

Performances de l'Expérience ProtoDUNE Double Phase

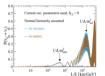
Présentation Deuxième Année de Thèse Pablo Kunzé

Encadré par Laura Zambelli & Dominique Duchesneau 9 juillet 2021



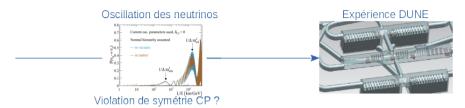


Oscillation des neutrinos



Violation de symétrie CP?

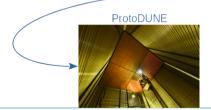






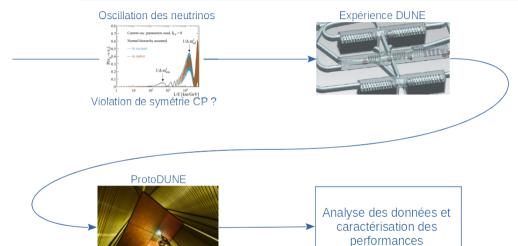














Oscillation des neutrinos



Dans le modèle standard : 3 neutrinos



neutrino



neutrino



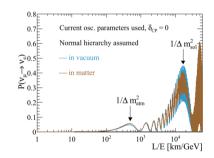
neutrino

Oscillation des neutrinos : Un neutrino peut changer de saveur au cours de sa propagation

→ Les neutrinos ont une masse

On connaît les θ et Δm^2 à quelques % DUNE veut déterminer précisément :

- Hiérarchie des masses (5 σ au bout de 3 ans)
- Violation symétrie CP domaine des ν ($\delta_{CP}=0$ exclu à 5σ avec 50% des valeurs au bout de 10 ans)



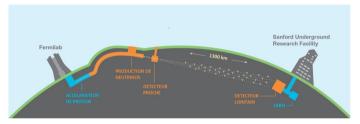


L'Expérience DUNE



Principe : Après une grande distance de propagation, mesure de $P(\nu_{\mu} \rightarrow \nu_{\mu})$,

$$\overline{P(ar{
u}_{\mu}
ightarrowar{
u}_{\mu})},\ P(
u_{\mu}
ightarrow
u_{e})\ ext{et}\ P(ar{
u}_{\mu}
ightarrowar{
u}_{e})$$



Source : Faisceaux pur u_{μ} ou $\bar{\nu}_{\mu}$ produit auprès d'un accélérateur

 $\mathsf{E}_{
u} \sim \mathsf{GeV}$

Détecteur : 1300 km de la source et à 1480 m de profondeur

4 modules Argon Liquide de $60 \times 12 \times 12 \, \text{m}^3$ soit $10 \, \text{kt}$ chacun

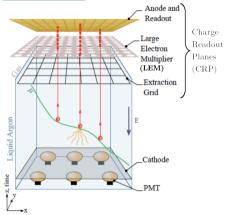
Chambre à Projection Temporelle (TPC)



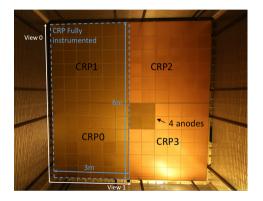
ProtoDUNE Double Phase TPC à Argon Liquide



Double Phase



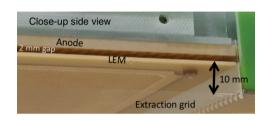
CRP vus du bas du détecteur





Objectifs de performances ProtoDUNE DP





ProtoDUNE DP doit montrer:

- ► Champ de dérive de 500 V/cm sur 6 m
- ► Gain optimal : \sim 20
- stabilité dans le temps
- ▶ Pureté de 100 ppt d' O_2 ($\tau = 3 \text{ ms}$ temps de vie des e⁻)

ProtoDUNE DP $6 \times 6 \times 6 \,\mathrm{m}^3$ 300 t détectant les rayons cosmiques.

Données prises sur plusieurs jours en Septembre, Octobre, Novembre 2019 et Janvier 2020.

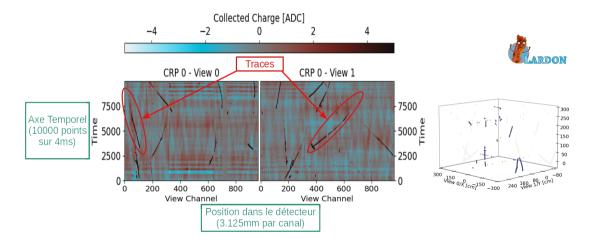
Nouvelle prise de données prévue Automne 2021.

Observable :
$$\frac{dQ}{ds}|_{\text{collect\'ee}} = G \cdot R(E_{\text{d\'erive}}) \cdot \frac{dQ}{ds}|_{\text{cr\'e\'e}} e^{-t/\tau}$$



Exemple d'un évènement pour un CRP



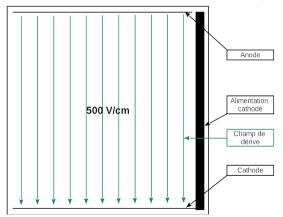




Champ de dérive



Pour le bon fonctionnement d'une TPC à Argon Liquide, le champ de dérive doit être uniforme et pour ProtoDUNE DP de $500\,\mathrm{V/cm}$:

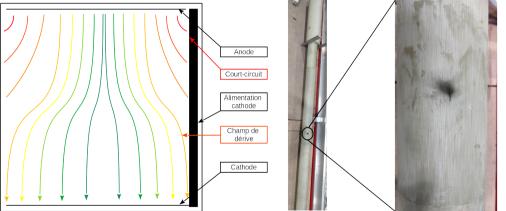




Champ de dérive



Mais, court-circuit dans l'alimentation de la cathode :



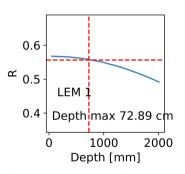
Rendant l'analyse bien plus complexe et ne permettant pas de tester pleinement la

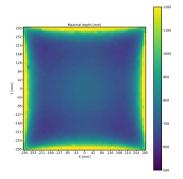
technologie.

Définition d'une profondeur maximale



Avec une simulation COMSOL incluant le court circuit, on a le champ électrique. Pour l'analyse, on veut se restreindre à un zone où le champ varie peu. Pour ça, on veut que le facteur de recommbinaison (qui dépend du champ de dérive) ne varie pas de plus de 2% :





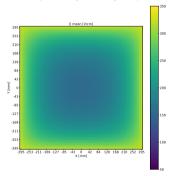
On obtient une profondeur maximale en chaque point du détecteur.





Carte de champ issu de simulation $COMSOL \rightarrow Paramétrisation$ du champ en fonction de la position (X,Y) avec un fit 2D et en se restreignant aux profondeurs maximales

Champs moyenné jusqu'à la profondeur maximale



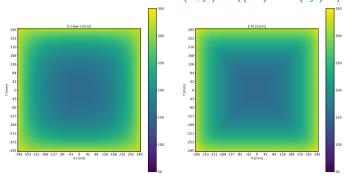




Carte de champ issu de simulation $COMSOL \rightarrow Paramétrisation$ du champ en fonction de la position (X,Y) avec un fit 2D et en se restreignant aux profondeurs maximales

Champs moyen

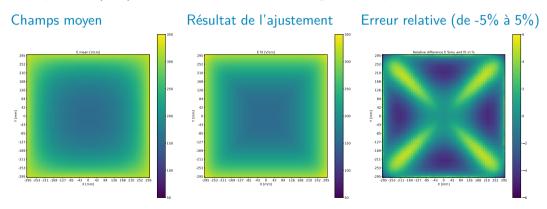
Résultat de l'ajustement avec Squircle $E(x, y) = ((ax)^{10} + (ay)^{10})^{1/4} + b$







Carte de champ issu de simulation $COMSOL \rightarrow Paramétrisation$ du champ en fonction de la position (X,Y) avec un fit 2D et en se restreignant aux profondeurs maximales

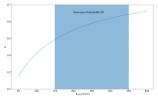






On est intéressé par $\frac{dQ}{ds}$ Lors de la reconstruction des traces, pour chaque hits trouvés :

► Correction de la charge dQ car affecté par le facteur de recombinaison qui dépend du champ de dérive



► Calcul du ds $(ds = \sqrt{dx^2 + dy^2 + dz^2})$ en corrigeant le dz avec la vitesse de dérive correspondant au champ paramétré

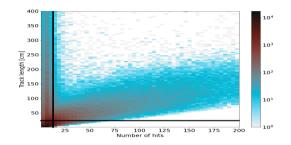


Sélection des traces



On veut des μ ($\frac{dQ}{ds}$ =7.27 fC/cm par vue) et des traces de bonnes qualités :

- ► Traces en retard et rentrant par l'anode (le haut du détecteur)
- ► Nombre de hits dans la trace
- ► Longueur de la trace
- ► Angle zénithal de la trace





Analyse de cosmiques : pureté de l'Argon liquide

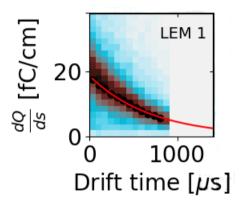


Dans un premier temps, on veut retrouver la pureté ou le temps de vie des électrons dans l'Argon liquide avec $\frac{dQ}{ds}|_{\text{collectée}} = G \cdot R(E_{\text{dérive}}) \cdot \frac{dQ}{ds}|_{\text{créée}} e^{-t/\tau}$:

- Les électrons sont capturés par les impuretés pendant leur dérive dans l'Argon liquide selon $e^{-t/\tau}$ avec t le temps de dérive et τ le temps de vie des électrons $\left(\rho[\mathrm{ppt}]\sim\frac{300}{\tau[\mathrm{ms}]}\right)$
- ► En ajustant la distribution du $\frac{dQ}{ds}|_{collect\acute{e}}$ en fonction du temps de dérive, on peut alors retrouver le temps de vie des électrons



Pureté de l'Argon liquide pour un run d'Octobre 2019 Pp

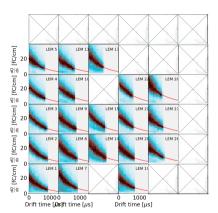


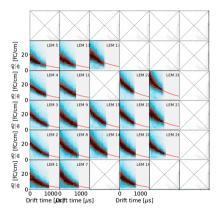
- : MPV (Valeur la plus probable) Ajustement Landau ® Gaussien
- : Ajustement exponentiel



Pureté de l'Argon liquide pour un run d'Octobre 2019 Pp



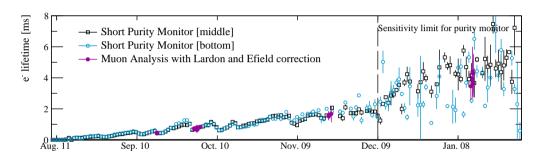




Retrait des LEMs sur le bord du détecteur et qui ne sont pas aux tensions nominales En movenne $au=760.59\pm78.68\,\mu s$

Comparaison avec les moniteurs de pureté





Les valeurs de temps de vie trouvées sont compatibles avec les moniteurs de pureté. Temps de vie atteint meilleur que prévu.



Autres analyses avec les traces de cosmiques



 $\frac{\mathrm{d}Q}{\mathrm{d}s}|_{\mathrm{collect\acute{e}e}} = G \cdot R(E_{\mathrm{d\acute{e}rive}}) \cdot \frac{\mathrm{d}Q}{\mathrm{d}s}|_{\mathrm{cr\acute{e}\acute{e}e}} e^{-t/ au}$ et pour un muon cosmique, 7.27 fC/cm par vue.

On peut notamment regarder le gain effectif en fonction du champ d'amplification des LEMs :



 Analyses en fonction des autres champs (extraction, dérive) et en fonction du temps



En résumé



- Les non-uniformités du champ de dérive dû au court circuit sont prises en comptes
- Les temps de vie retrouvées par l'analyse sont compatibles avec les moniteurs de pureté
- Analyses sur la charges en cours de finalisation (papier en préparation)
- ▶ J'ai aussi fait 18h d'enseignements de TPs physique et 18h de TPs Outils Logiciels (Calcul avec Maple) en 1ère année d'IUT GEII



Perspectives



- Reprise de données en double phase à l'automne pour tester la nouvelle alimentation de la cathode
 - → Analyse du bruit, de la pureté, du gain...

Double Phase → Vertical drift

- ► Temps de vie très bon
- ► Étude sur le CRP3 (sans amplification)



Confirme faisabilité Vertical drift



► Étude de sensibilité pour DUNE



Merci



Merci de votre attention.



Backup

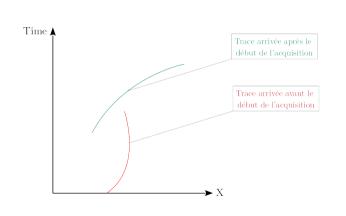


Back-up



Sélection des traces : traces en retard





La prise de données se faisant en déclenchement aléatoire, pour être sûr du temps de dérive des électrons :

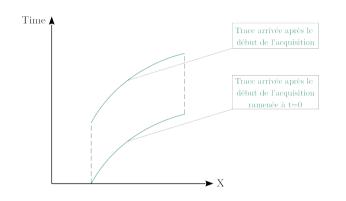
- ► Traces en retard
- ► Traces rentrant du dessus du détecteur





Sélection des traces : traces en retard





Pour être sur du temps de dérive des électrons :

- ► Traces en retard
- Traces rentrant du dessus du détecteur
- On décale ces traces de sorte qu'elles démarrent à t=0



New selections



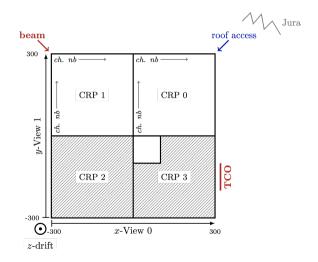
- ► Number of hits in each view > 15
- ► Only late tracks, entering at the anode (to be sure of the track's depth for purity analysis), and with distance between starting point and side of the active volume > 30cm
- ► Track starting point at more than 3*cm* from LEMs borders
- ► All length > 20cm
- ▶ $95^{\circ} < \theta < 178^{\circ}$

► 10% of total tracks passing selections



Lardon conventions

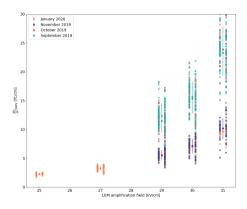






dQ/ds vs LEM amplification

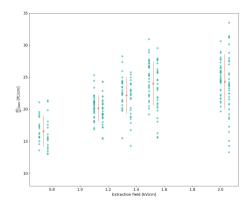






dQ/ds vs extraction

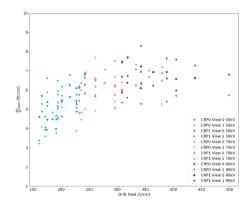






dQ/ds vs champ de dérive







dQ/ds vs champ de dérive CRP 3



