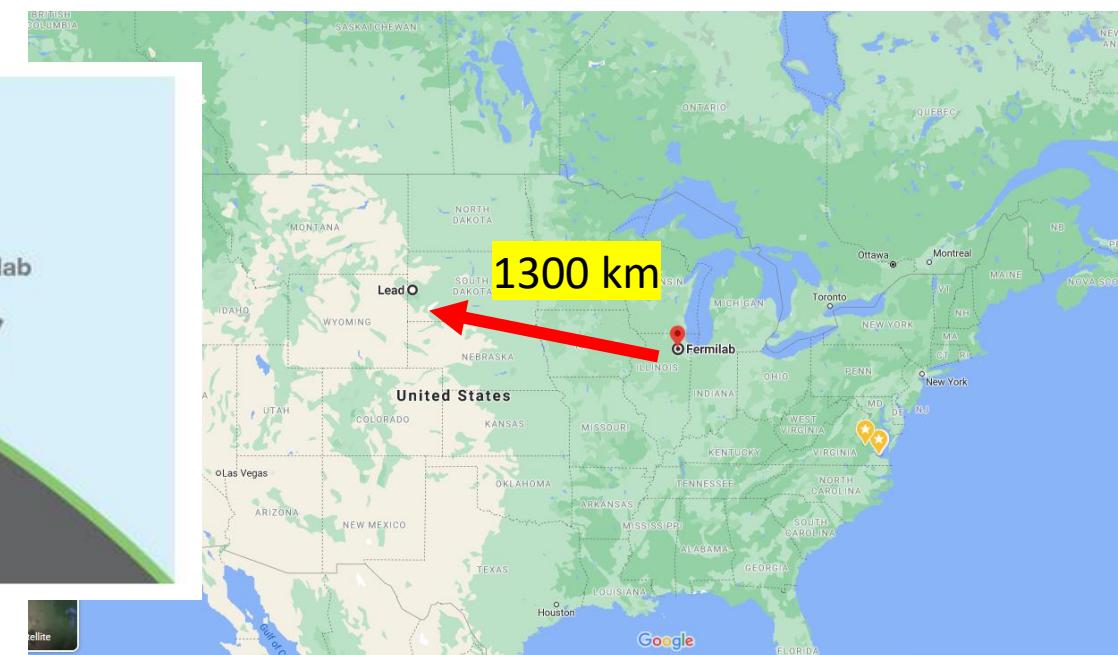
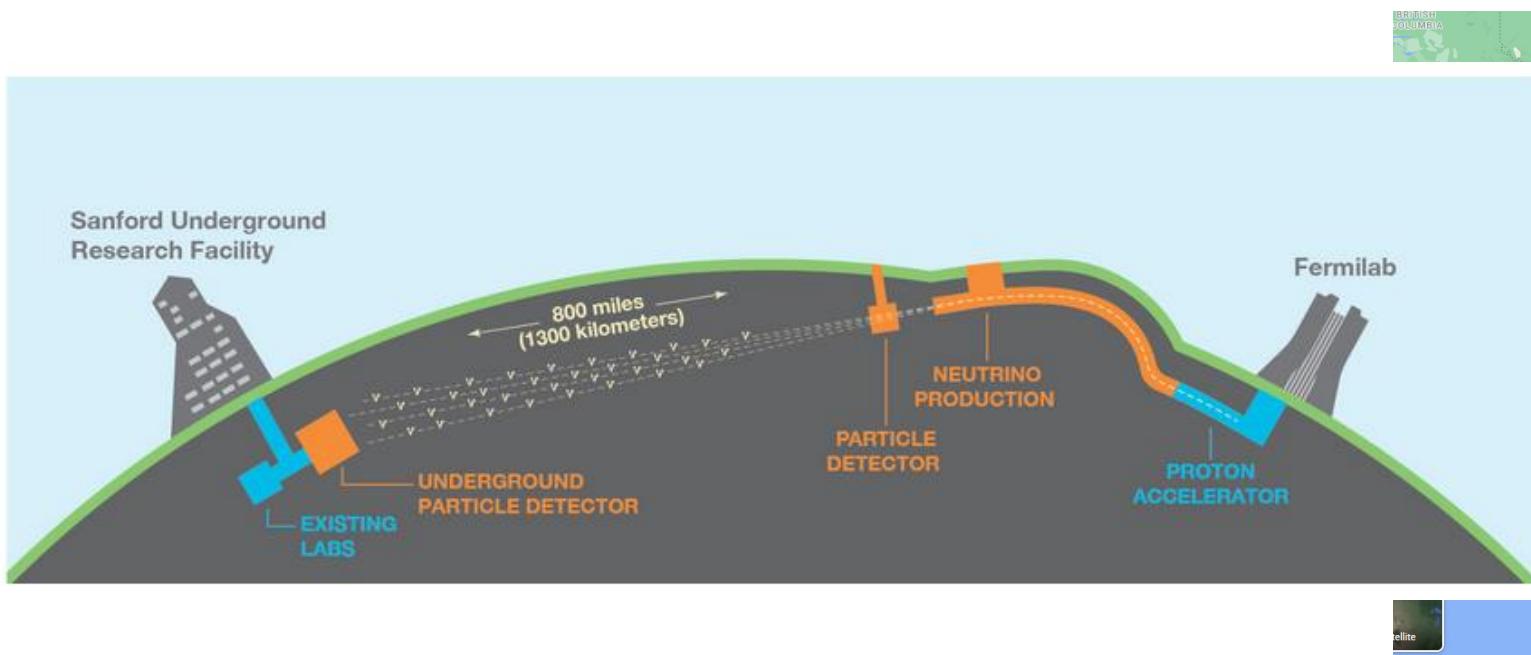


- Développement grille résistive pour la cathode de DUNE en impression 3D
 - En collaboration avec Nicolas Gay / 4D pioneers



Le projet DUNE: un géant international pour étudier les neutrinos

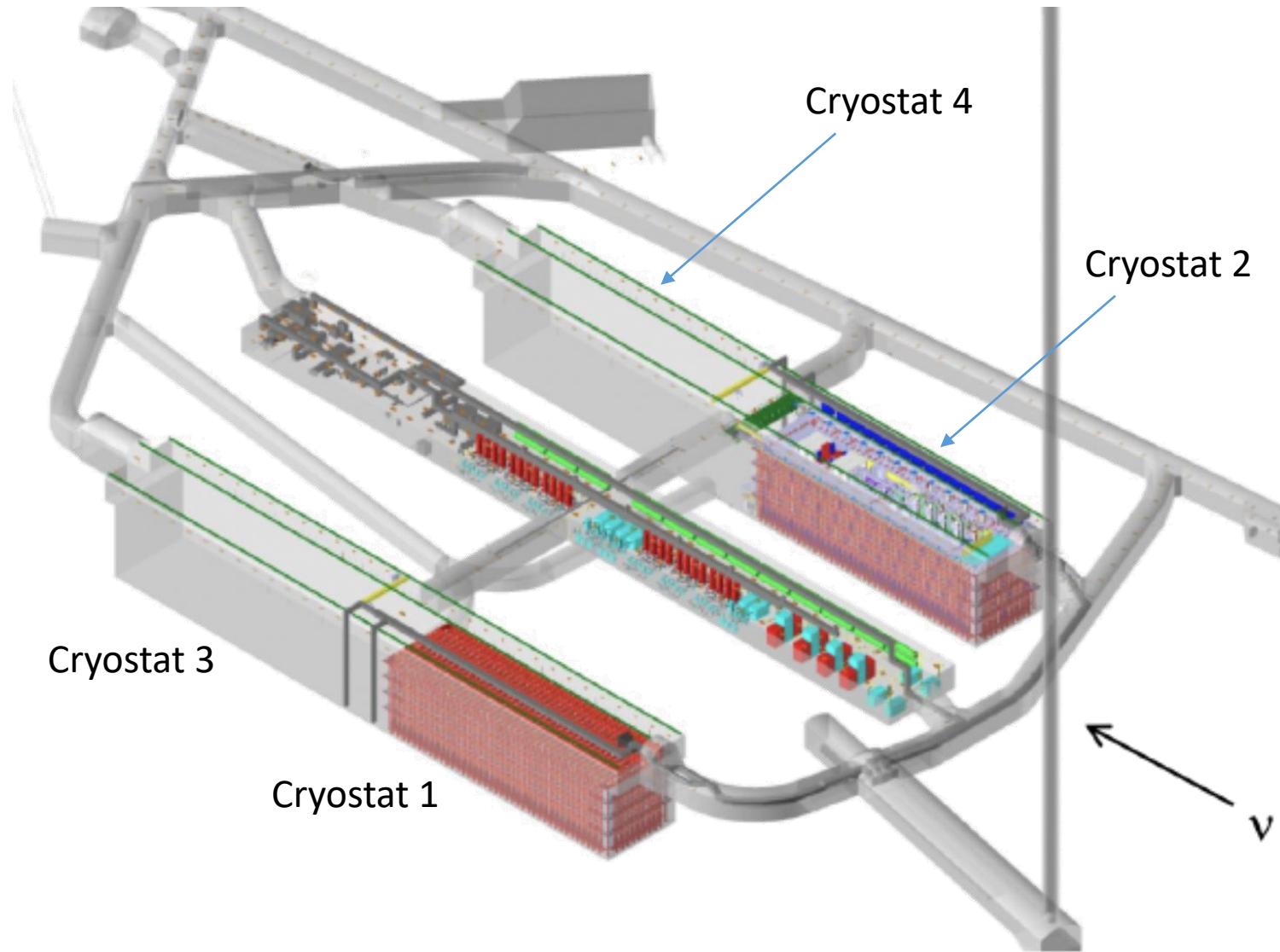
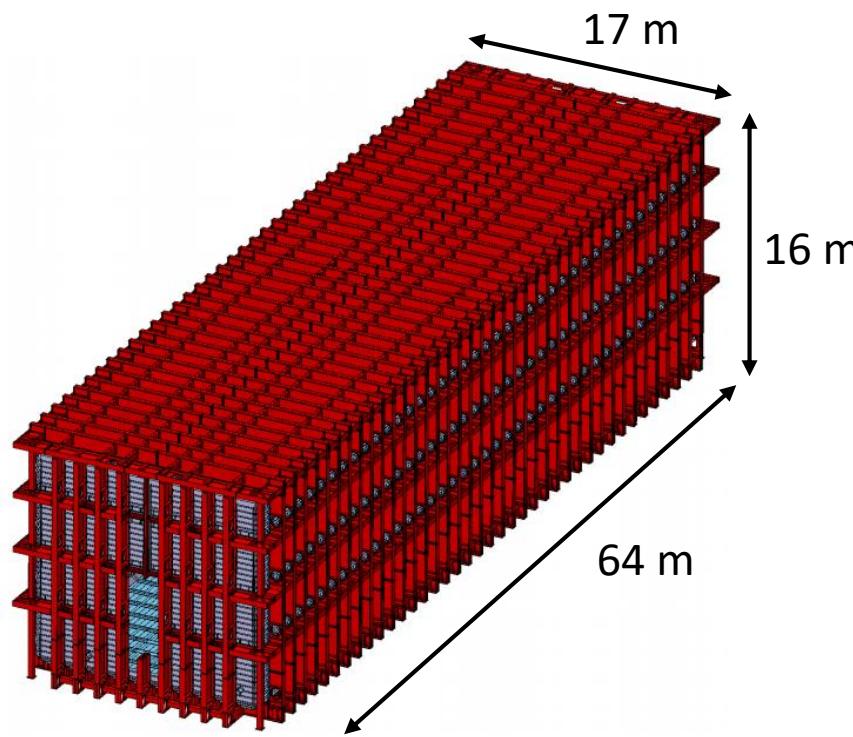
Source à Fermilab (Chicago) → Far detector à 1300 km au SURF (Sanford Underground Research Facility)





FAR détecteur = 4 immenses cryostats

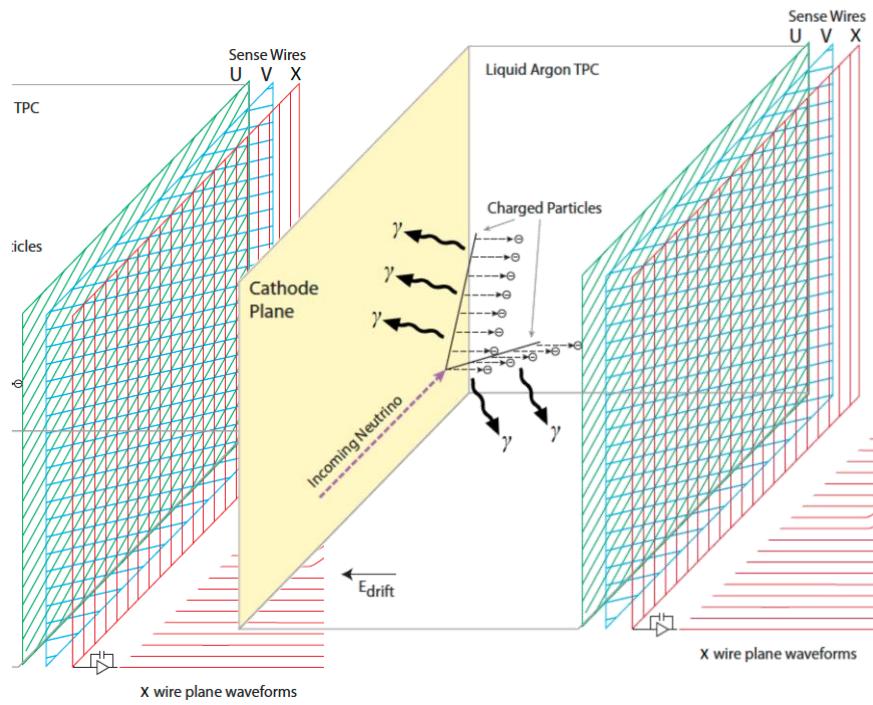
- **1500 mètres sous le sol**
- **4 Cryostats**
- **17400 tonnes d'Argon Liquide (LAr)**
(77 °K / -196°C)



Cryostat 2 : CERN (cryostat) & France (1/2 det) & USA = vertical drift

Budget France IN2P3 = 18 M€

Cryostat 1: USA = horizontal drift



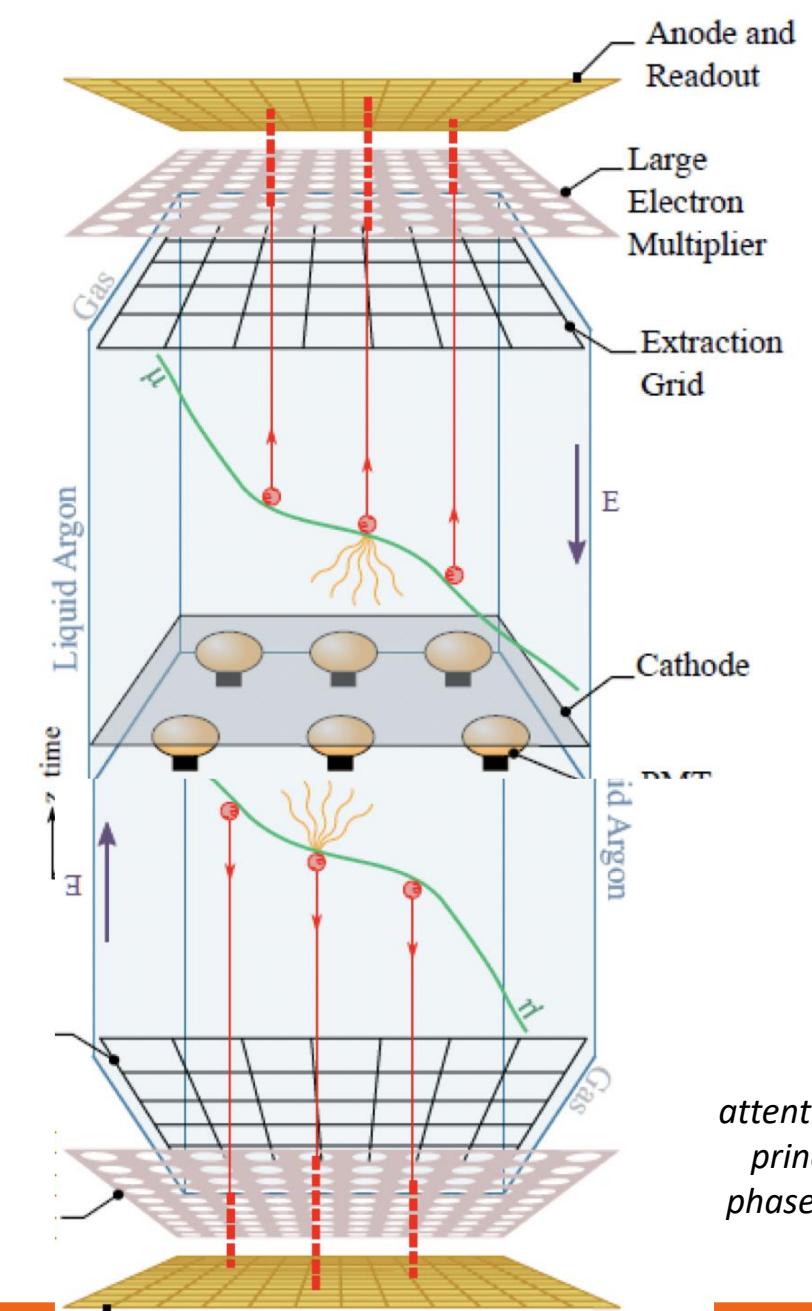
0 Volt

6 m

300 kV

6 m

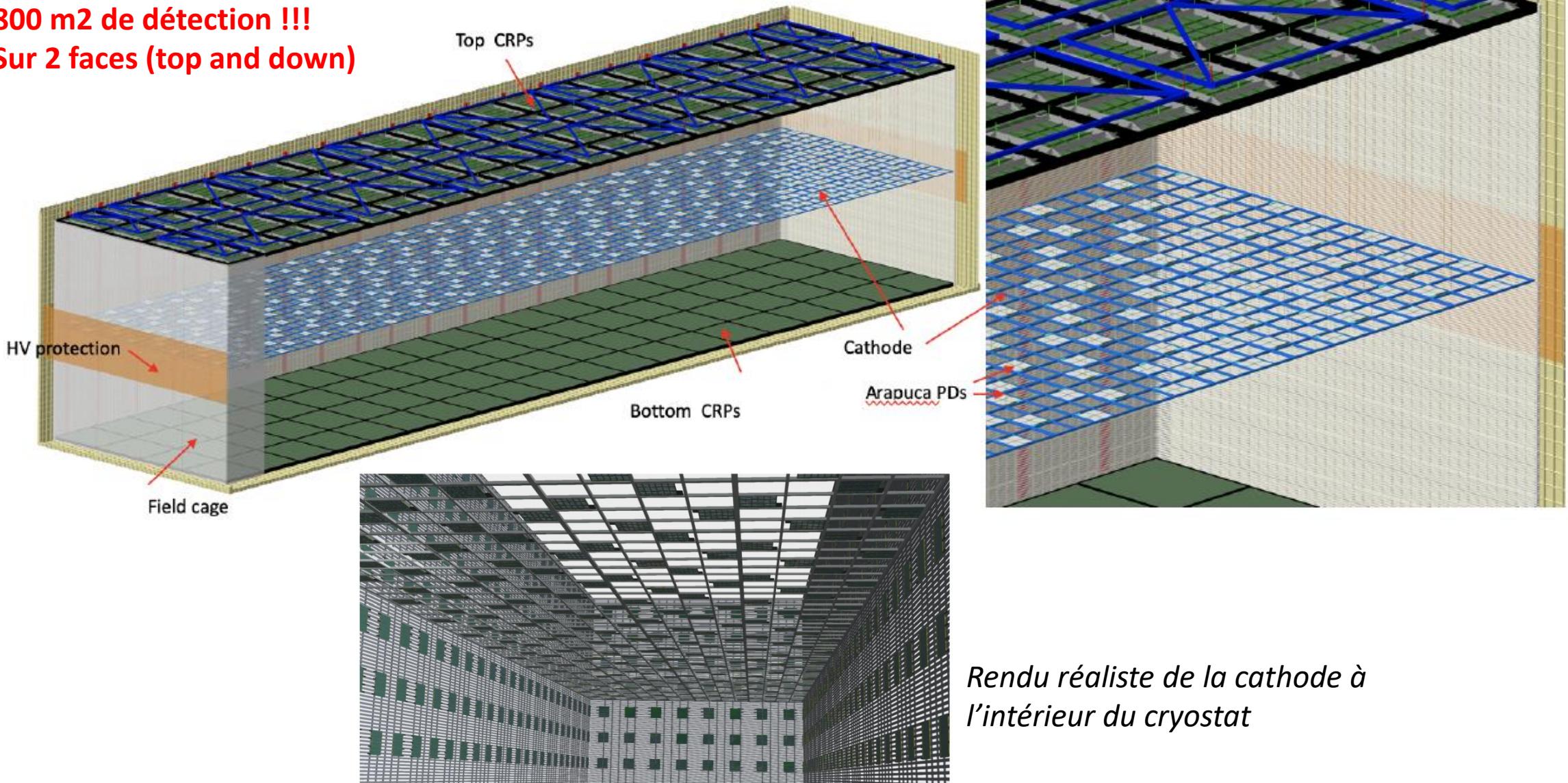
0 Volt





DéTECTEURS DANS UN CRYOSTAT

800 m² de détection !!!
Sur 2 faces (top and down)

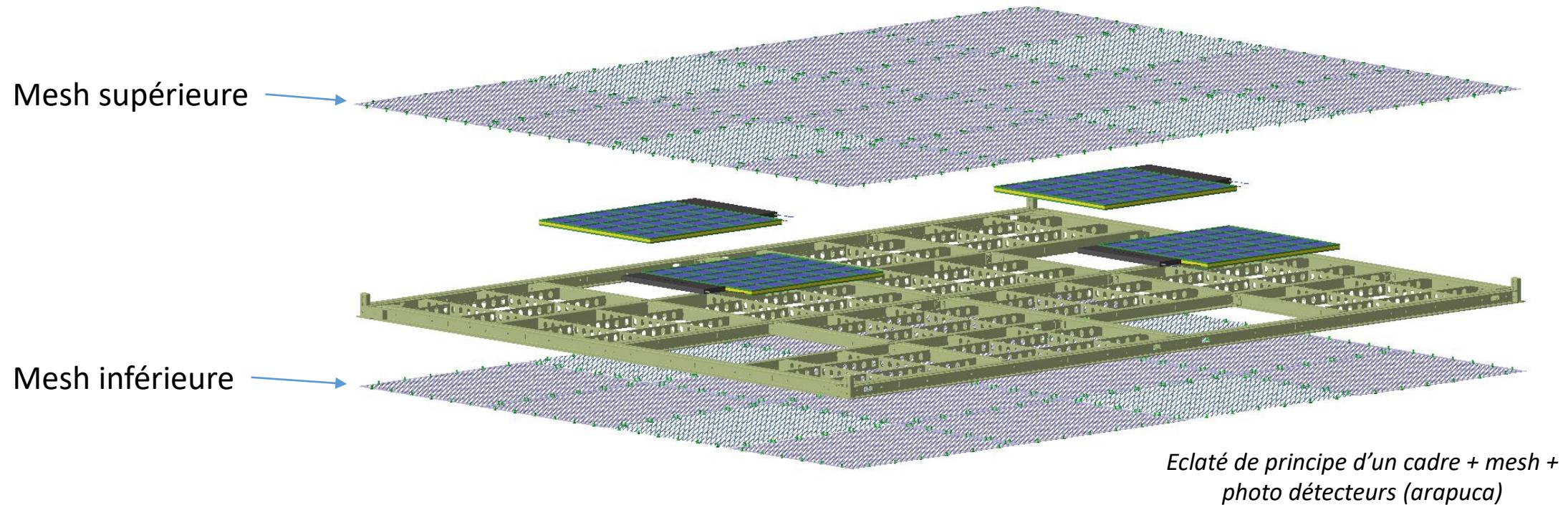


Rendu réaliste de la cathode à
l'intérieur du cryostat



Principe de la cathode

- Champ électrique: 500 V/cm => Cathode à -325 kV
- Dimension : 3000 mm x 3375 mm x 50 (max) mm x 80 cathodes x 2 faces = 1600 m² !!
- Mesh = barreaux de 1 mm au pas de 10 mm sur des carreaux de 800 x 800 mm²
- Mesh transparence > 85% pour permettre circulation de LAr et passage photon





R&D sur la mesh

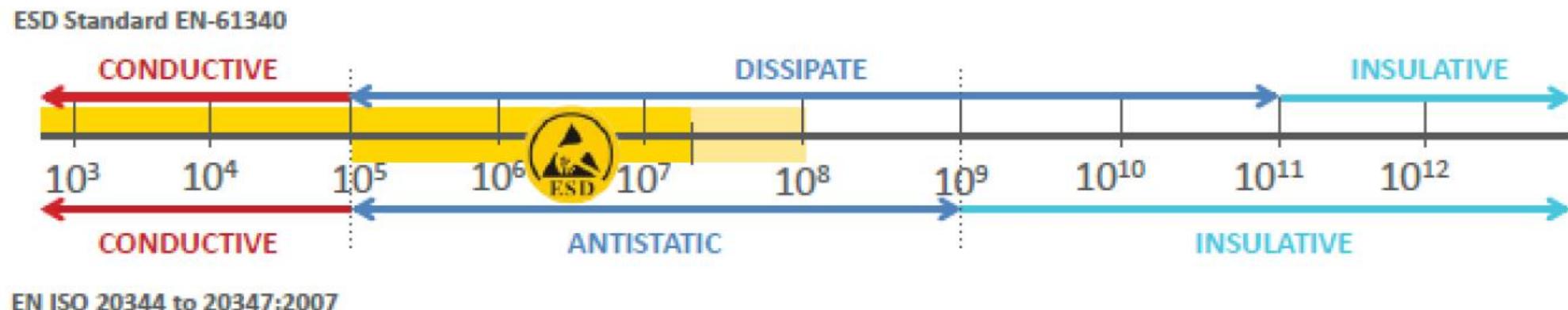
Problème: Plus de **100 J stocké sur la cathode**. En cas de décharge, il faut pouvoir ralentir la propagation (risque pour l'électronique) donc on ne peut pas utiliser de métal.

Utilisation d'une mesh résistive (Cathode Resistivity : $> 1 \text{ MOhm/sq.}$ (upper limit 1 TOhm/sq.))

en matériau aux propriétés anti-statiques et compatible cryogénie et argon liquide (pollution circuit et bulles)

⇒ différents matériaux et techniques possible mais toujours penser à la **production de masse !!!**

⇒ **Optimiser le rapport matière / usinage** (85 % transparence => 85% de matière inutile)



Variation de la classification en fonction de la norme en jeu -- ref: N° OAF01195163 NAE *Les matériaux ESD et leurs utilisations en Fabrication Additive*



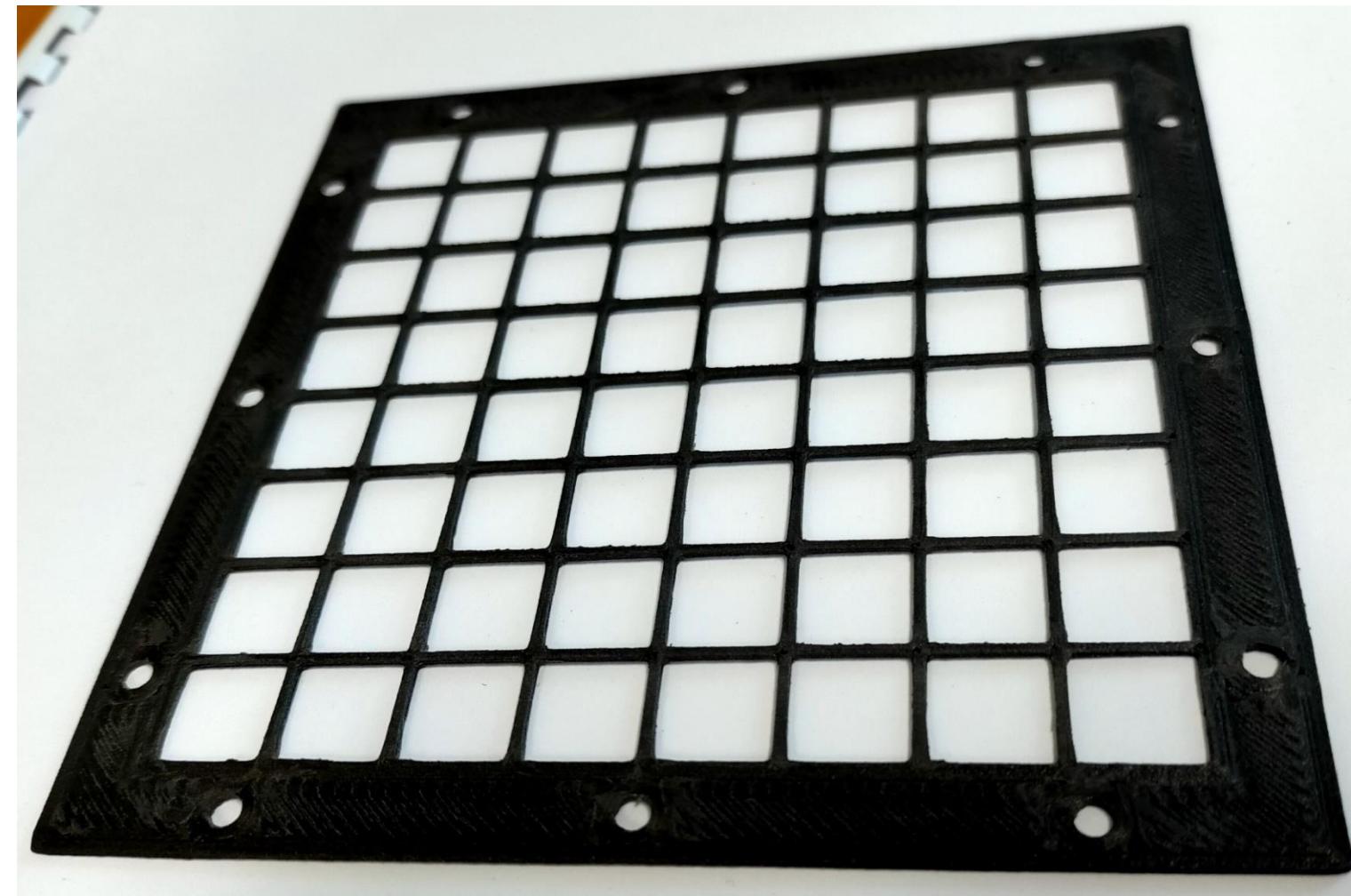
Recherche du meilleur rapport prix matière / coût de production de la mesh

Matériaux	Coût production	Coût matière	Perte matière (85%)
Plaque Vetrone (laminé fibre verre chargé carbone)	Découpe jet eau-laser (€€€) / emboutissage (€)	€€	€€€
Injection pultrusion (fibre verre chargé carbone)	Proto (€€) - Moulage (€)	€	€
Kapton XC - polyimide film noir	Découpe jet eau-laser (€€€) / emboutissage (€)	€€€	€€€
Peek chargé carbone	Impression 3d (€€)	€€	€

L'impression 3D est compétitif en nombre de €



Première grille proto en impression 3d par 4D pioneers



Proto 100 x 100 mm²

PEKK + CF (3DXTECH)

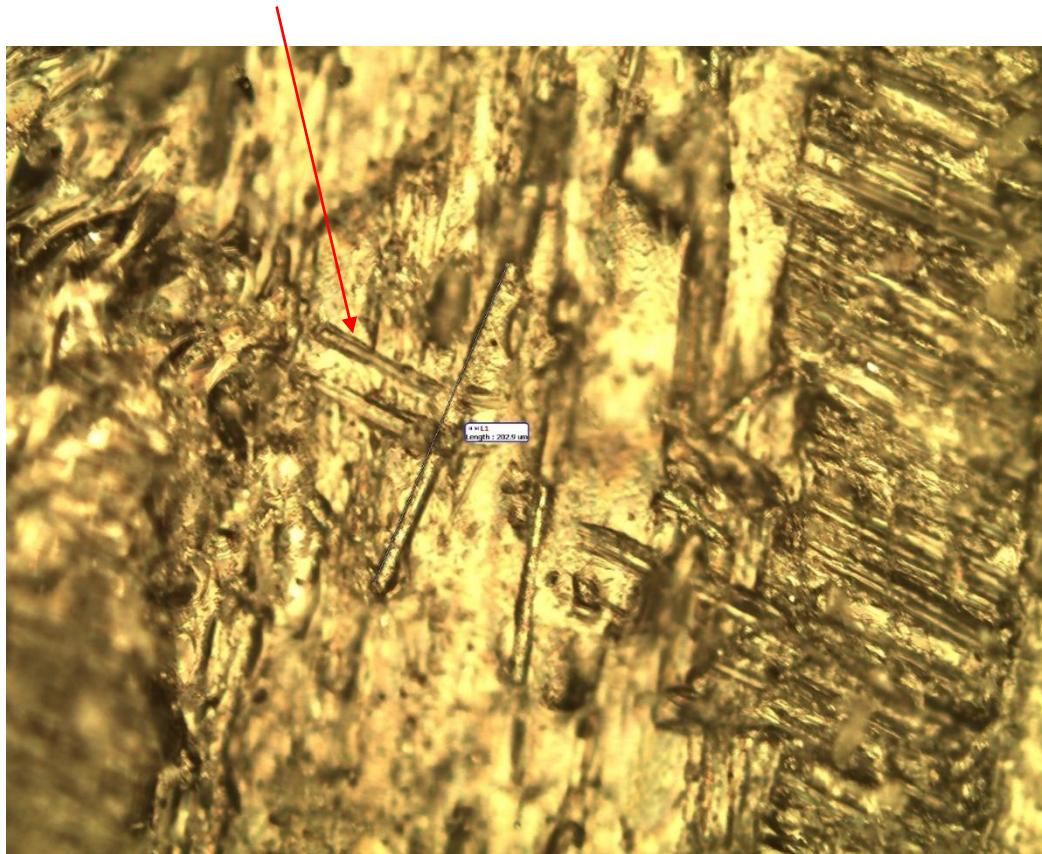
Charge carbone = fibres 200 µm chopped

Machine : Intamsys Funmat

- + Rigidité
- + Densité
- + compatible -200°C

- résistif (100 GOhms) (trop x1000)

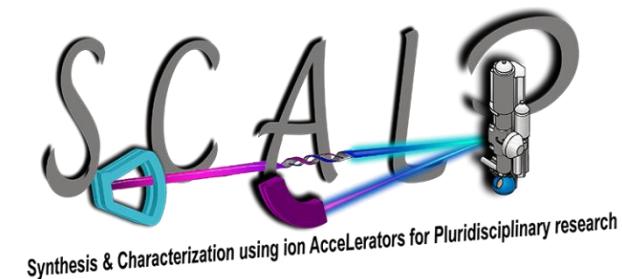
Fibre 200 μm long 5 μm diamètre



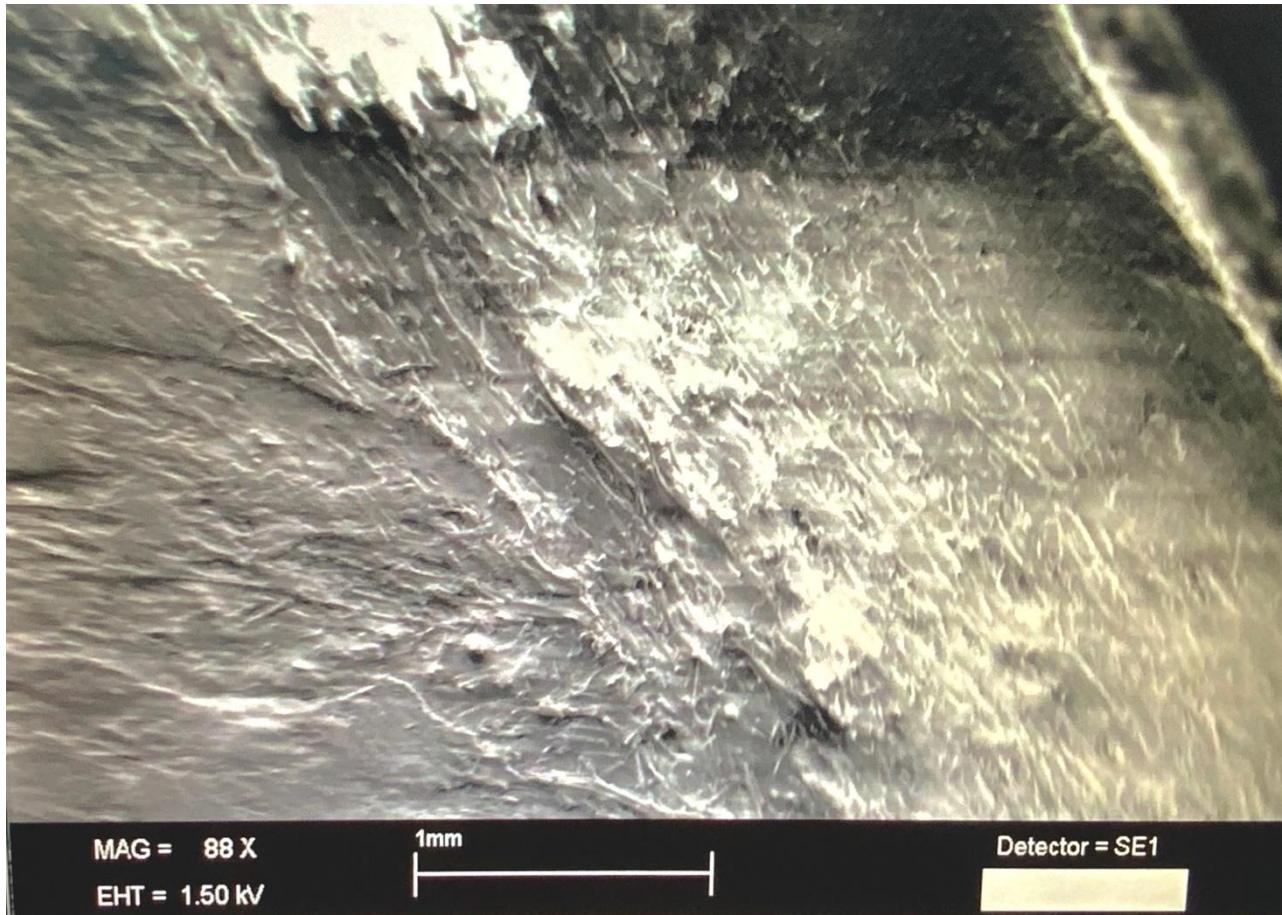
Vue au microscope optique



JANNUS

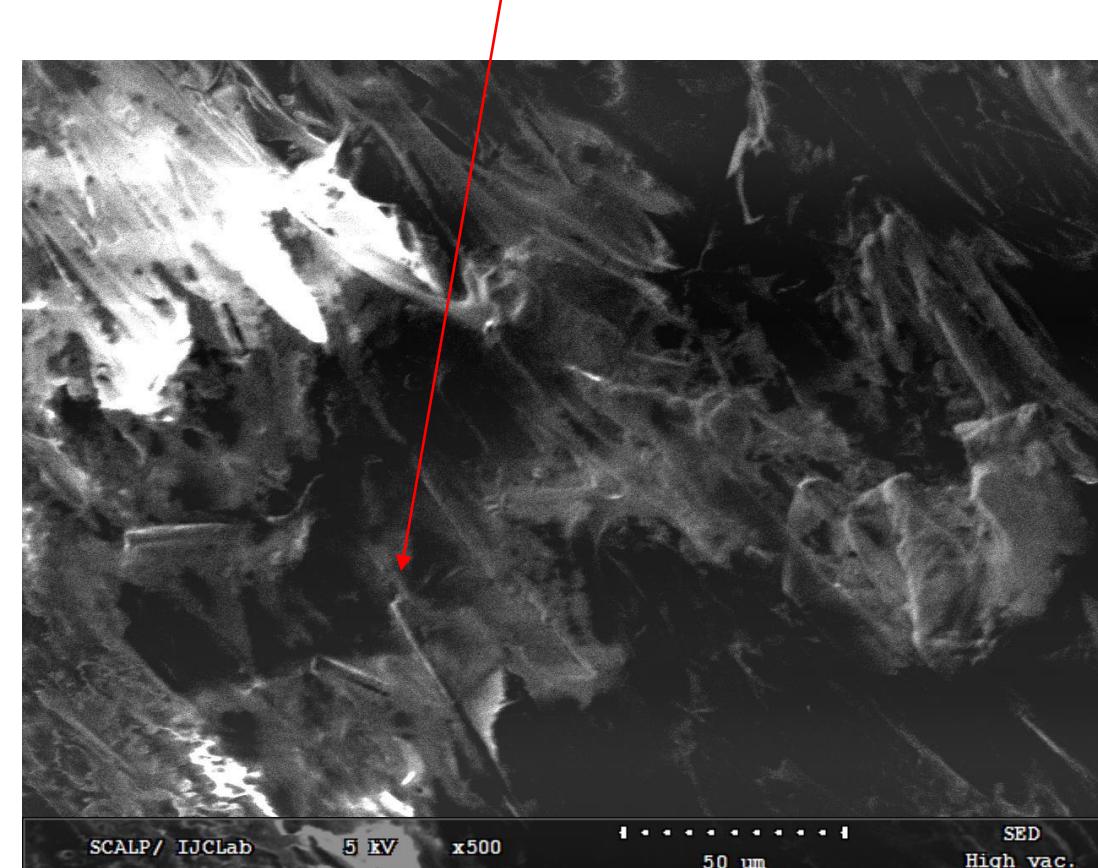


Synthesis & Characterization using ion AcceLerators for Pluridisciplinary research



Les zones blanches indiquent une charge électrique par le MEB
⇒ Il semble que les fibres ne soient pas uniformément réparties
⇒ La résistivité augmente donc forcément

Fibre 200 μm long 5 μm diamètre
=> Peu de fibres ressortent ??





Conclusion sur l'impression 3D

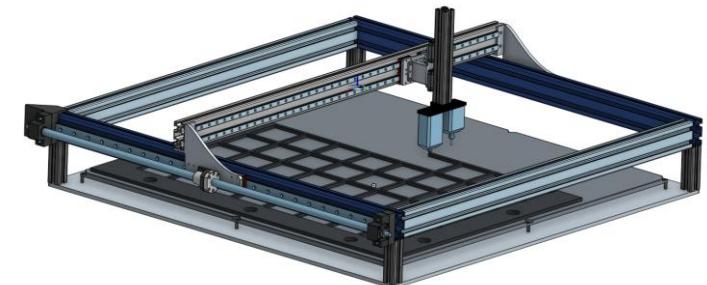
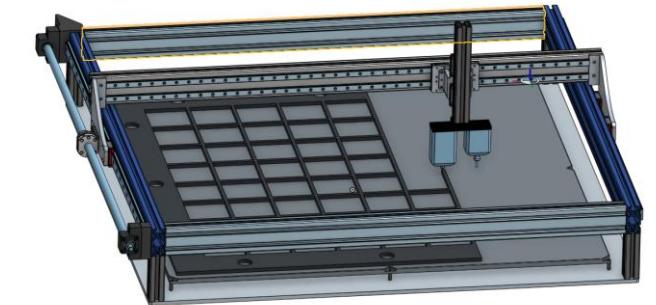
Nécessité de faire une R&D sur le bon ratio de charge carbone:

- D'autres échantillons ont été fournis et sont en cours d'analyse
- Possibilité d'extruder une matière première à fort taux de carbone
- Analyse comparative de la vetrонит...
- Proposition de matériaux à valider en fonction des tests :

PEEK pure	PEEK chargé 20 % FC	PEEK chargé 20 % FC + x % cuivre	PEEK chargé x % cuivre
-----------	---------------------------	--	---------------------------

Si ce point est validé:

- ⇒ 2ème vérification compatibilité en impression 3D
- ⇒ Développement d'une machine d'impression en 1000 x 1000 x 2 mm²



Merci à Emile Lavaut, Fabien Cavalier, Cédric Baumier, Florian Pallier, Nicolas Gay, Francesco Pietropaolo