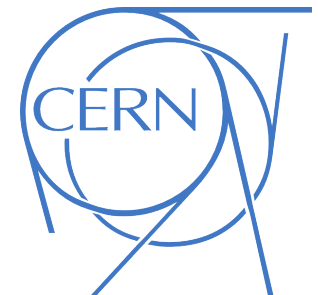

Retour sur CHEP : AI and Tracking



 Corentin Allaire



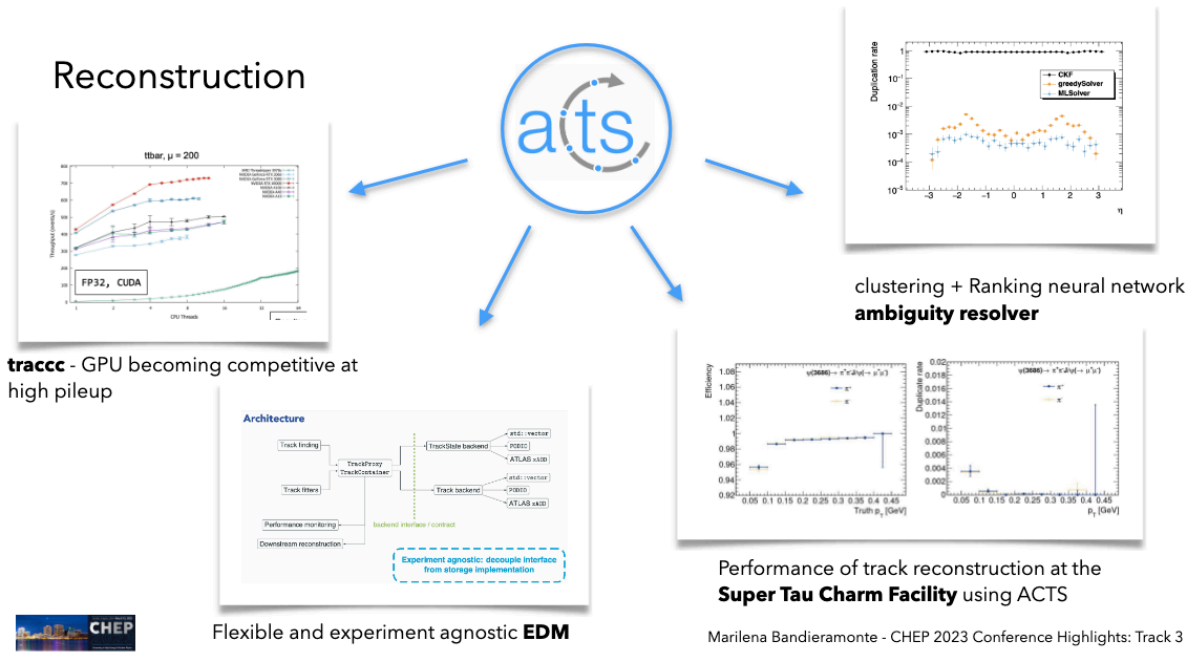
AI and Tracking

- Repartie sur 2 Tracks :
 - Track 3 : Offline computing
 - Track 9 : Artificial Intelligence and Machine Learning
- ~ 90 présentations au total, mais track parallèle : je n'en ai vu que 50%



- Axe principal : **Trajectographie**
- Reconstruction des trajectoires des particules à partir des coups dans le détecteur
- Nécessaire en physique nucléaire et en physique des particules
- Application du ML à la trajectographie, mais aussi à d'autres sujets

ACTS



- Projet de trajectographie **open-source** porté par ATLAS et le CERN
➡ contribution d'IJClab
- **Importance et succès** d'ACTS comme projet de logiciel scientifique open source souligné à de **nombreuse reprise** !
- Utilisé par de plus en plus de collaboration : ATLAS, mais aussi EPIC, STCF...
- Environnement de test pour de nombreux nouveaux algorithmes : GNN, AutoTunning...

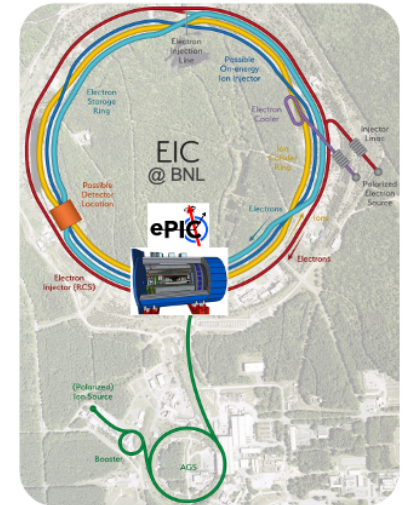
Utilisateurs d'Acts : EIC

Expérience de physique nucléaire à l'EIC

- Désir de s'appuyer fortement sur les **logiciels scientifique open-source**
- Acts adopté pour la trajectographie
- Conteneur produit de manière journalière la pile logicielle

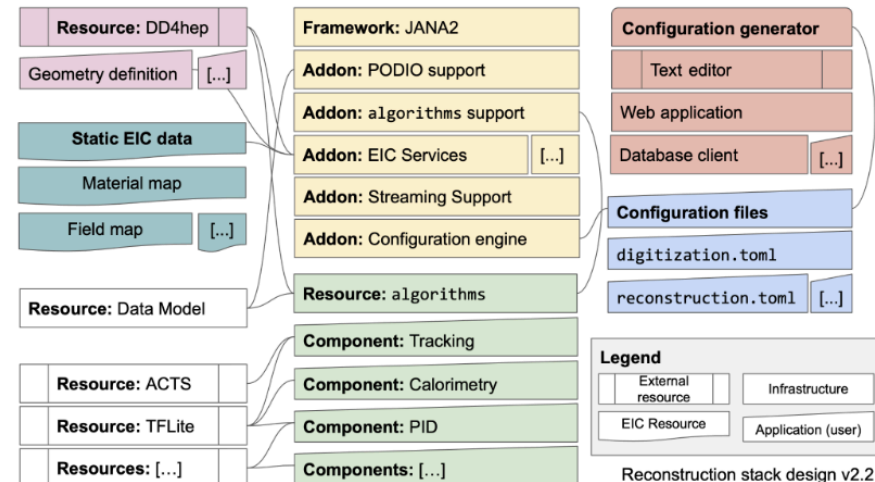


- geant4
- python
- boost
- root
- **fmt** } logging
- **spdlog** }
- **JANA2** } reconstruction framework
- **podio** }
- **edm4hep** } data model + I/O library
- **edm4eic** }
- **dd4hep** } geometry (recon+simulation)
- **acts** } tracking



[EPIC Algorithms](#)

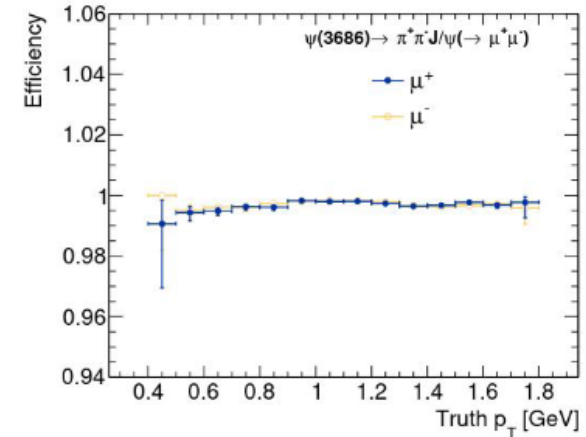
[EPIC Software Overview](#)



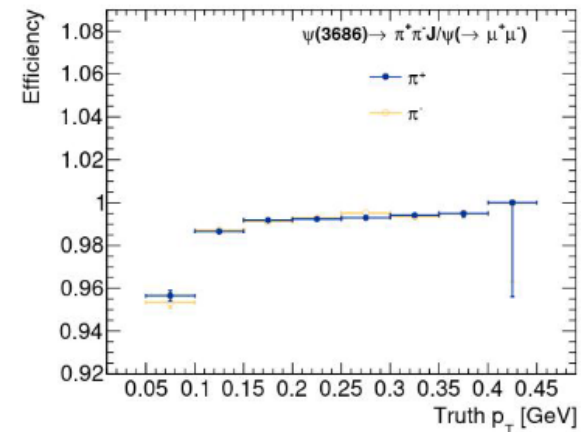
Utilisateurs d'Acts : STCF

Super Tau-Charm Facility :

- Collisionneur $e^+ e^-$ en Chine
- Étude des quarks charme et des leptons tau ($\sqrt{s} \sim [2-7] \text{ GeV}$)
- ACTS pour la trajectographie
- Très efficace **même à faible impulsion transverse**



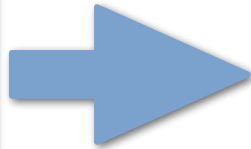
STCF using ACTS



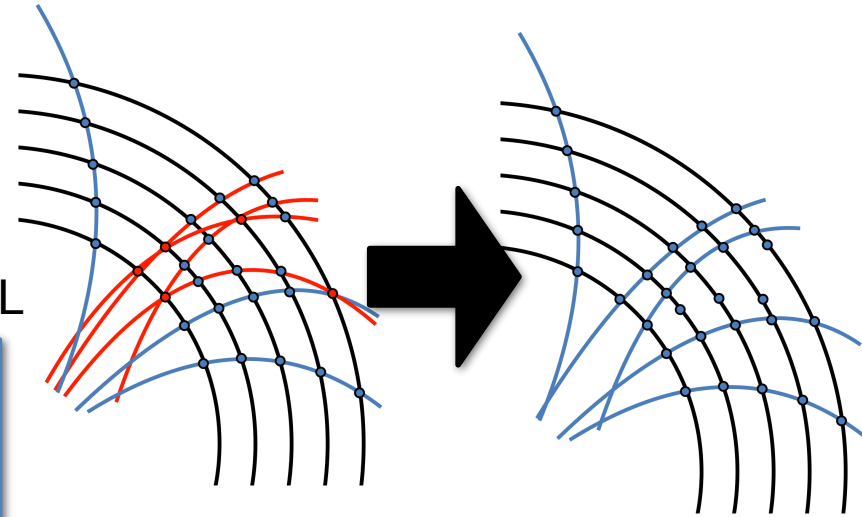
ML pour la résolution d'ambiguïté dans Acts

- Après reconstruction ➡ dupliqua et fausse trajectoire
- La résolution d'ambiguïté supprime ces trajectoires
- Problème de classification ➡ utilisation du ML

Cluster les trajectoires

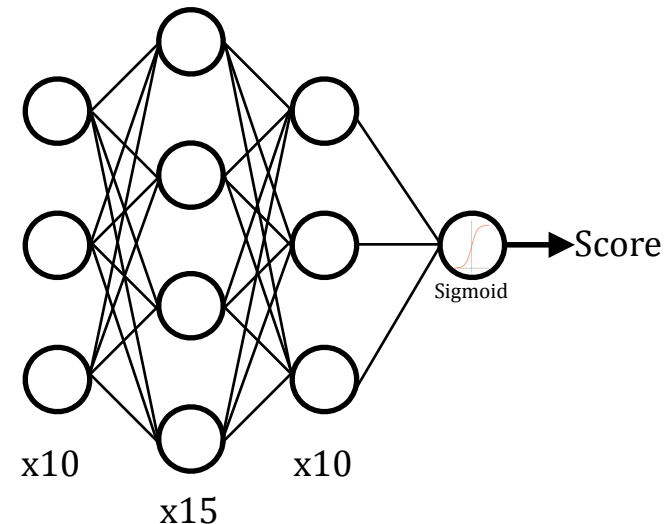


Réseau détermine la meilleur trajectoire par cluster



- Utilisation d'un **ranking neural network** pour déterminer la meilleure trajectoire
- Durant l'entraînement essaie de séparer le score de la bonne trajectoire des mauvaises d'une marge

$$loss_{part} = \frac{1}{N_{tracks}} \sum^{tracks} \max(0, x - y + margin)$$



Performances du MLSolver

- Algorithme ML : **5 fois plus rapide** que l'algorithme classique
- Ne supprime pas plus de vraie particule que l'algorithme classique
- **Plus performant** dans la sélection de quelle trajectoire doit être associé à quelle particule.

[ML for ambiguity resolution in ACTS](#)

	Number of tracks	Number of truth particles	Efficiency (good tracks)	Efficiency (truth tracks)	Duplicate Rate	Fake Rate	Solver speed [ms/event]
CKF	7697	809.5	100 %	100 %	89.5 %	0.03 %	0
CKF + Greedy Solver	809.5	807.0	88.1 %	99.7 %	0.24 %	0.08 %	210
CKF + ML Solver	810.3	807.0	93.7 %	99.7 %	0.32 %	0.08 %	30.4

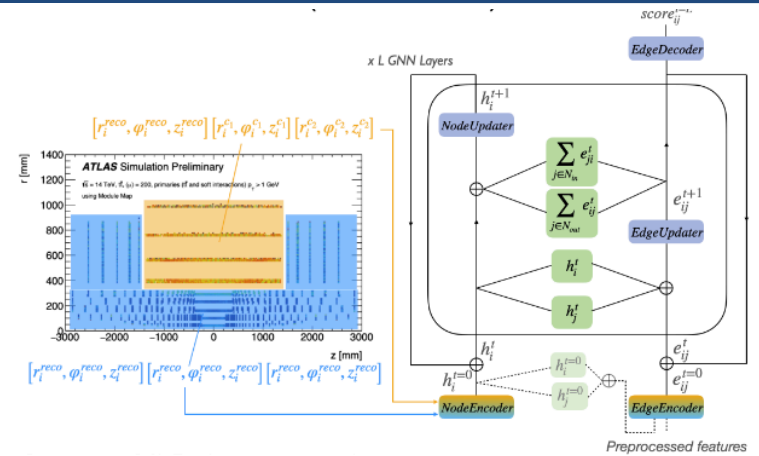
EXA.TRKX et GNN pour la trajectographie

Reconstruction des trajectoires à l'aide de **Graph Neural Network** :

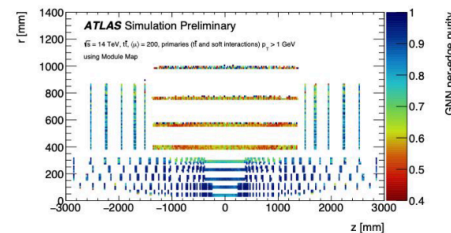
- Coup dans le détecteur ➡ Graph
- Classifie les arêtes et garde les meilleures ➡ trajectoires
- Très performant ➡ problème de l'hétérogénéité des détecteurs réglé
- Intégré à ATLAS et Acts
- Deux groupes : Berkeley et L2IT

[GNN4ITk](#)

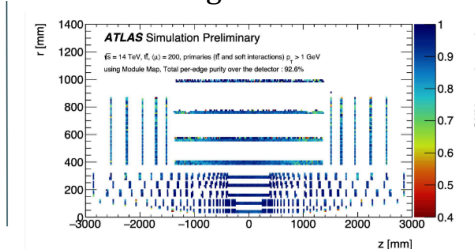
[The Exa.TrkX Project](#)



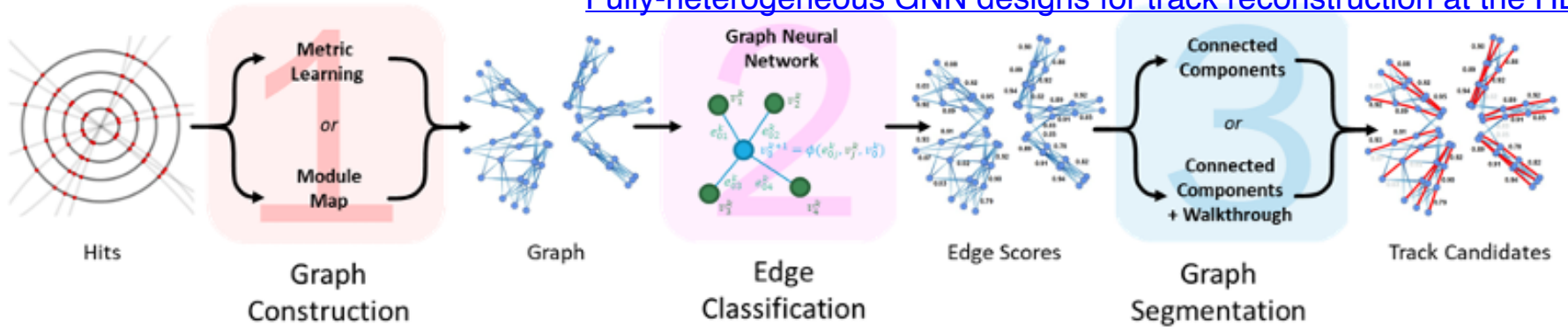
Homogeneous data



Heterogeneous data

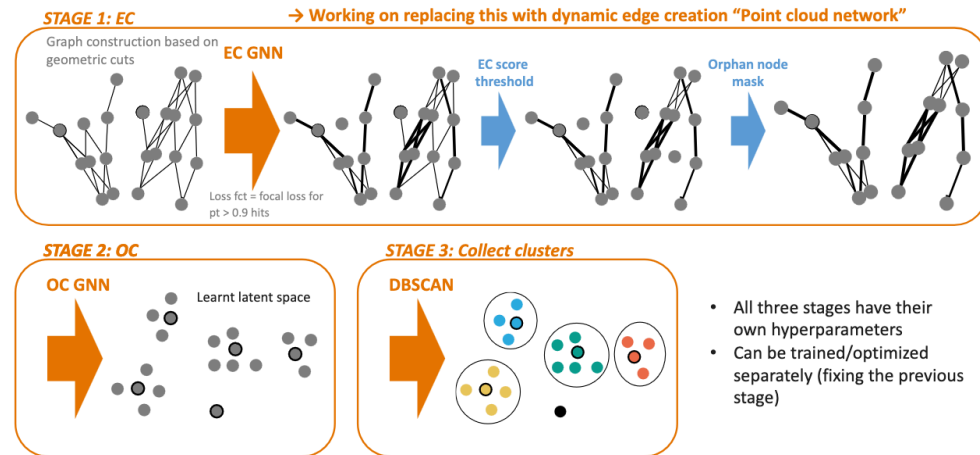


Fully-heterogeneous GNN designs for track reconstruction at the HL-LHC

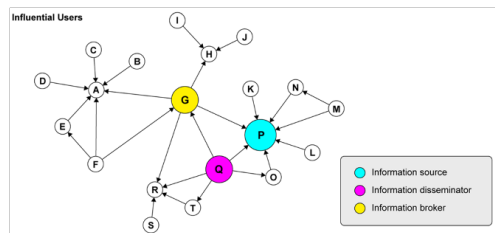
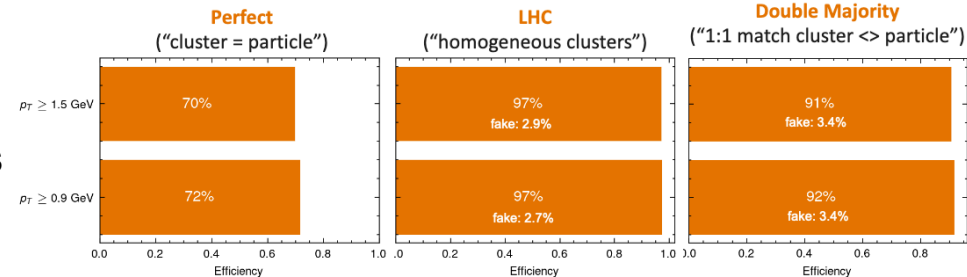


De plus en plus de GNN pour la trajectographie

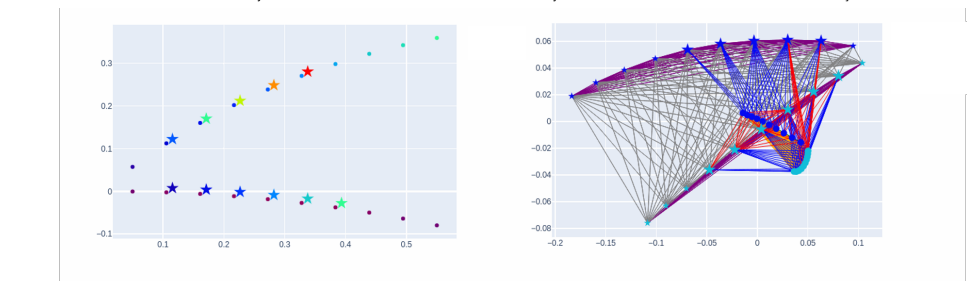
- De plus en plus de groupe teste le **GNN pour la trajectographie**
- Utilisation de différents algorithmes après le GNN pour **reconstruire** les trajectoires
- **Object condensation** :
 - Espace latent ou les coups provenant de la même trajectoire sont proches
 - Algorithme de Clustering (DBSCAN)
 - Fonction de cout inspiré des influenceurs sur twitter
- En cours de développement mais encourageant



Object Condensation for Tracking



Kim & Valente 2020, COVID-19 Health Communication Networks on Twitter: Identifying Sources, Disseminators, and Brokers

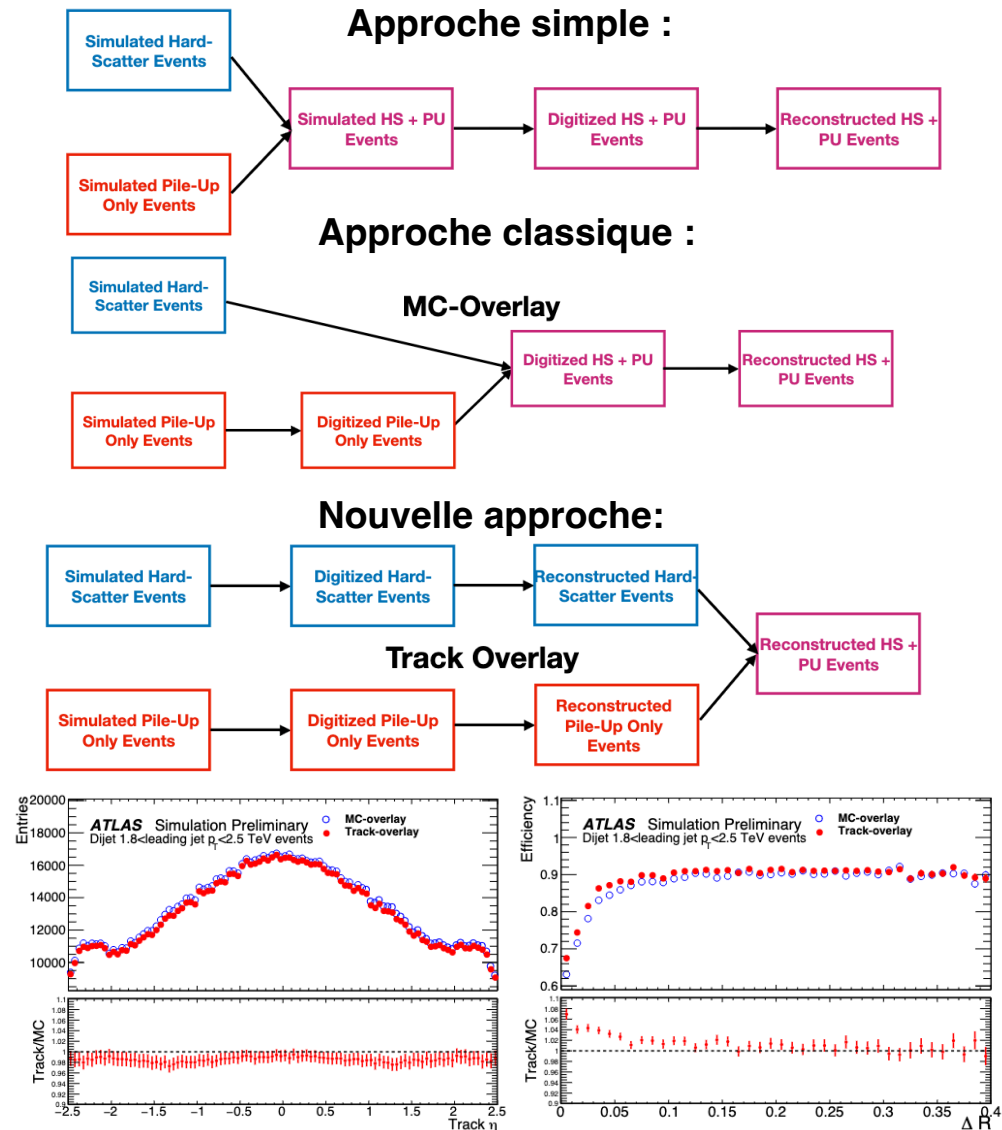


Geometric Representation Learning for Track Reconstruction

ATLAS Fast Chain

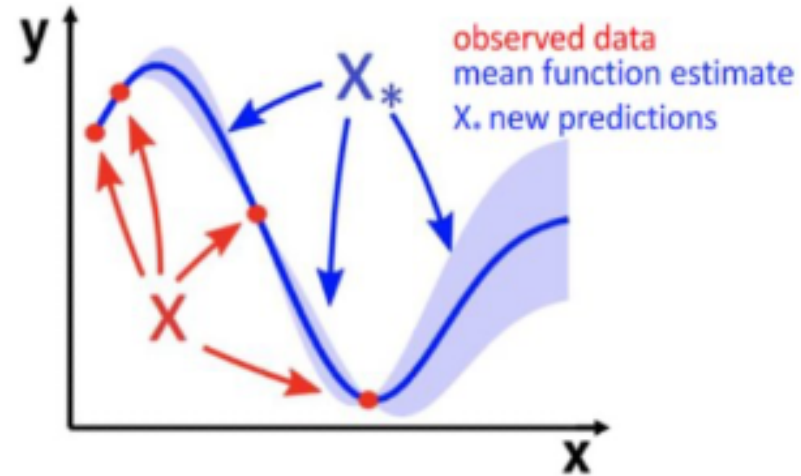
- Problème du PU dans les simulations d'ATLAS : **~200 interactions** par croisement de faisceau au **HL-LHC**
- Pour accélérer la simulation : réutilise le PU déjà simulé
- Nouvelle idée : **reconstruire le PU séparément** puis le superposer au signal
- Bonne performance, mais pas adapté à tous les événements
- Utilise un **NN** pour choisir le mode de superposition
- ~ 50% plus rapide
- ~ 28% s'espace disque en moins

[ATLAS Fast Chain](#)

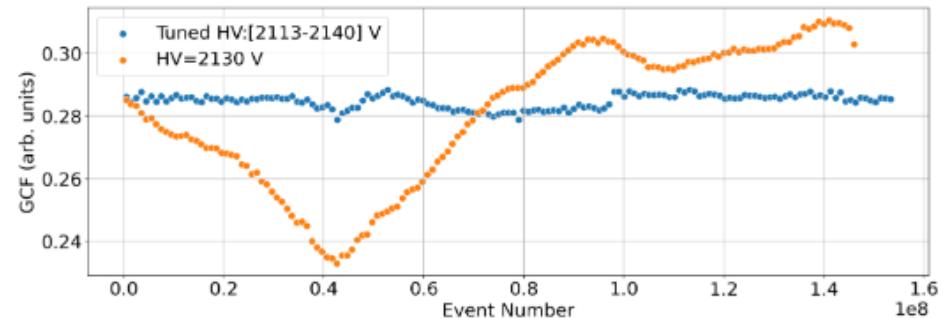
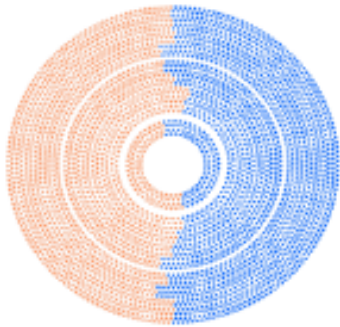


Calibration de détecteur avec du ML

- **Gaussian process regression** : quantification des incertitudes en ML
- Exemple : calibration d'une chambre à dérive
- Ajuste automatiquement la haute tension
- Si l'incertitude est trop large ➡ défaut ➡ attend + de donnée
- Bien **plus stable** que l'approche classique

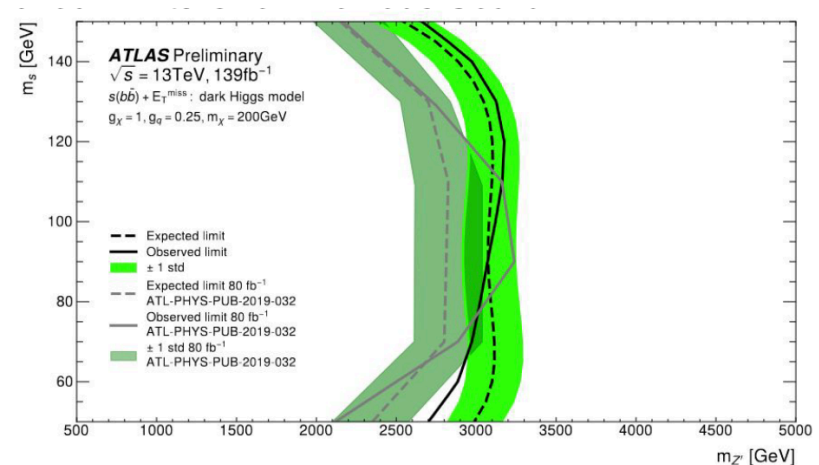
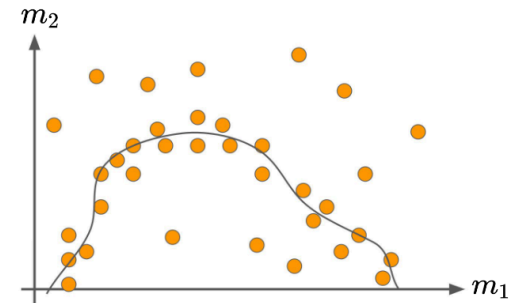
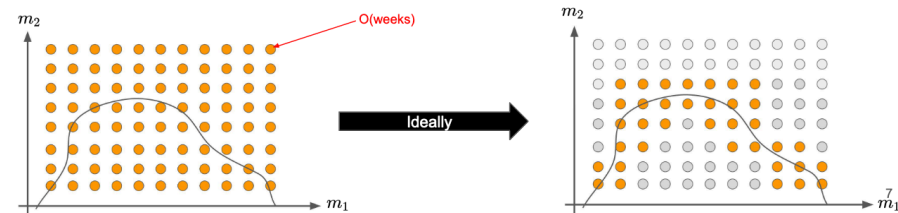


Conventional in orange
ML-tuned in blue



ML pour recherche de nouvelle physique

- Recherche de nouvelle physique : **Limite sur les paramètres BSM**
- Évaluation de la limite : signficance sur une grille puis régression
- Faisable plus précisément en moins de points ?
- Processus gaussien : estime la limite et son incertitude
- Nouveau point dans la zone de forte incertitude
- Répète jusqu'à convergence
- Testé avec une **recherche de la matière noire**

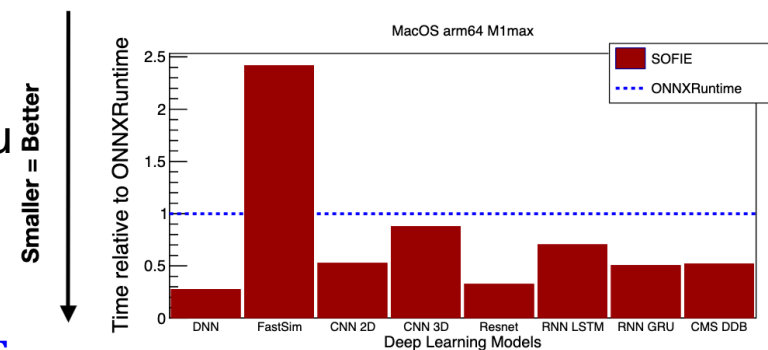
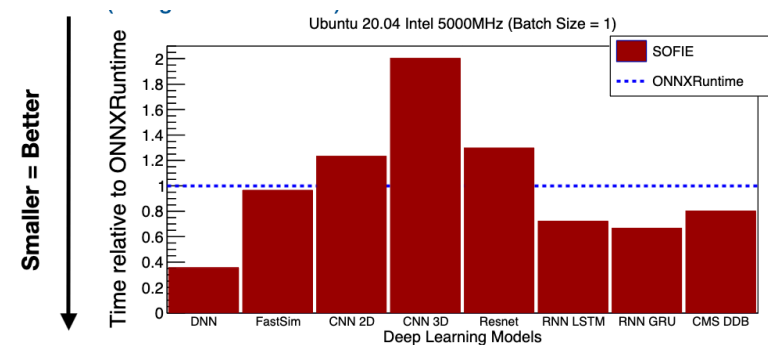


[Efficient search for new physics using Active Learning](#)

SOFIE

Génération de code d'inférence avec ROOT

- Machine learning de nos jours :
 - **Entrainement** : python, bibliothèque ML
 - Réseau stocker en fichier **.onnx**
 - Inférence utilise **ONNXruntime**
- Idée de l'équipe ROOT :
 - **Entrainement** : python, bibliothèque ML
 - Réseau stocker en fichier **.onnx**
 - **SOFIE** (inclus dans ROOT) convertie le réseau en fichier **.hpp**
 - **Réseau compilé dans le projet**, inférence avec un simple appel fonction ➡ Pas de dépendance !
- Plus rapide que ONNXruntime pour certain réseau
- Implémentation d'opérateur ML au besoin des utilisateurs



[New developments of TMVA/SOFIE](#)

Conclusion

- Nos travaux sur **ACTS** sont reconnus dans toute la communauté
- Beaucoup de **nouvelle idée d'utilisation du ML** pour L'HEP : GNN, Gaussian process, ...
- Très enrichissant à titre personnel :
 - Rencontre en personne de collègues américains (EIC, BNL, ...)
 - Nombreuse nouvelle idée de recherche pour l'utilisation du ML en trajectographie
- Discussion avec les membres de mon ancienne équipe au CERN :
 - Papier sur les **performances d'ACTS**
 - Organisation du **workshop ACTS 2023** à IJCLab