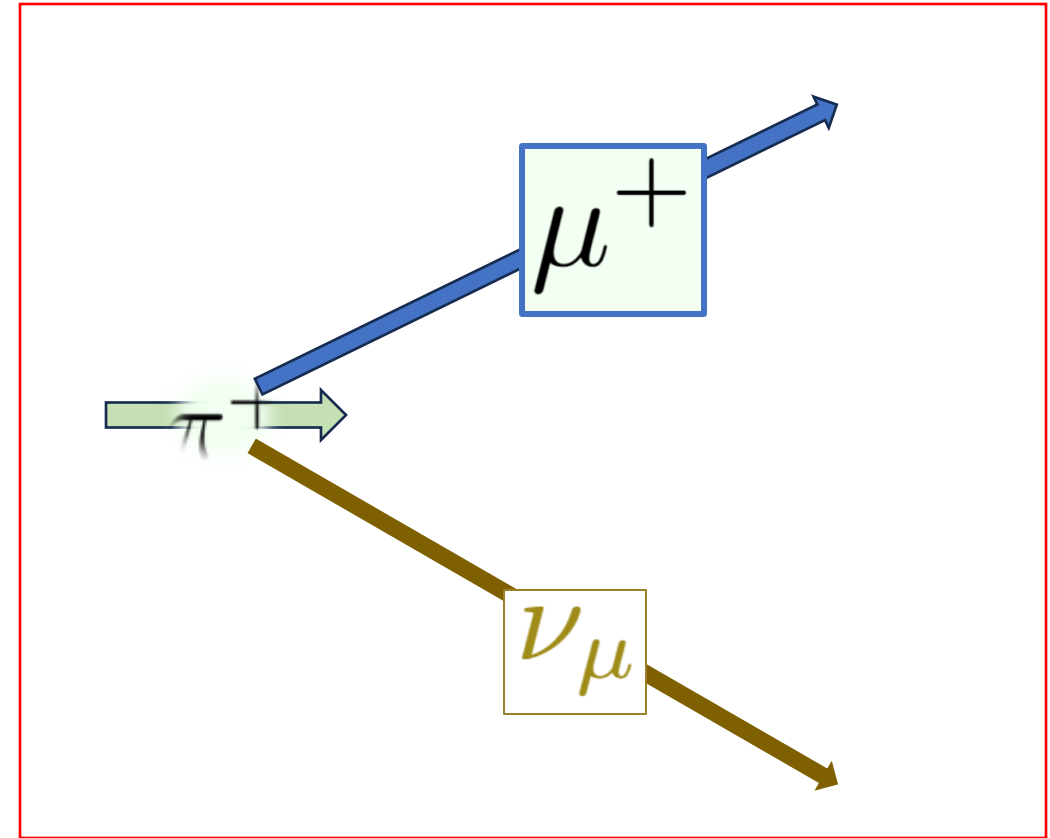


**Référentiel
terrestre**

Construction du faisceau



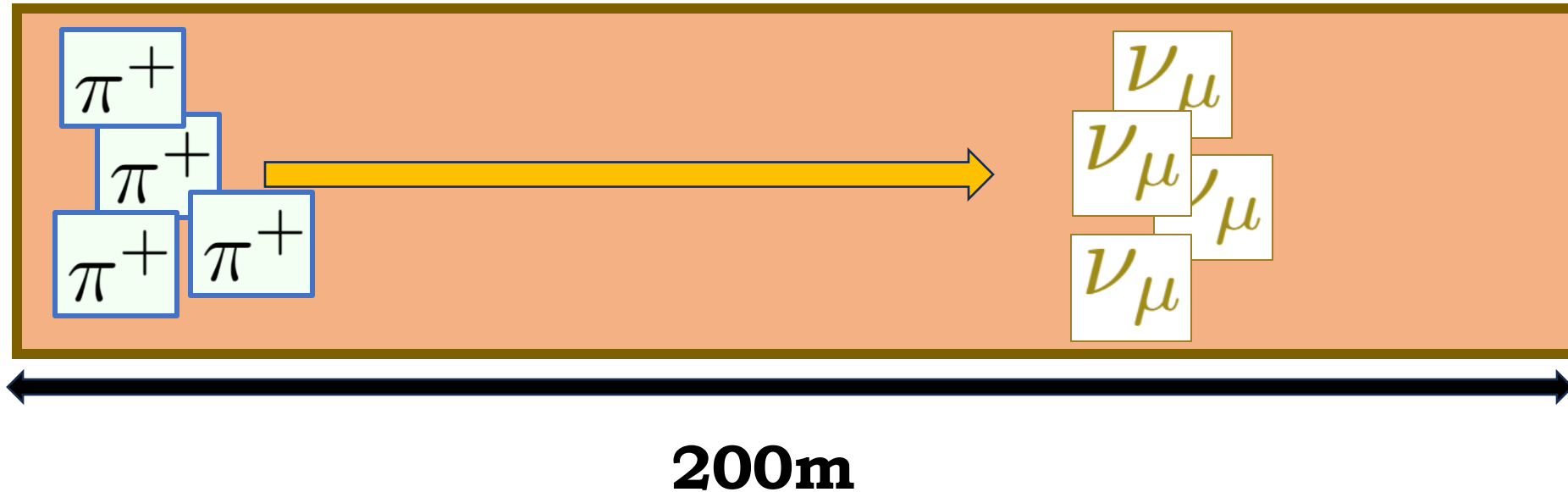
Référentiel du pion



**Référentiel
terrestre**

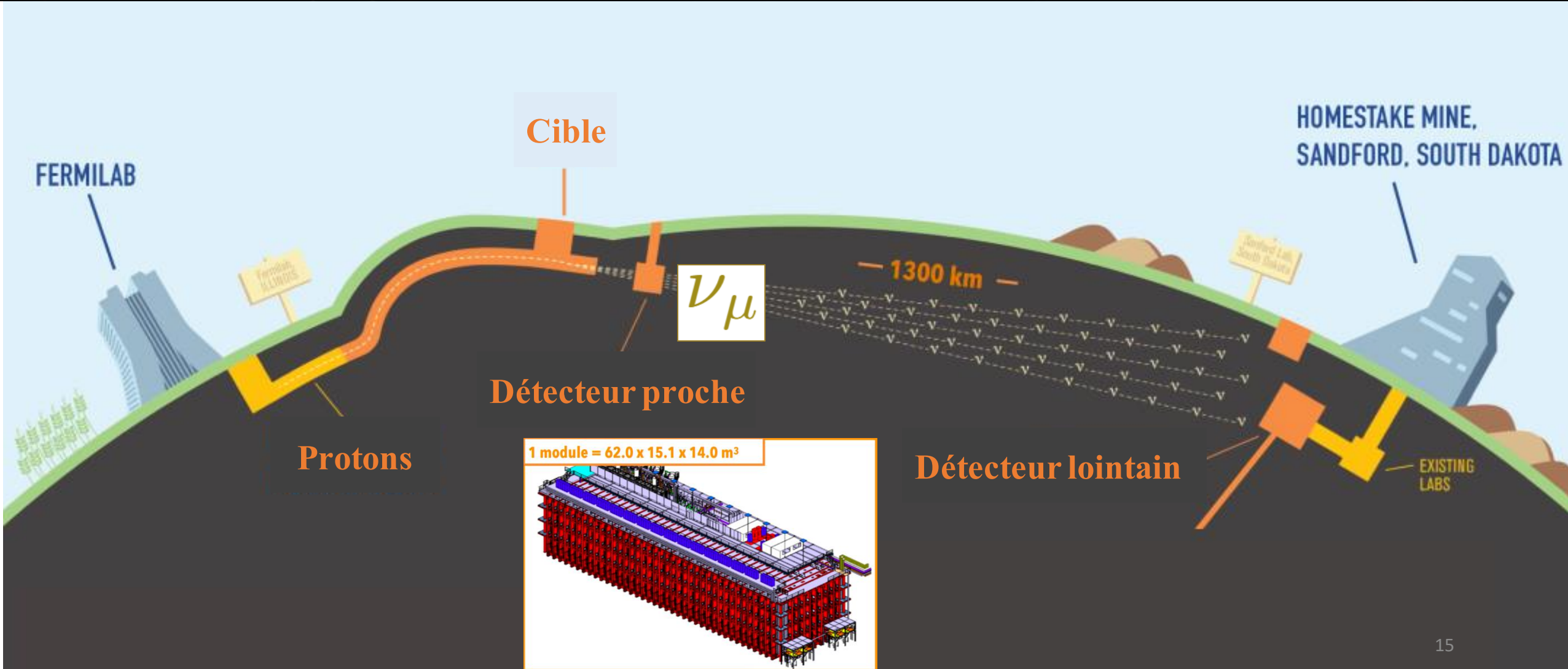
Construction du faisceau

**Zone de
désintégration**



Par conservation de l'impulsion les neutrinos sont dirigés dans le sens du mouvement des pions

DUNE - Deep Underground Neutrino Experiment



L'oscillation des neutrinos

Initialement

$$|\nu_{\mu}\rangle$$

L'oscillation des neutrinos

Initialement

$$|\nu_\mu\rangle = \sin \theta |\nu_1\rangle - \cos \theta |\nu_2\rangle$$

L'oscillation des neutrinos

Initialement

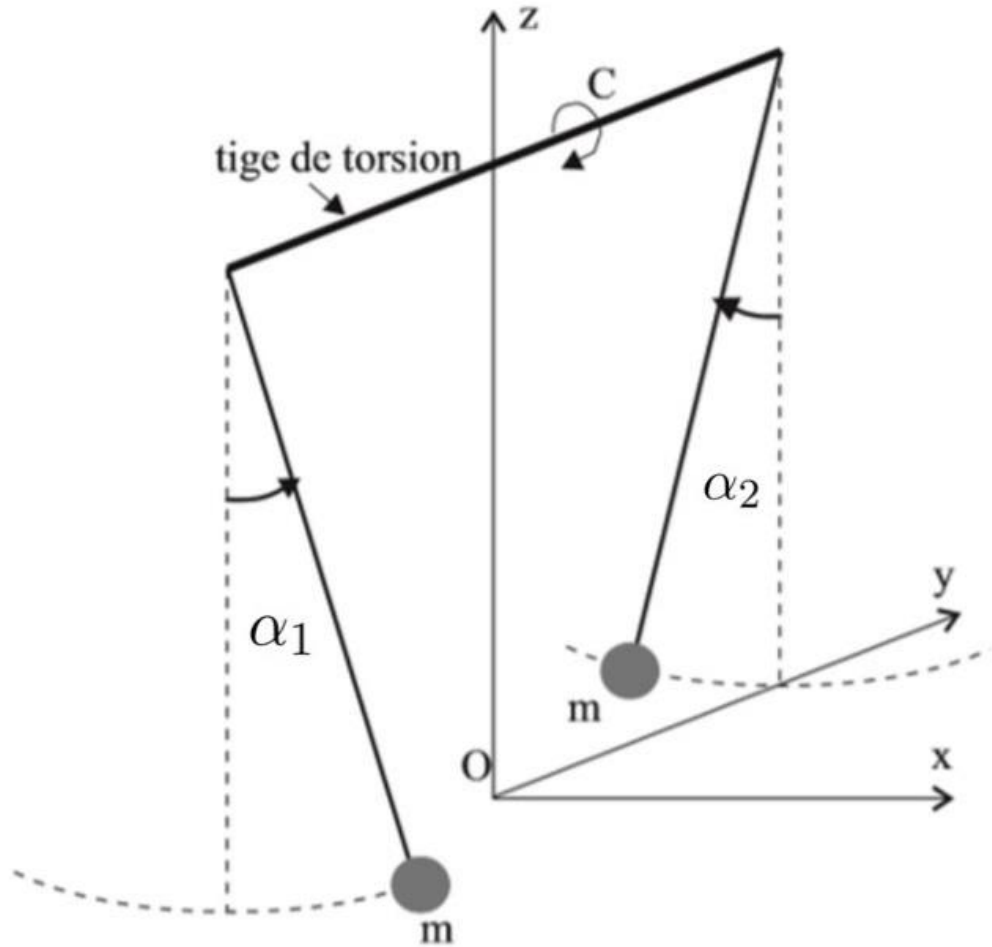
$$|\nu_\mu\rangle = \sin \theta |\nu_1\rangle - \cos \theta |\nu_2\rangle$$

**Au cours du
temps**

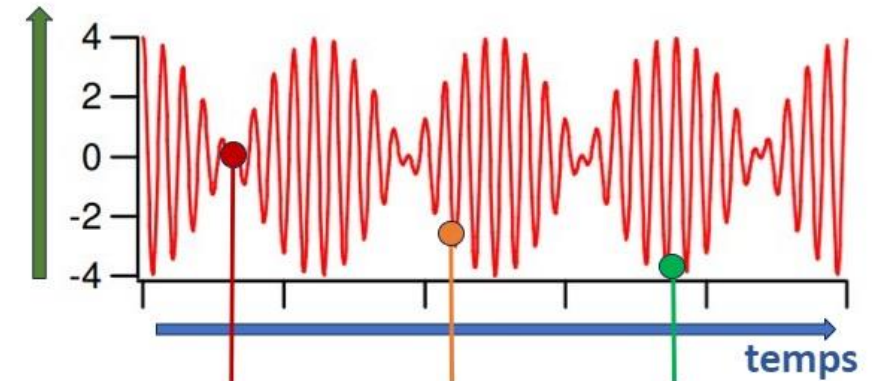
$$|\nu(t)\rangle = \sin \theta e^{-i \frac{E_1}{\hbar} t} |\nu_1\rangle - \cos \theta e^{-i \frac{E_2}{\hbar} t} |\nu_2\rangle$$

L'oscillation des neutrinos

Analogie avec le mouvements de pendules couplés



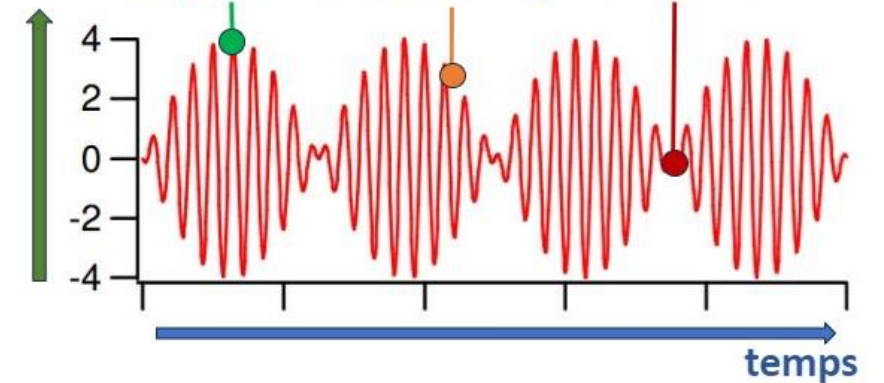
α_1



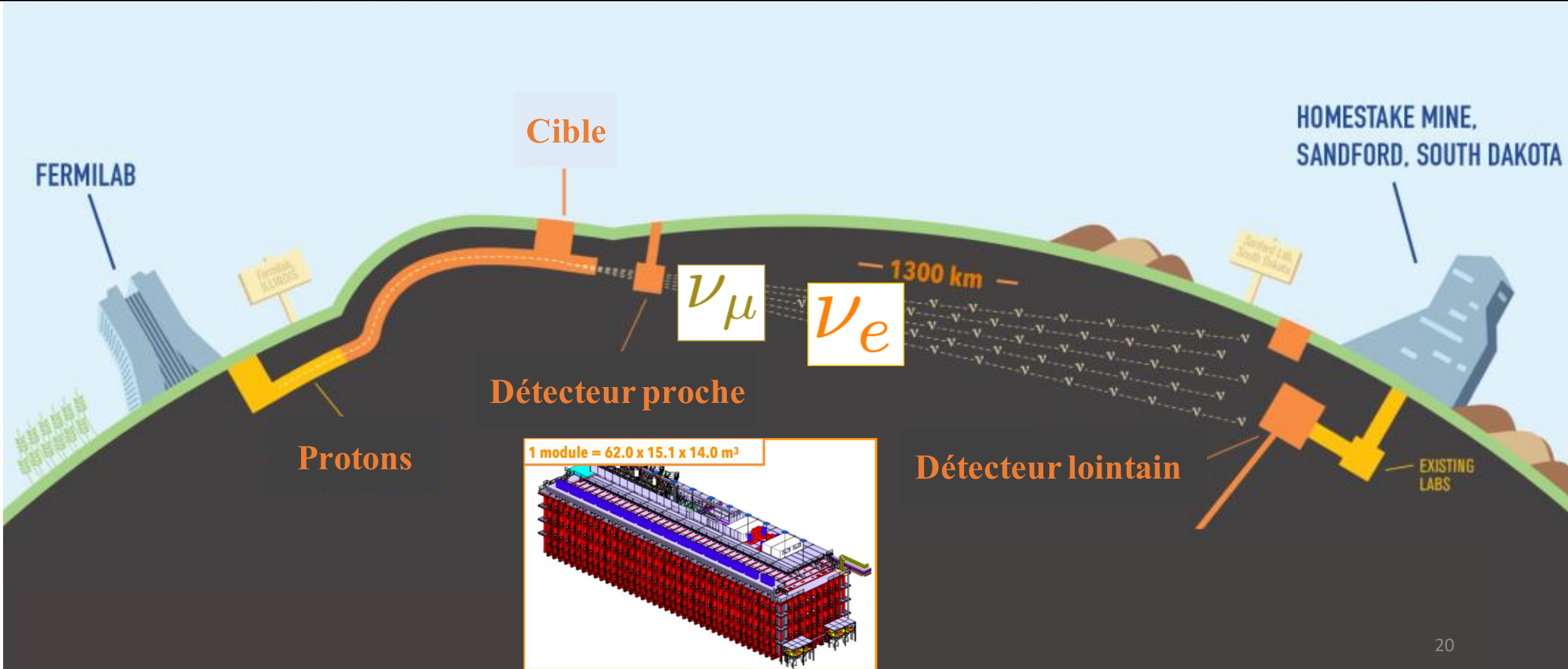
$$P_{ee}(t) = 0 \quad P_{ee}(t) = \frac{1}{2} \quad P_{ee}(t) = 1$$

$$P_{e\mu}(t) = 1 \quad P_{e\mu}(t) = \frac{1}{2} \quad P_{e\mu}(t) = 0$$

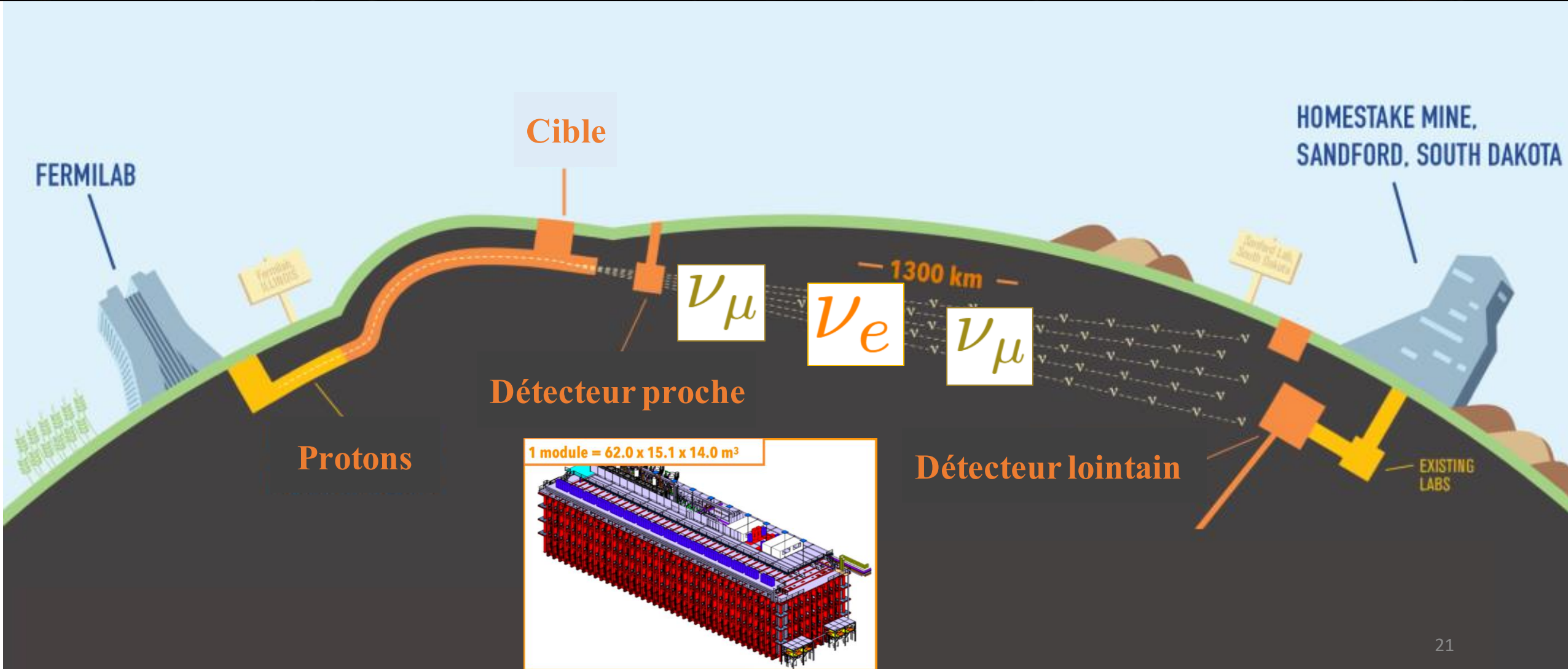
α_2



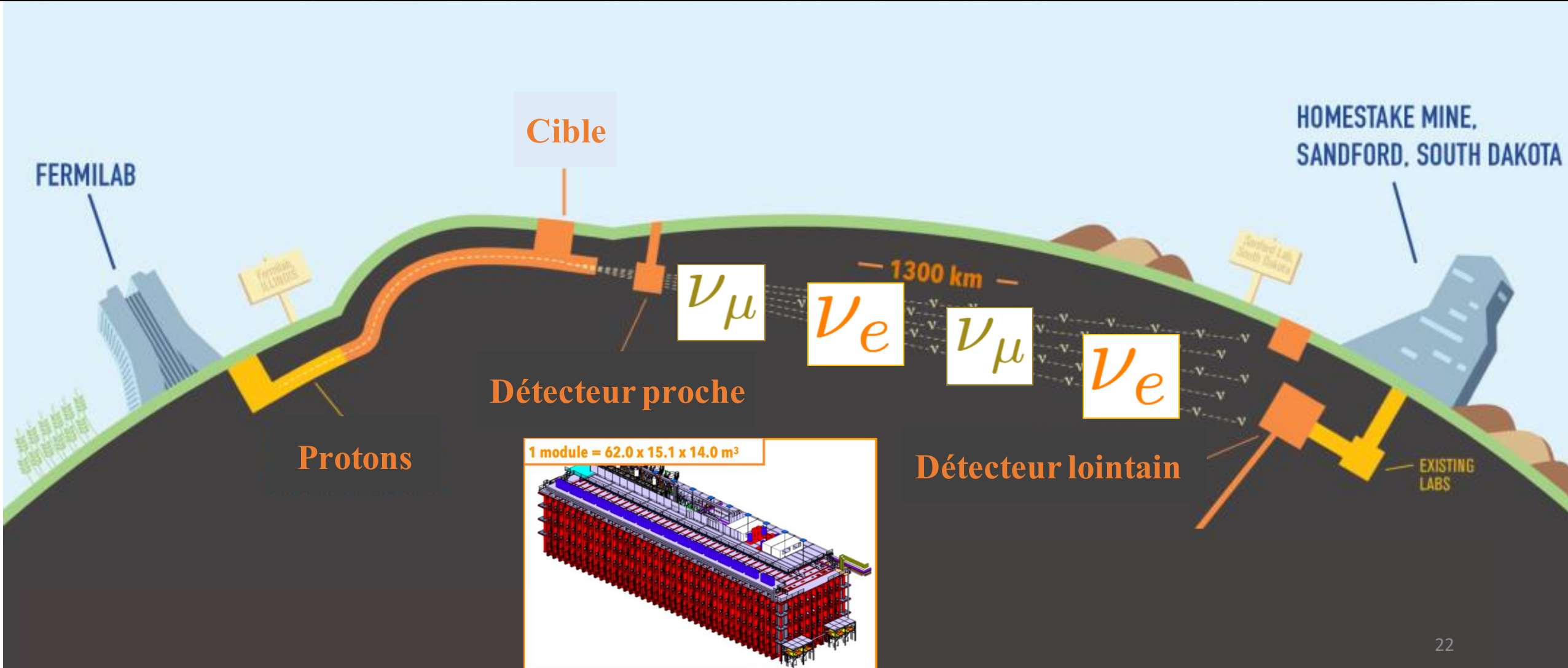
DUNE - Deep Underground Neutrino Experiment



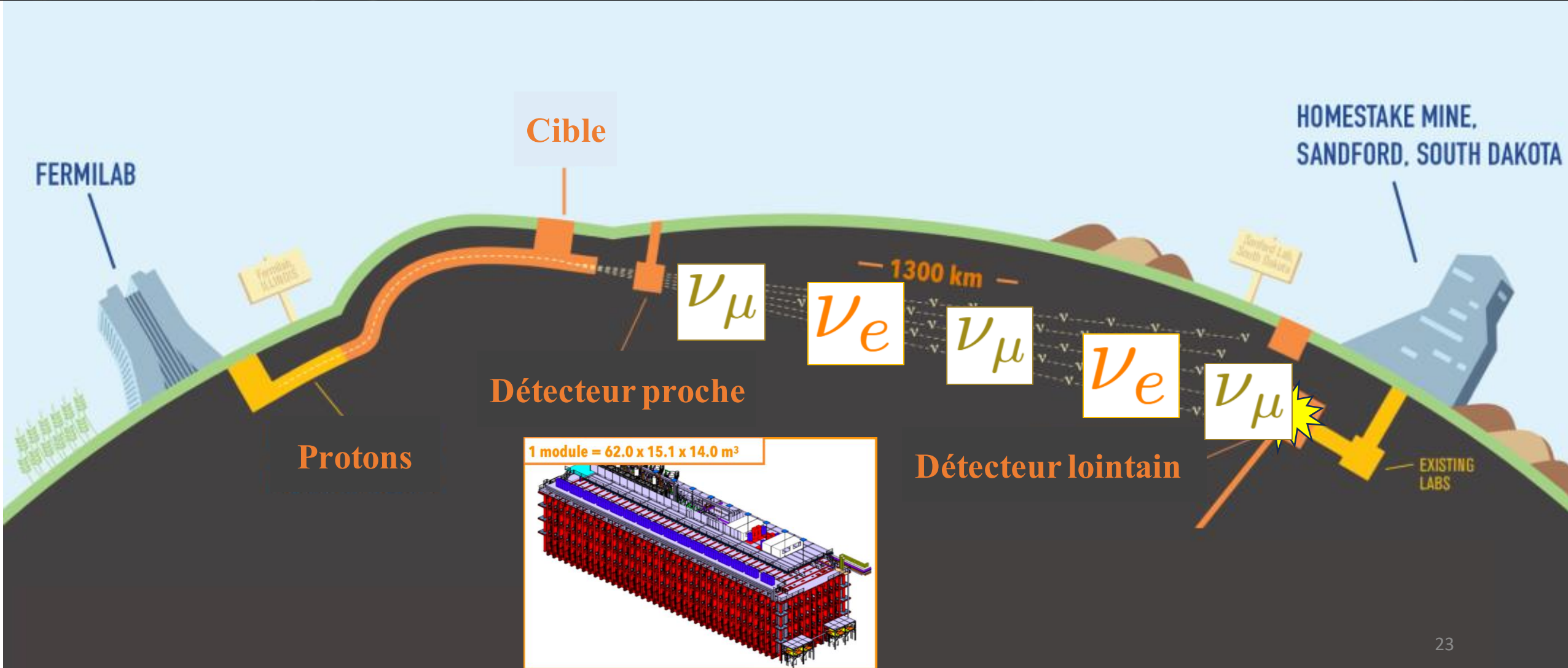
DUNE - Deep Underground Neutrino Experiment



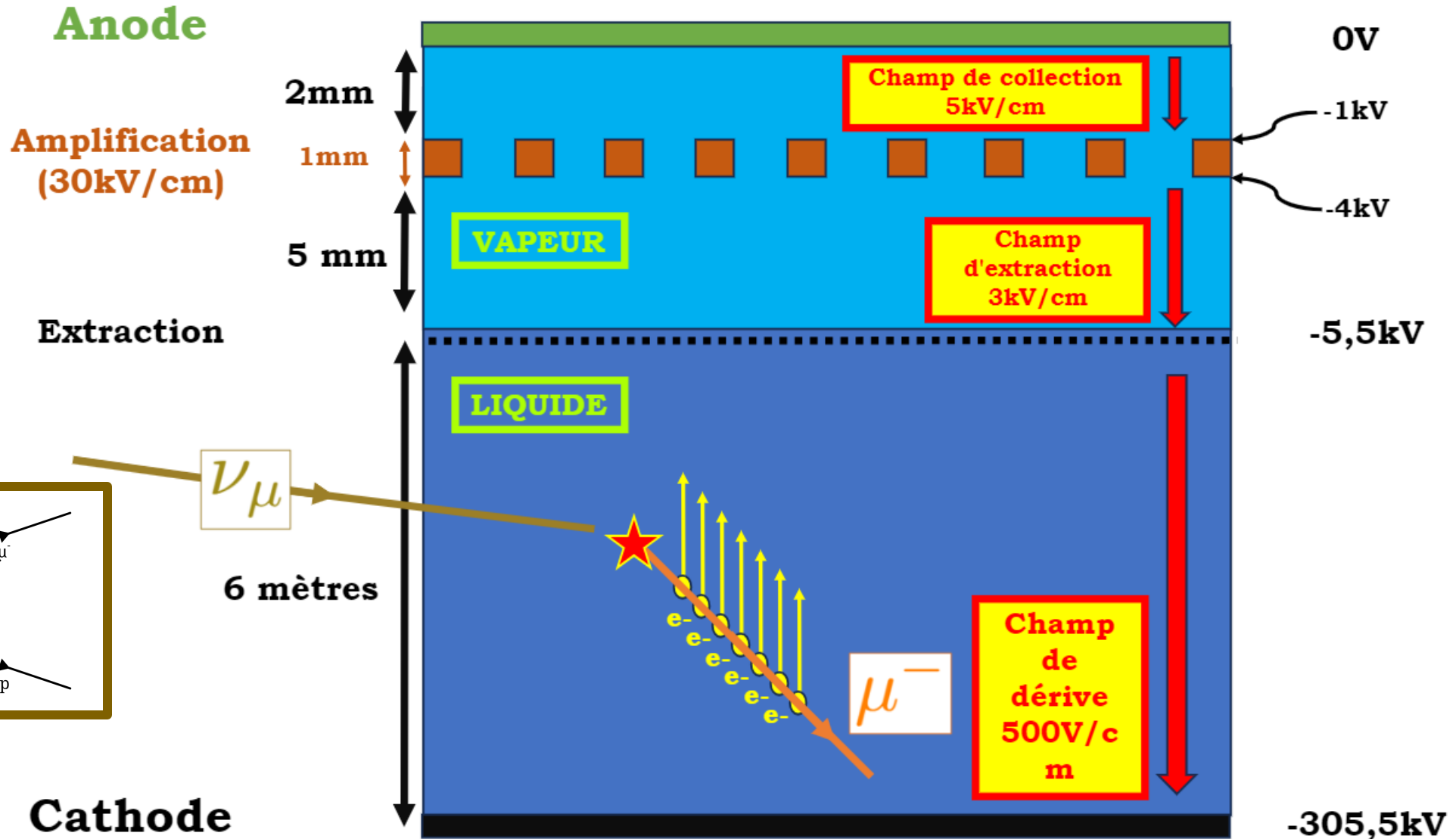
DUNE - Deep Underground Neutrino Experiment



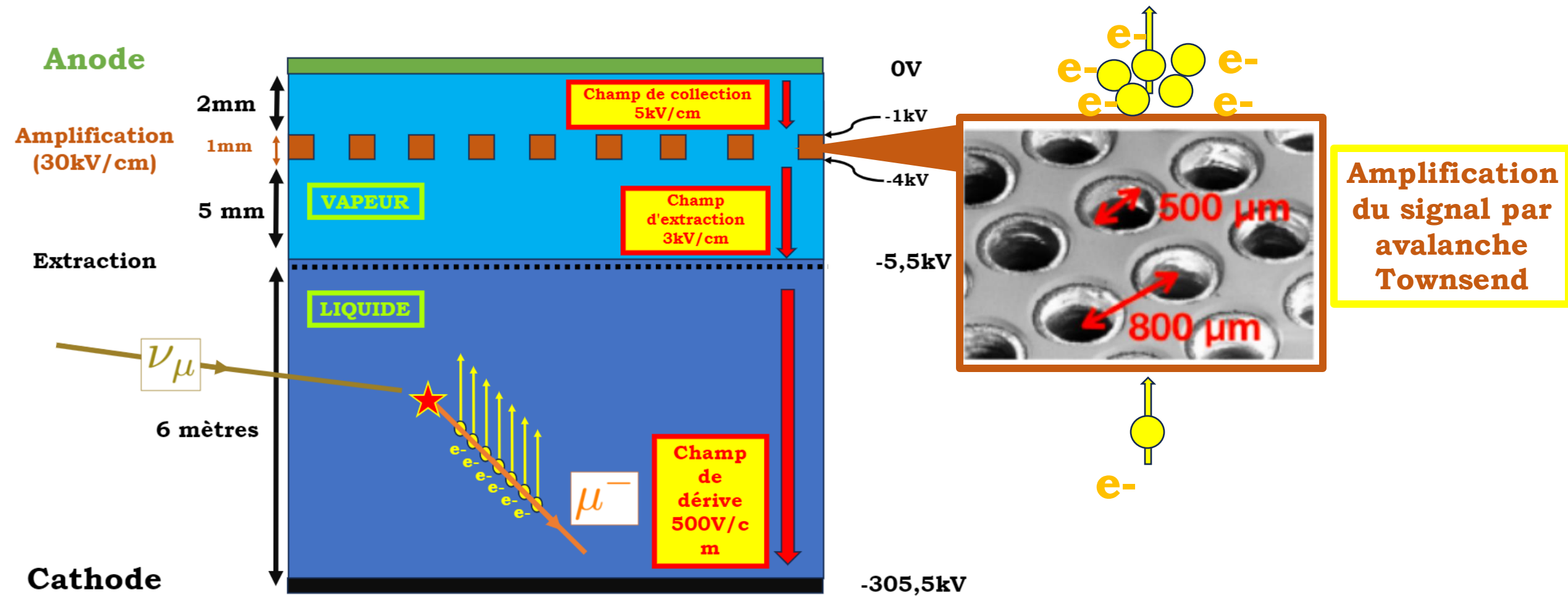
DUNE - Deep Underground Neutrino Experiment



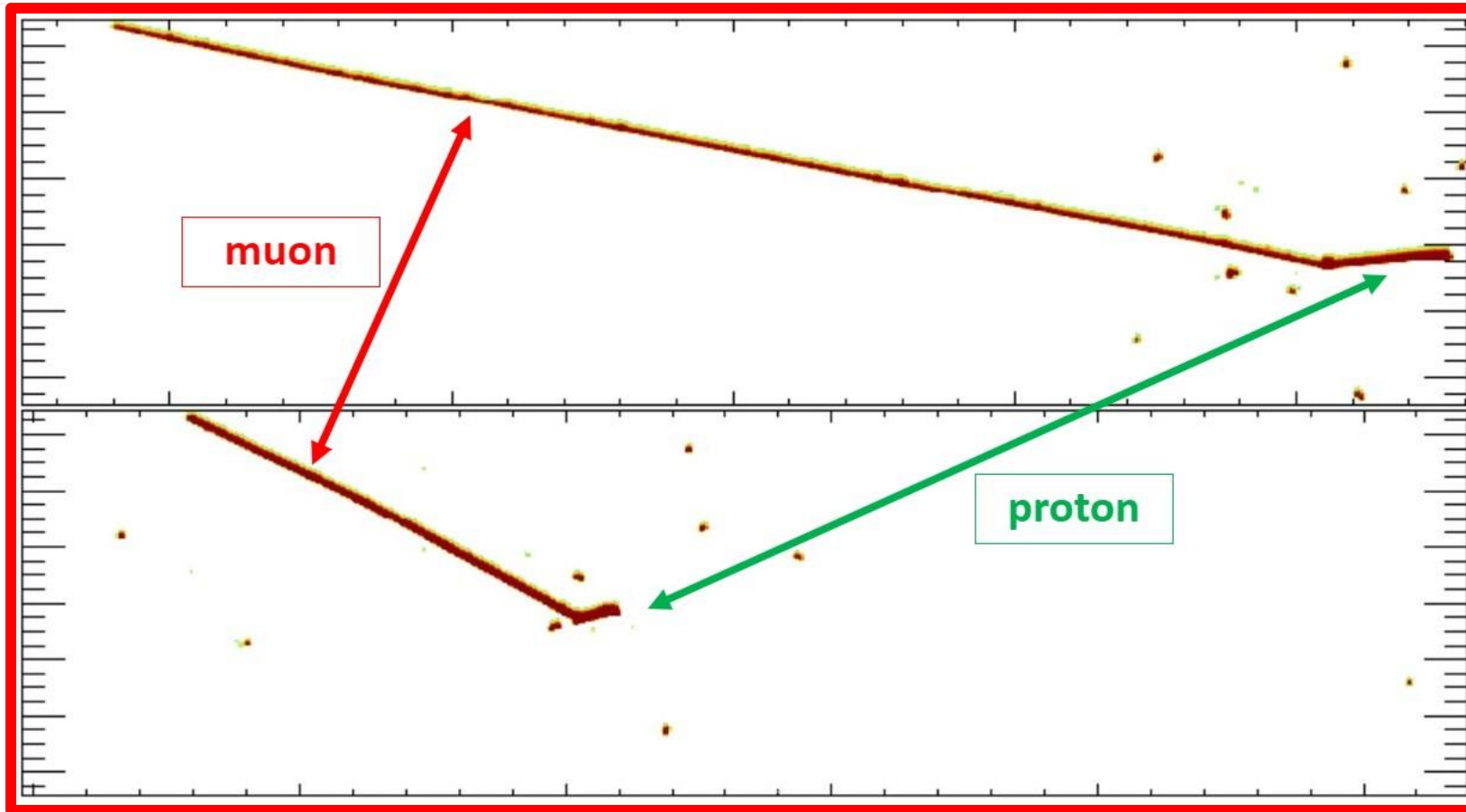
Principe de détection



Principe de détection



Principe de détection





Sommaire

I. Parcours

II. Neutrinos et DUNE

**III. Activité sur la simulation et
identification de particules**

Simulation et identification de particules

Activités pour les étudiants

Simulation et identification de particules

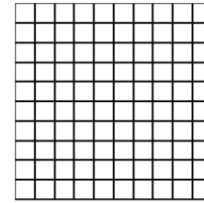
Activités pour les étudiants

Simulation et identification de particules

Activités pour les étudiants

Partie I - Simulateur

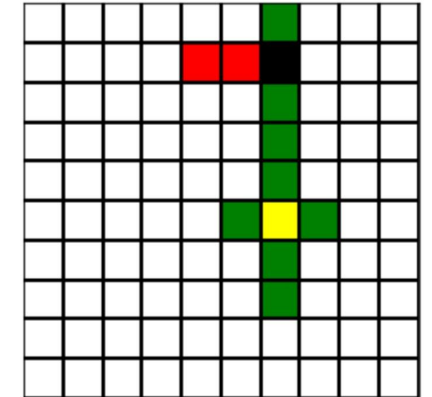
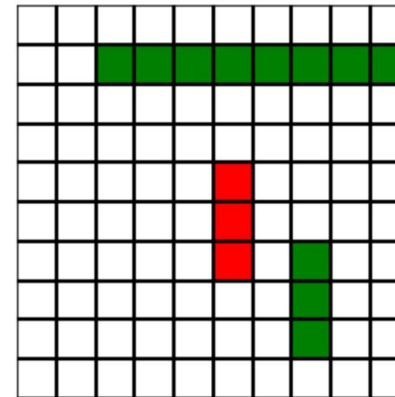
- Modélisation du détecteur : Grille 10x10



Objectif : Ecrire un code simulant des évènements avec 1 proton 1 muon et 1 pion

Topologie des traces :

- Proton : 3 cases d'énergie $E = 3$ par case
- Muon : 8 cases d'énergie $E = 1$ par case
- Pion : 3 cases d'énergie $E = 1$ par case



Contrainte : Les particules doivent être contenues dans le détecteur (image grille simulée)

Simulation et identification de particules

Activités pour les étudiants

Partie I - Simulateur

Objectif : Ecrire un code simulant des évènements avec 1 proton 1 muon et 1 pion

Contrainte : Les particules doivent être contenues dans le détecteur (image grille simulée)

```
data = np.zeros((10, 10))
#####                                PARTIE A - SIMULATION (à faire par les étudiants)

L_short = 3
L_long = 8

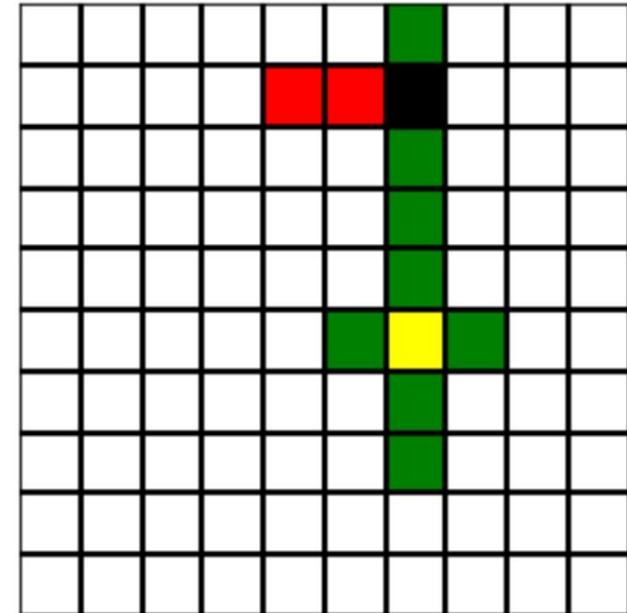
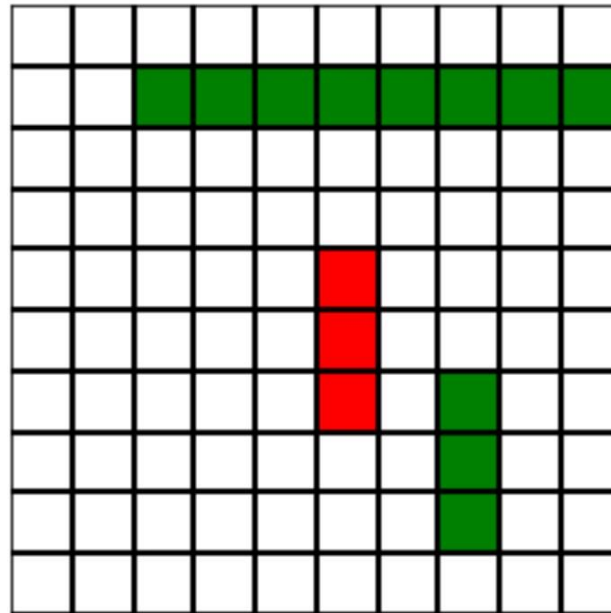
E_low = 1
E_high = 3

def simulateur (N_proton, N_muon, N_pion) :

    ###Simulation des protons
    for k in range (N_proton) :
        n = random()
        if n < 0.5 : direction = 0
        else : direction = 1
        #Tirage de la direction de propagation
        #Direction horizontale
        #Direction verticale

        if direction == 0 :
            x = randint (0, 7)
            y = randint(0, 9)
            #Tirage de la position initiale
            for i in range (L_short) :
                data[x+i, y] += E_high

        if direction == 1 :
            x = randint (0, 9)
            y = randint(0, 7)
            #Tirage de la position initiale
            for i in range (L_short) :
                data[x, y+i] += E_high
```



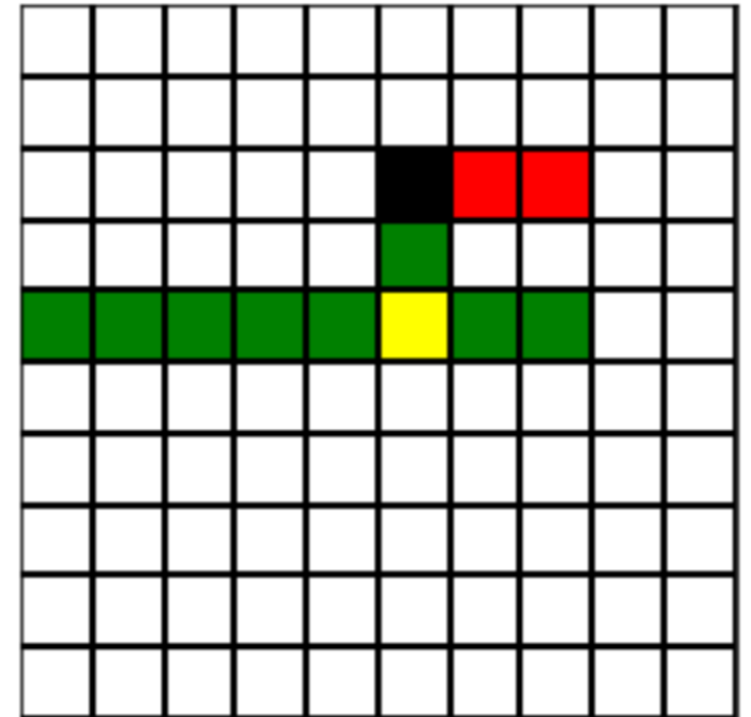
Simulation et identification de particules

Activités pour les étudiants

Partie II - Identification

- On fournit la grille simulée sous la forme d'un numpy array avec son contenu en particules ainsi que leur topologie.

Objectif : Associer les traces aux particules en donnant l'origine et la direction de chacune des traces



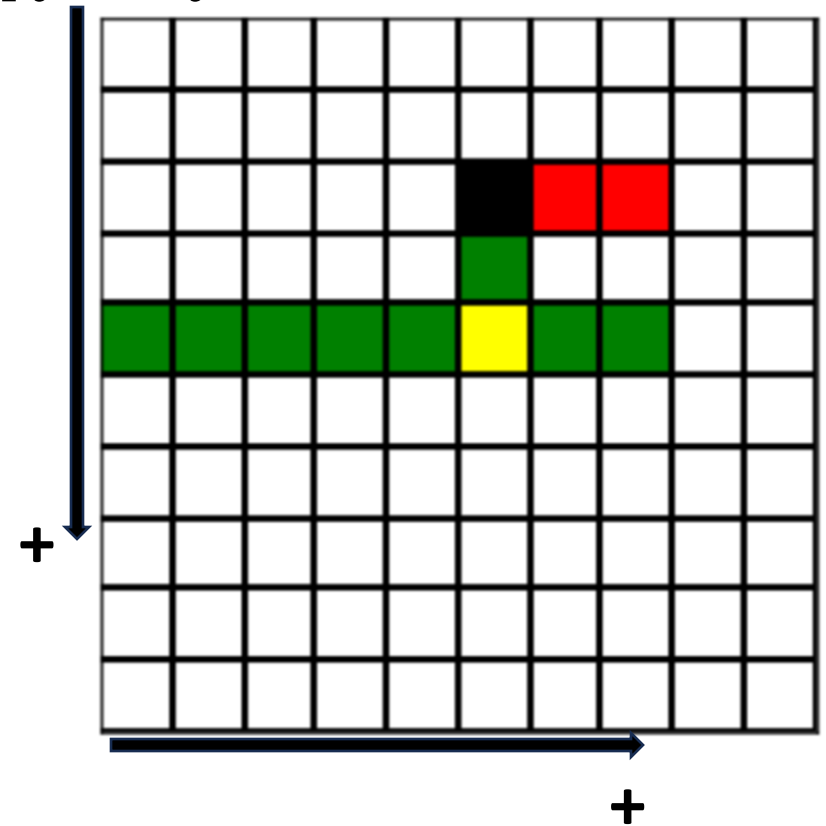
Simulation et identification de particules

Activités pour les étudiants

Partie II - Identification

- On fournit la grille simulée sous la forme d'un numpy array avec son contenu en particules ainsi que leur topologie.

Objectif : Associer les traces aux particules en donnant l'origine et la direction de chacune des traces



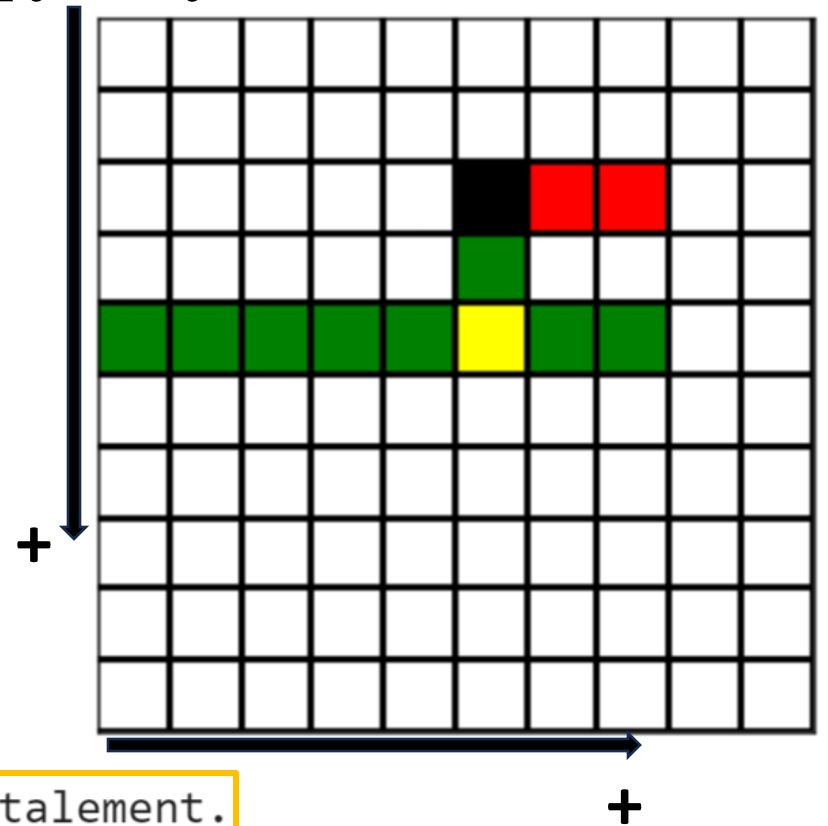
Simulation et identification de particules

Activités pour les étudiants

Partie II - Identification

- On fournit la grille simulée sous la forme d'un numpy array avec son contenu en particules ainsi que leur topologie.

Objectif : Associer les traces aux particules en donnant l'origine et la direction de chacune des traces



Un proton a été détecté en (2 , 5) et s'est propagé horizontalement.
Un muon a été détecté en (4 , 0) et s'est propagé horizontalement.
Un pion a été détecté en (2 , 5) et s'est propagé verticalement.

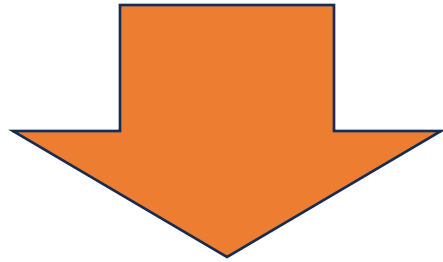
Expérience dans l'enseignement

- 2019 – 2021 : 128h de TD à l'IUT Paris (Thermodynamique, Microcontrôleurs, Algèbre linéaire) + 2h de TD en physique des neutrinos L3
- 2022-2023 : Observation et intervention en classe de seconde au Lycée Montaigne

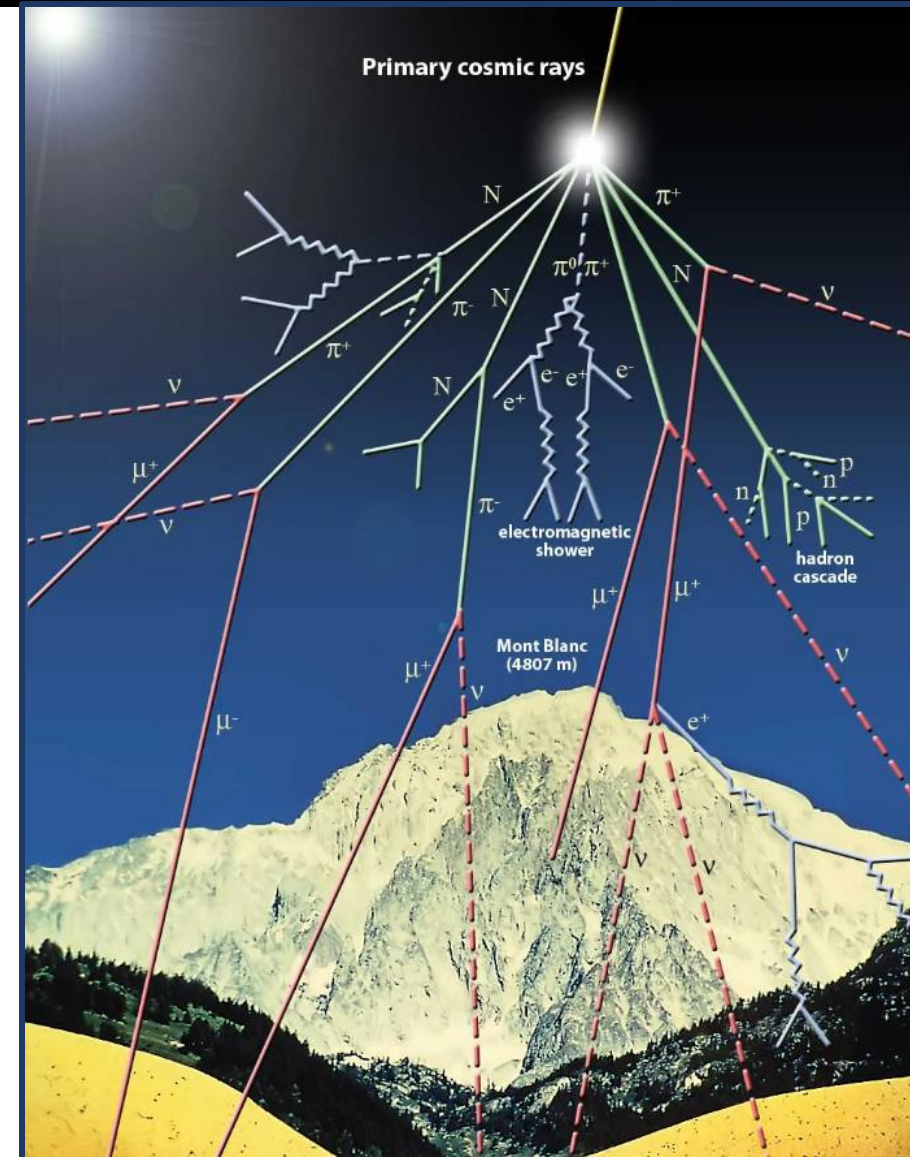
Merci pour votre attention !

Des muons envahissants

Due aux effets relativistes, une quantité importante de muons atteint la surface.

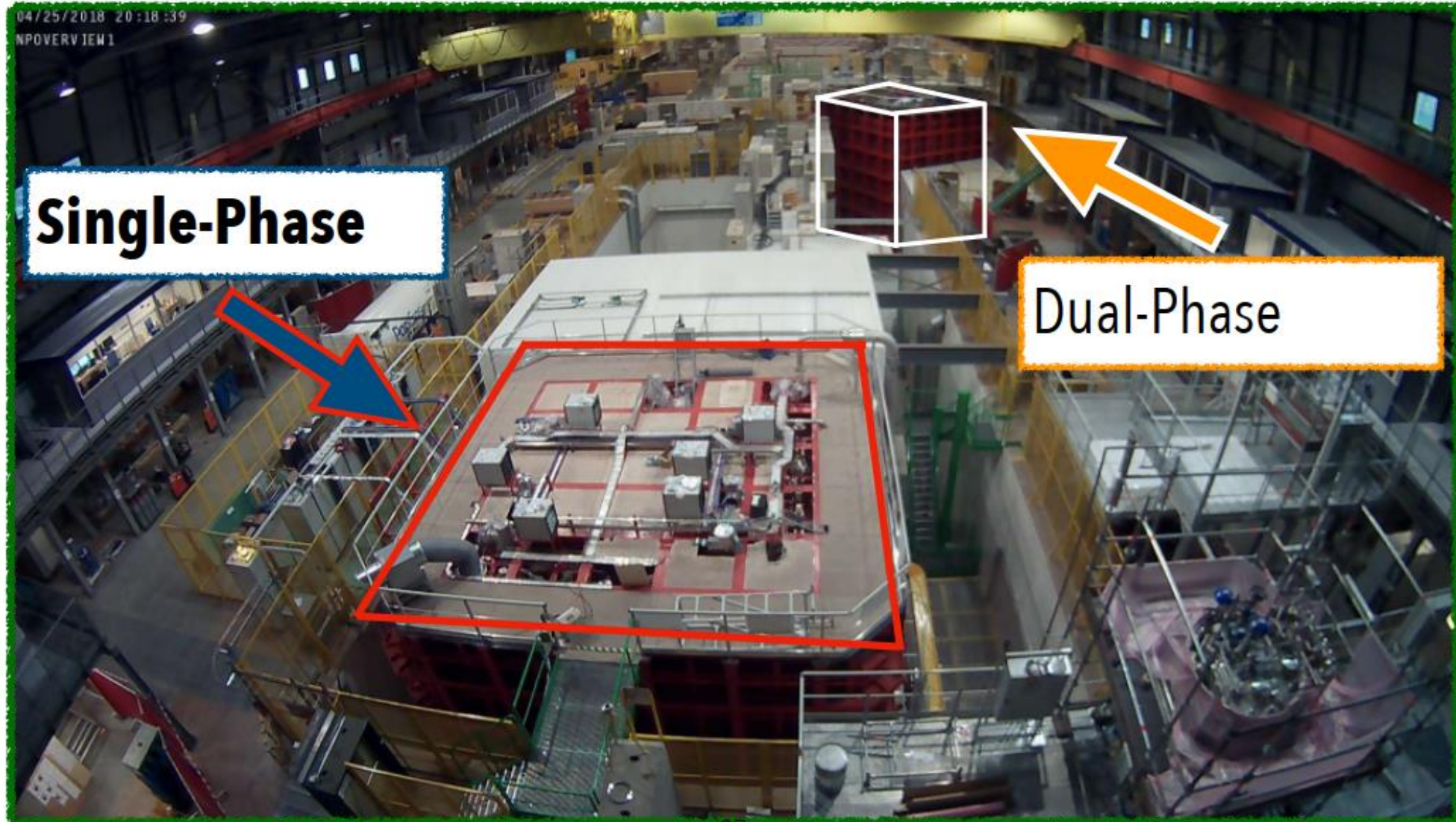


Le détecteur doit être enfoui 1,5km sous terre.



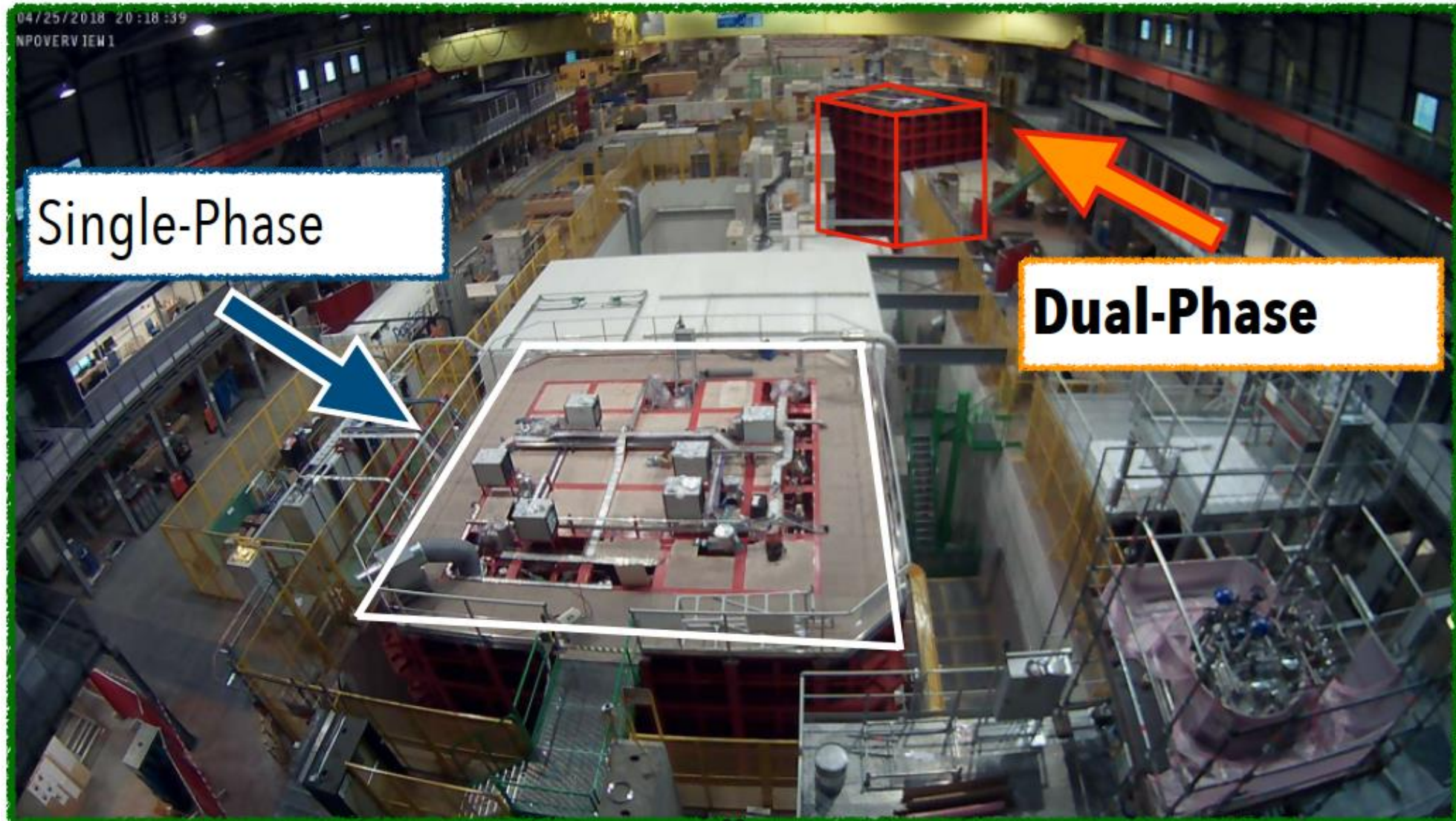
Détecteurs de DUNE

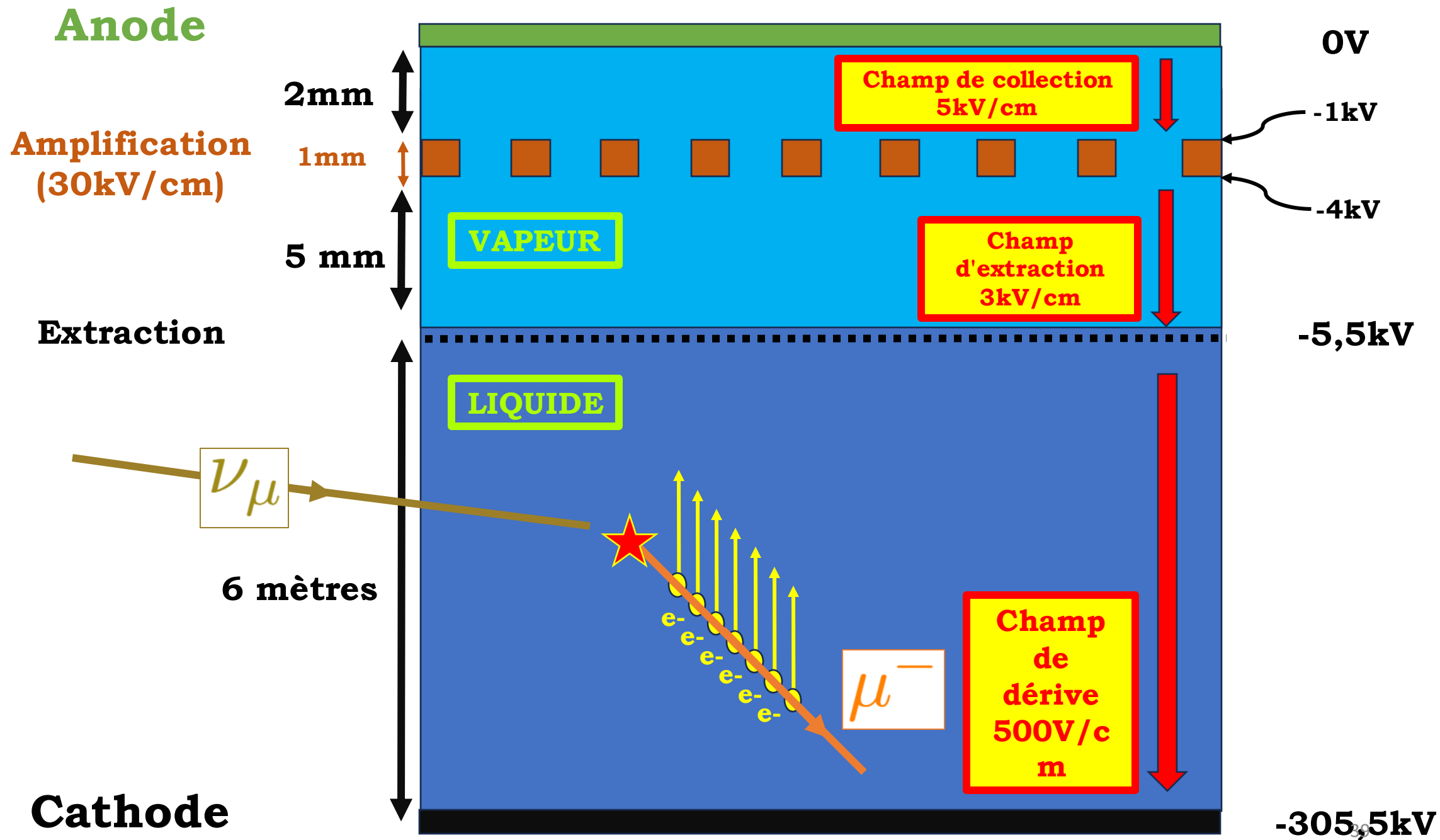
Deux prototypes à l'étude

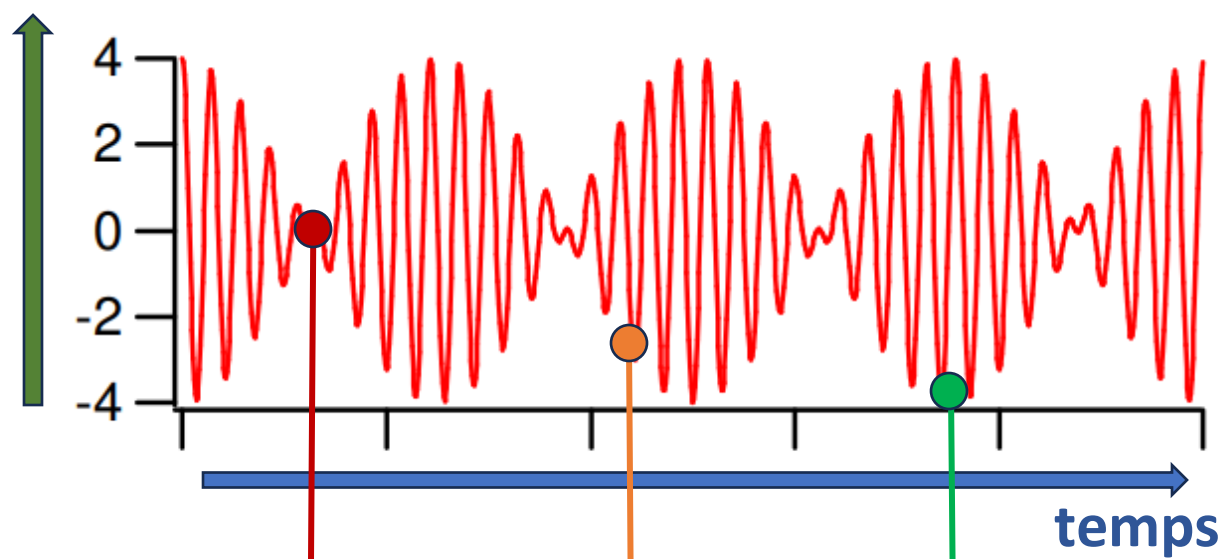


Détecteurs de DUNE

Deux prototypes à l'étude





α_1 

$$P_{ee}(t) = 0 \quad P_{ee}(t) = \frac{1}{2} \quad P_{ee}(t) = 1$$

$$P_{e\mu}(t) = 1 \quad P_{e\mu}(t) = \frac{1}{2} \quad P_{e\mu}(t) = 0$$

 α_2 