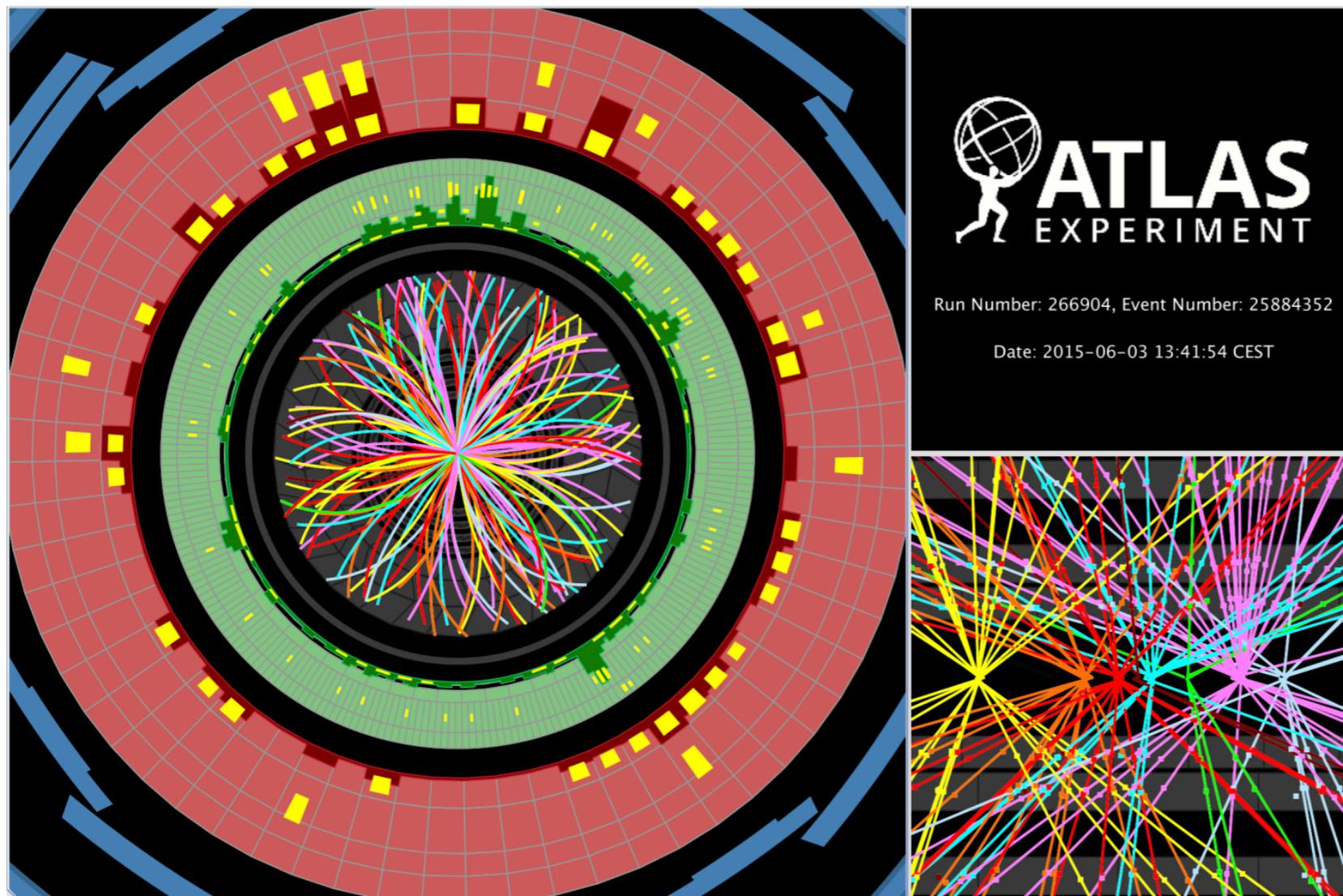

DeepLearning pour la trajectographie en Physique des Hautes Énergies



 Corentin Allaire

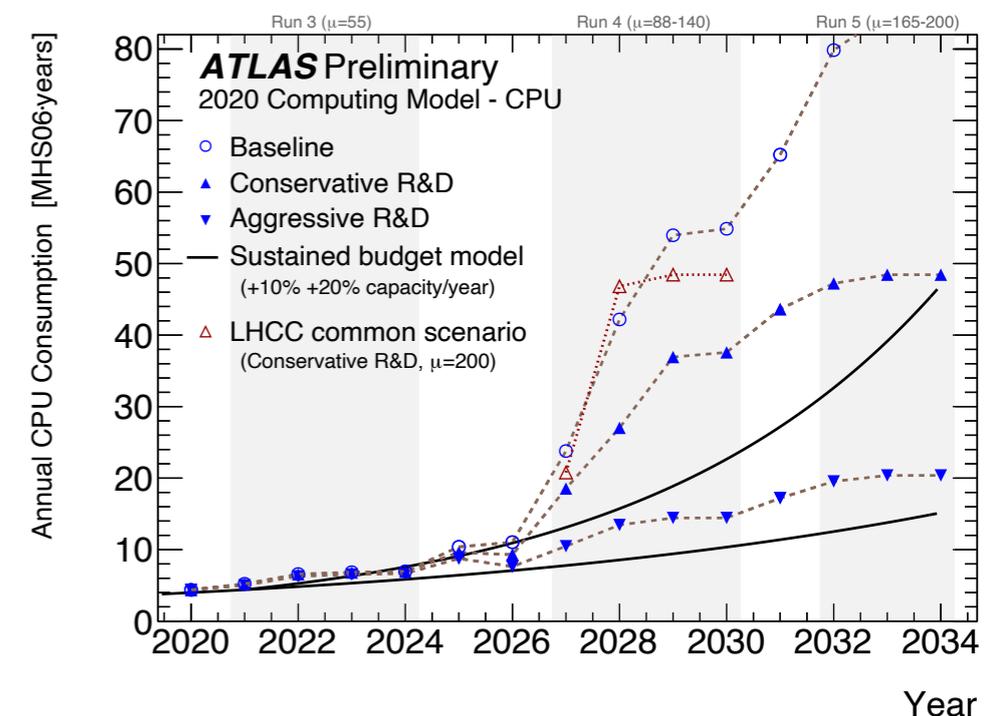


La trajectographie en physique des particules



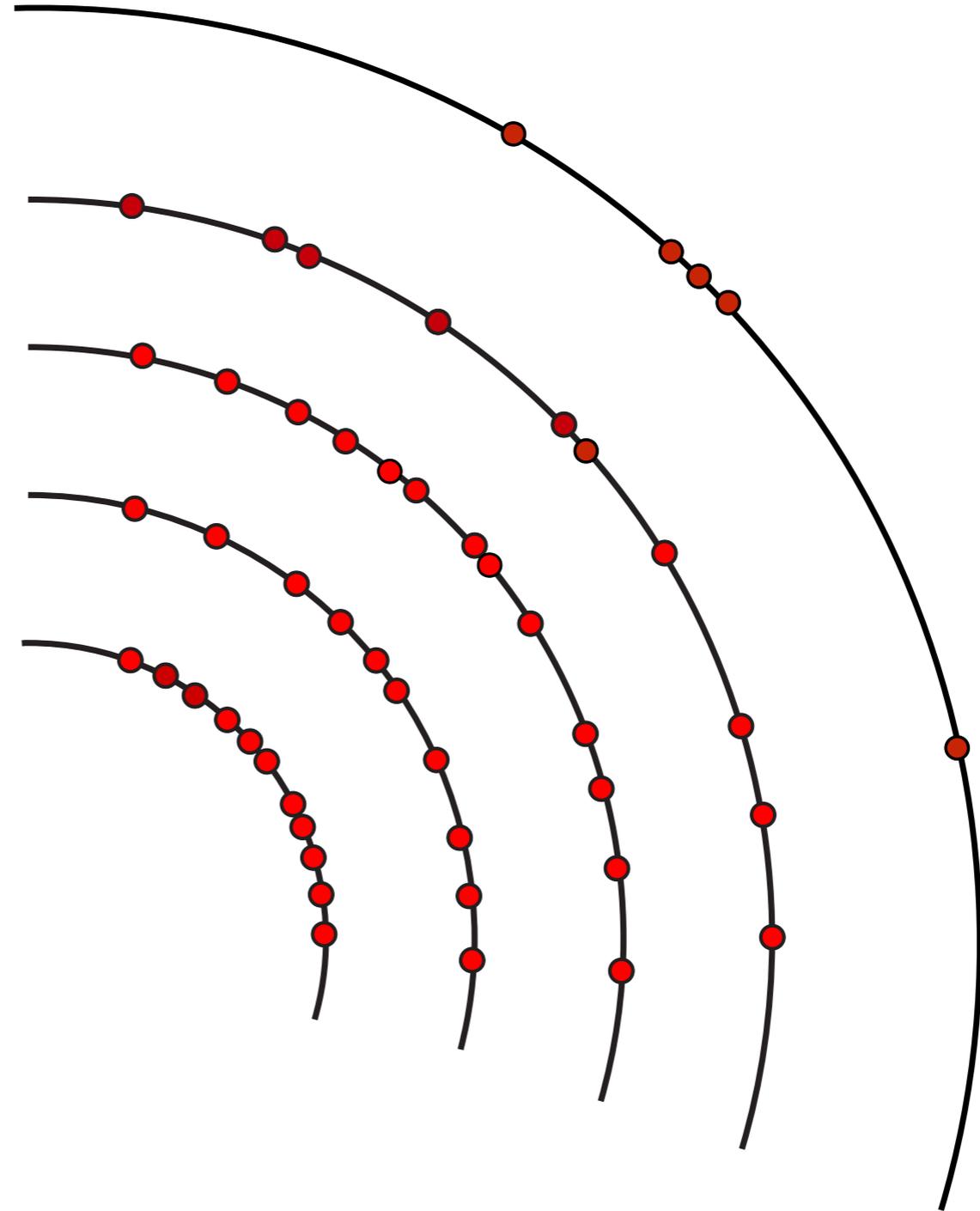
- Reconstruction des particules -> reconstruction de leurs trajectoires
- Quels dépôts d'énergie (hits) pour chaque particule
- **Particule** manquée = mauvaises performances de physique

- Efficacité attendue $\sim 99\%$, faible taux de faux $\ll 1\%$
- 1k particules par croisement de faisceau
- Actuellement $> 40\%$ des **ressources de calculs** de la reconstruction



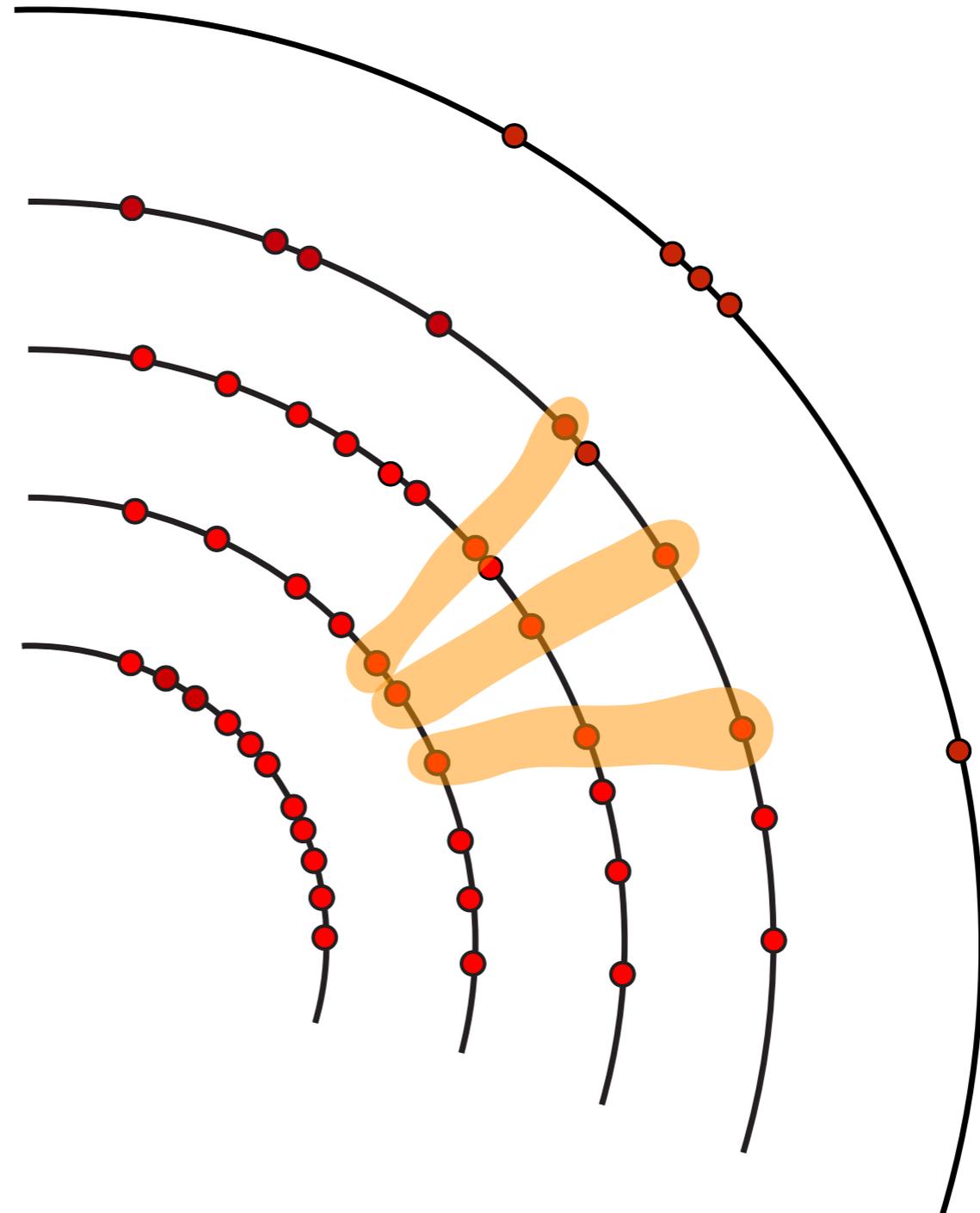
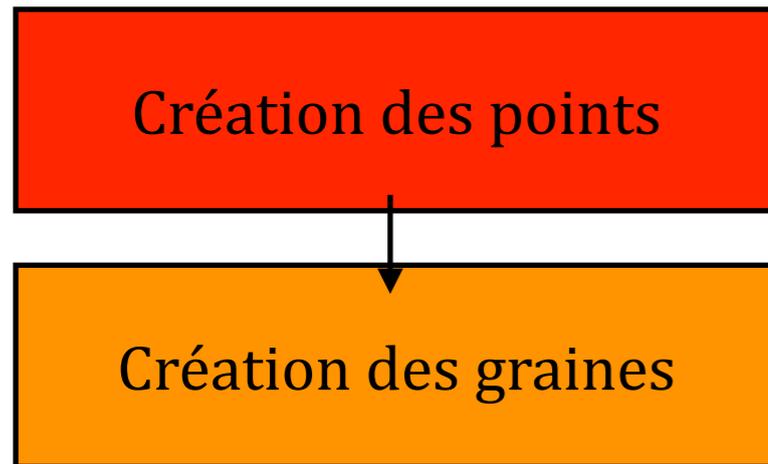
Reconstruction des trajectoires

Création des points



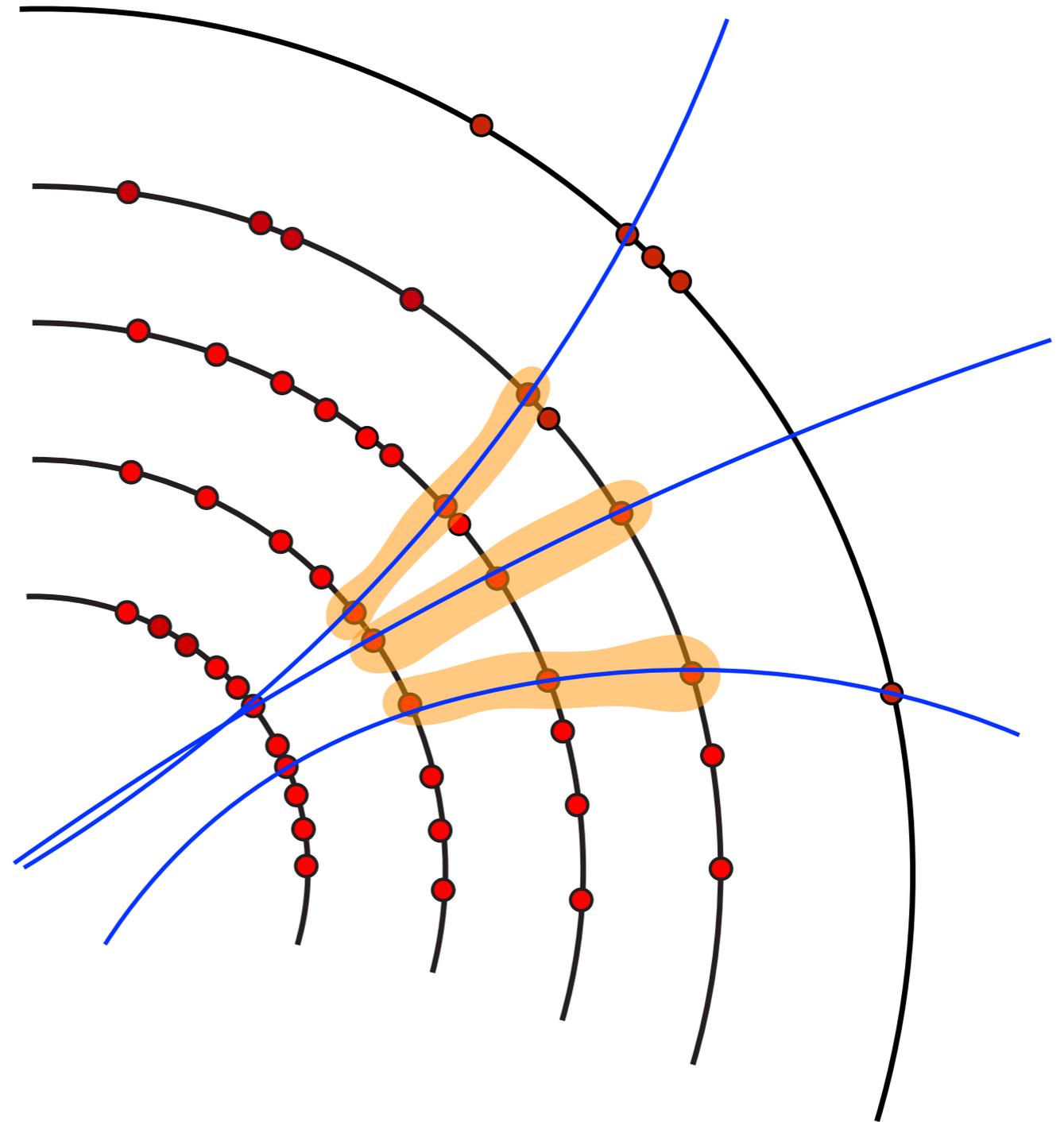
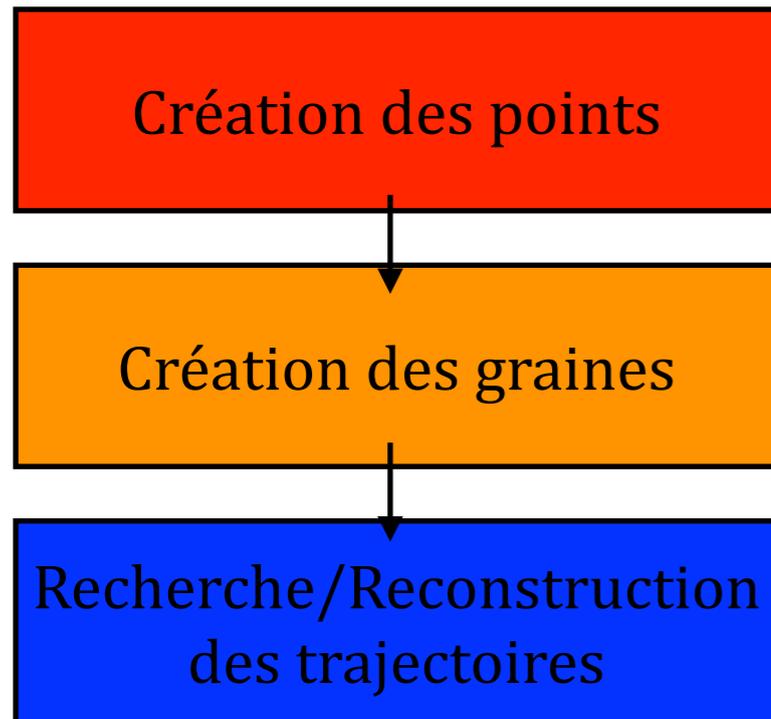
- Coups dans le détecteur collectés pour créer des **point de mesures**
- Utilisés par la trajectographie

Reconstruction des trajectoires



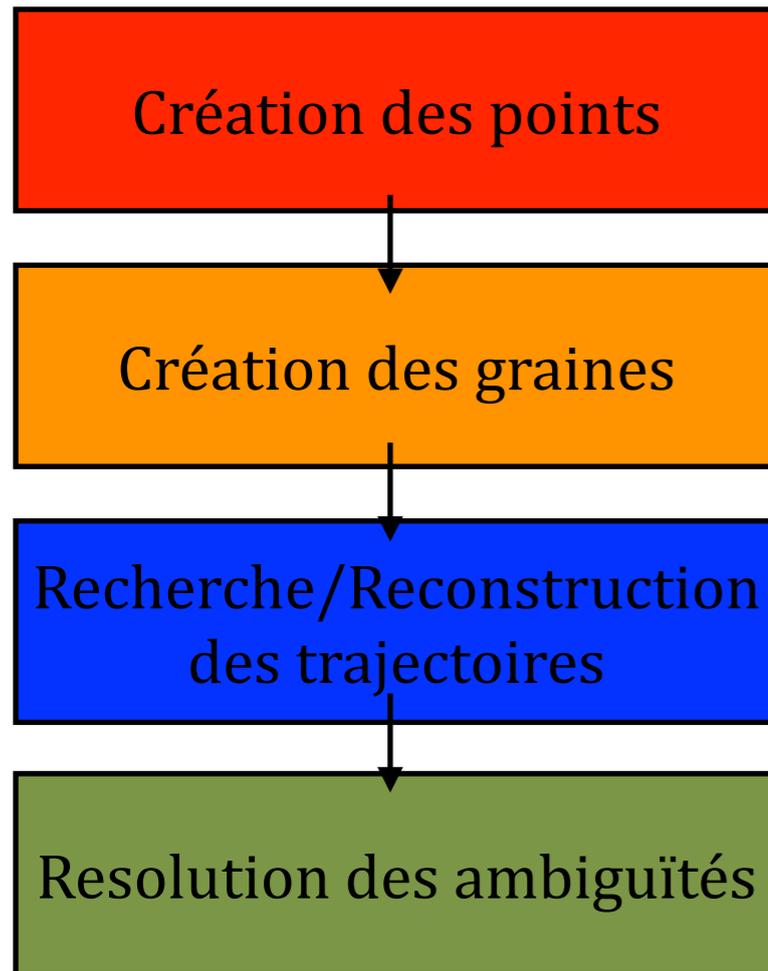
- **Les Graines** : groupes de 3 points compatibles avec l'hypothèse d'une trajectoire
- Étendues ensuite pour former nos trajectoires

Reconstruction des trajectoires

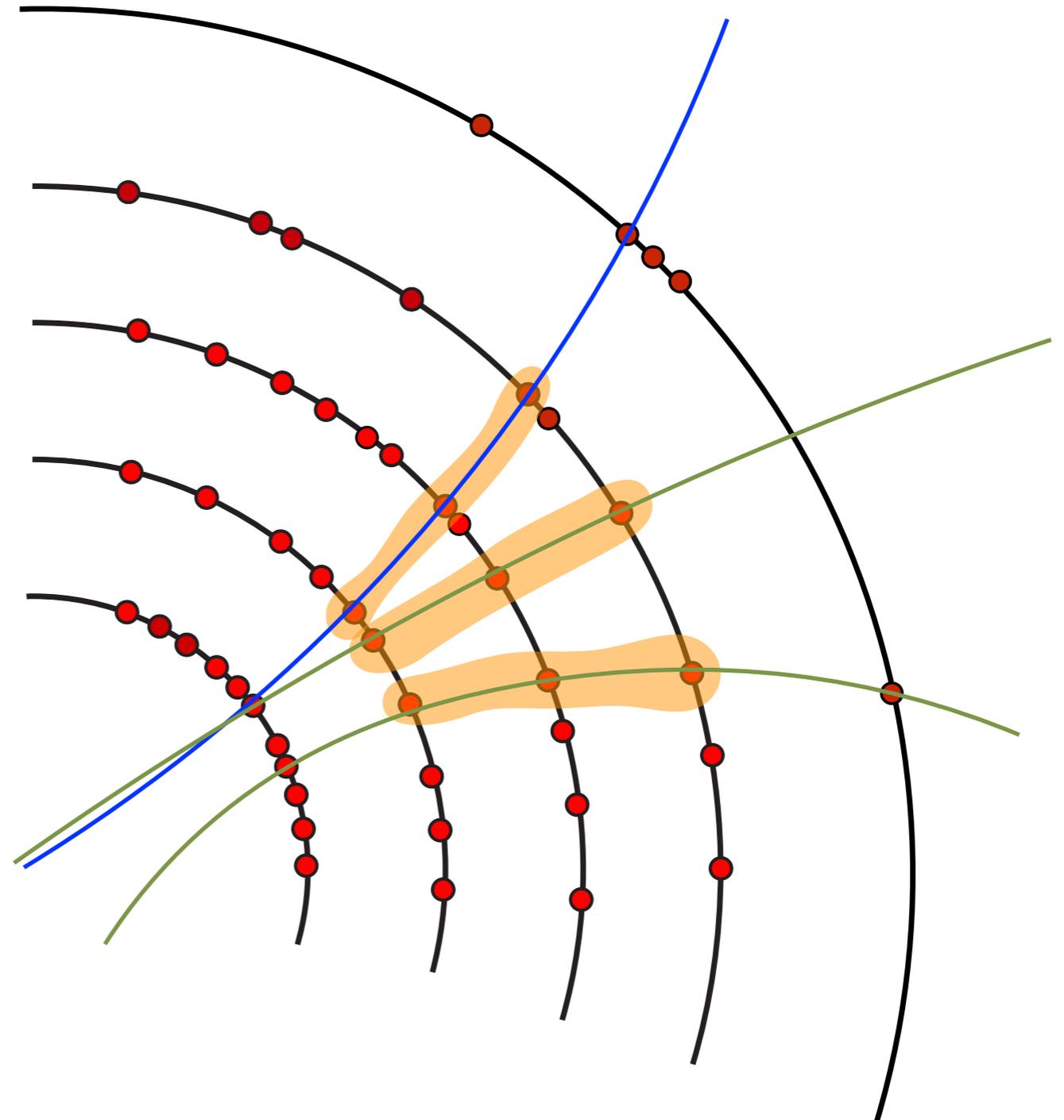


- **Filtre de Kalman** pour reconstruire les trajectoires
- Points de mesure compatibles ajoutés à notre graine de base
- Plusieurs hypothèses de **trajectoires** par graine si plusieurs chemins sont possibles

Reconstruction des trajectoires

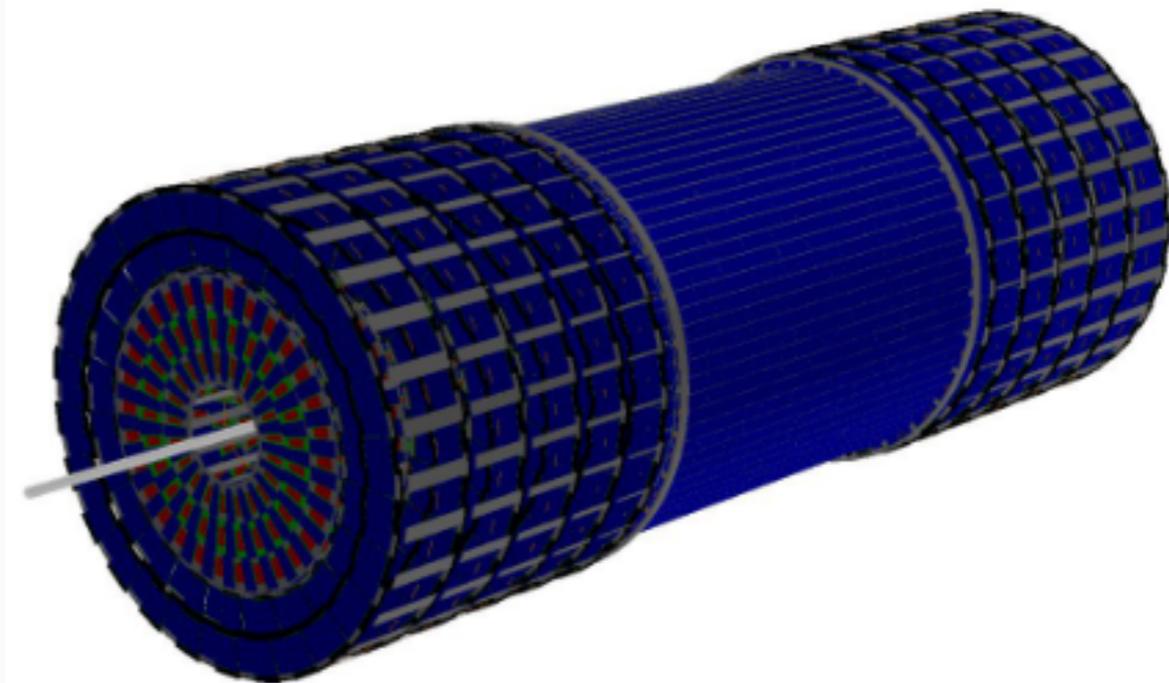
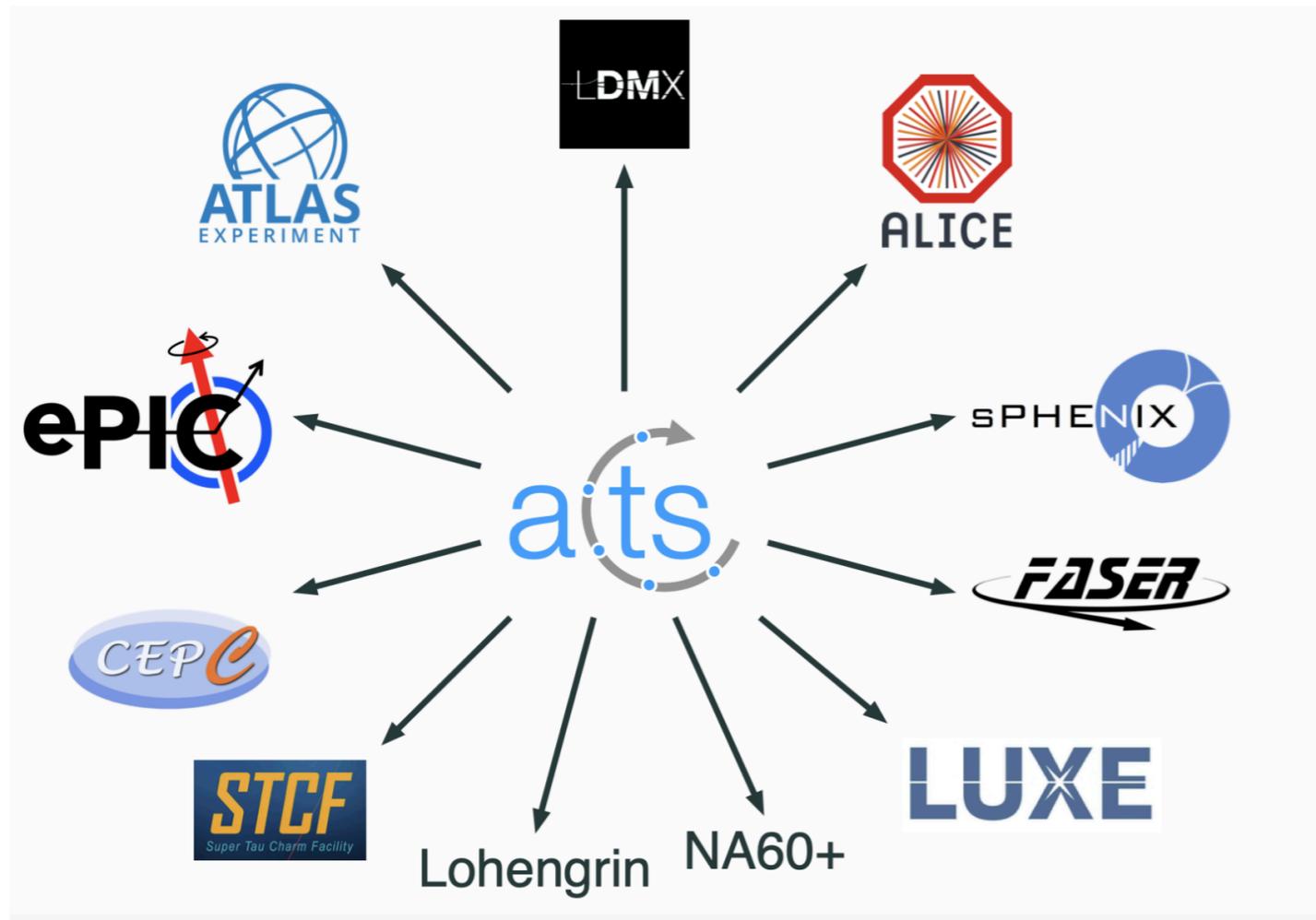


- Associe un **score** à chaque trajectoire
- Pour résoudre les **ambiguïtés** et retirer les **faux**, sélection des traces avec le meilleur score



Acts : A Common Tracking Software

- Bibliothèque libre de trajectographie : <https://github.com/acts-project/acts>
- Projet communautaire (>10 expériences impliquées)
- Livrée avec un détecteur virtuel : **OpenDataDetector** (ODD)
- Très utilisé pour développer de nouveaux algorithmes



Optimisation automatique de paramètres

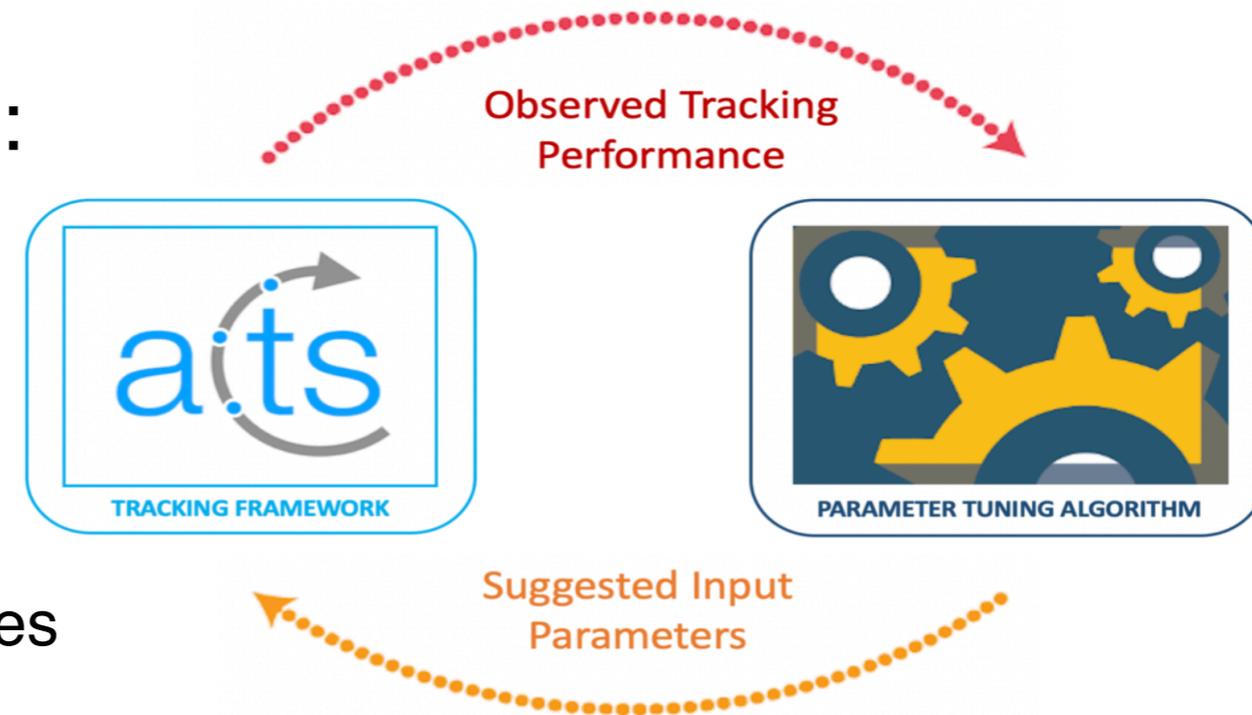
- Algorithme d'optimisation :
 - Teste différente **configuration de paramètres**
 - Calcule un score par configuration
 - Recherche la configuration maximisant le score

- Plusieurs frameworks disponibles :

- [ORÍON](#)
- [OPTUNA](#)

- Implémentation dans ACTS

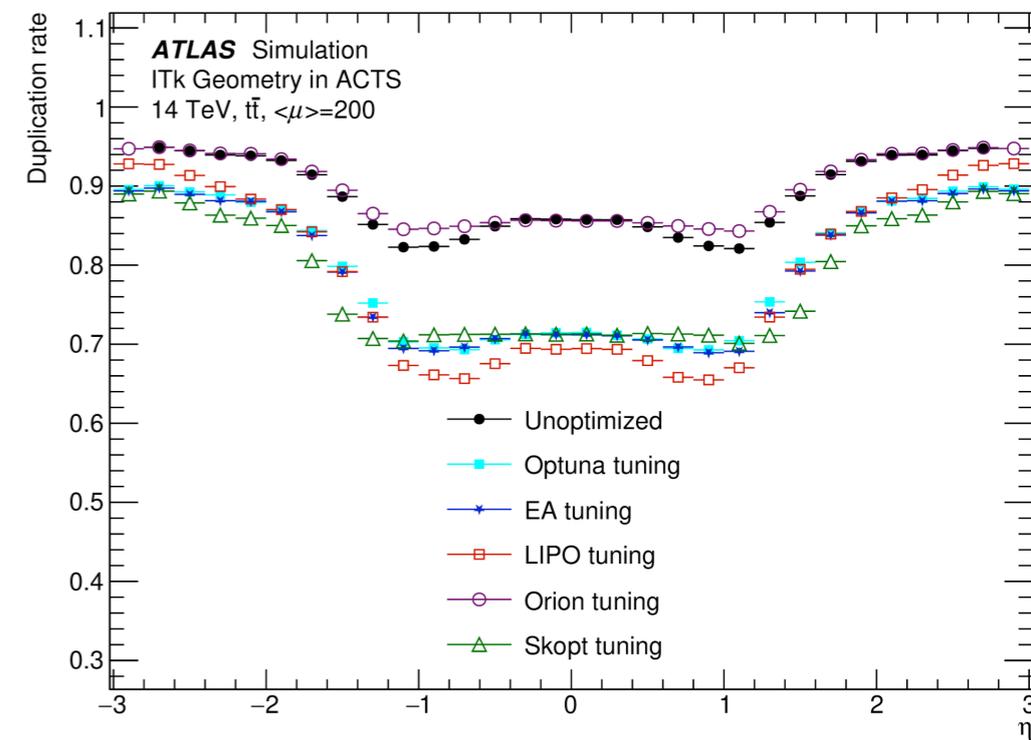
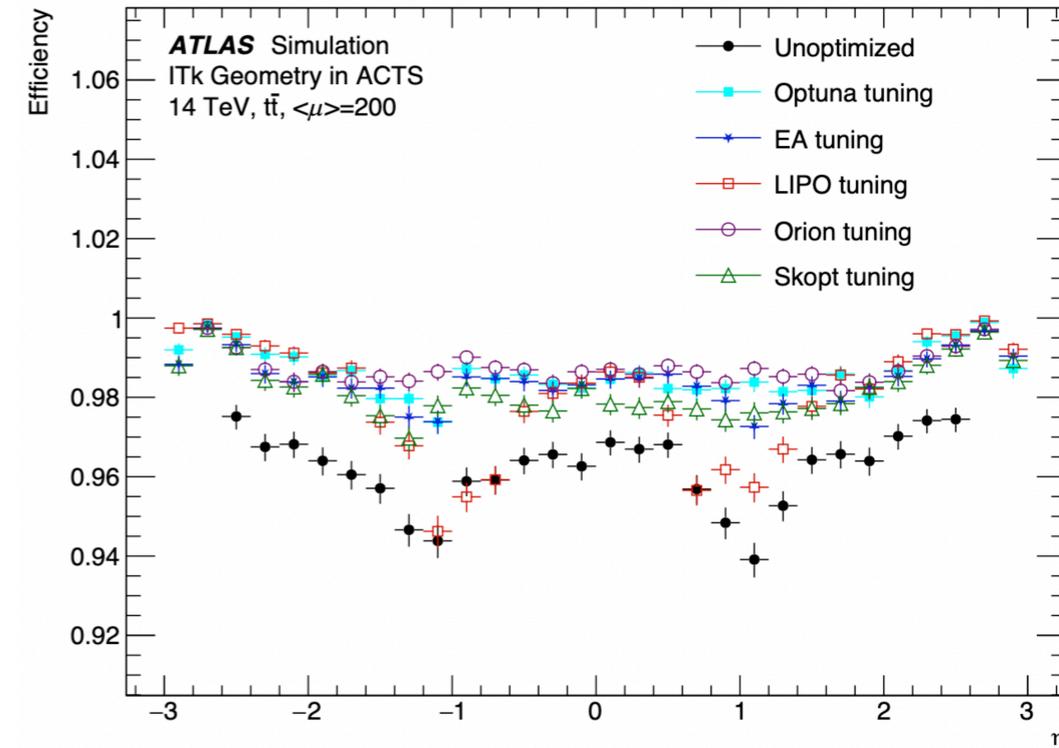
- Optimisation des paramètres des algorithmes de tracking
- Nombre min de hit par tracks, distance minimum entre 2 hits...
- Facilite la configuration pour de nouvelles expériences



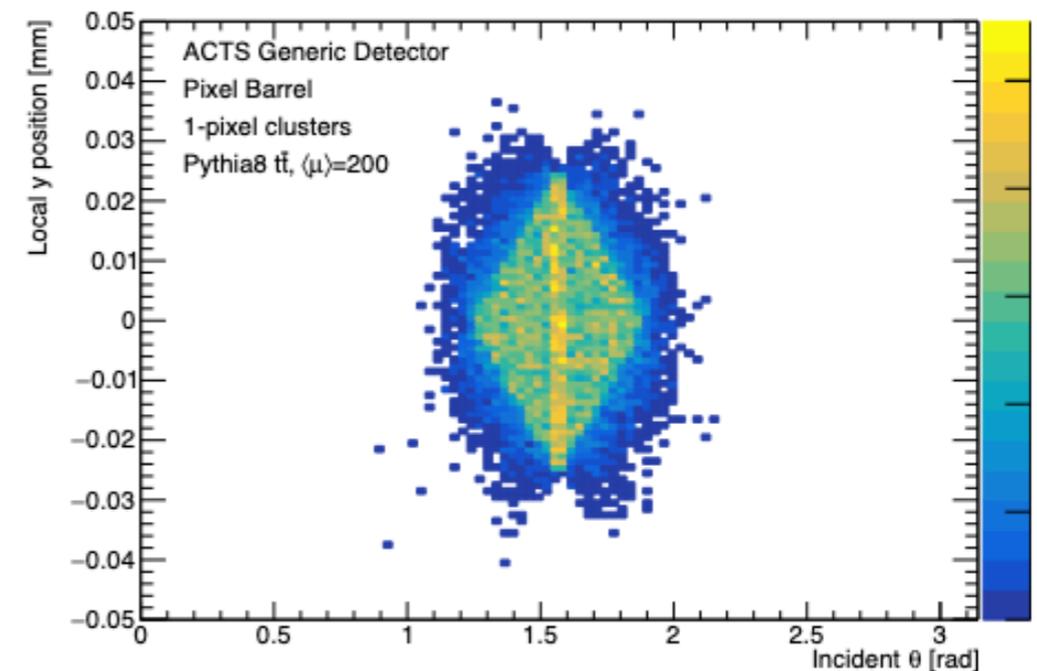
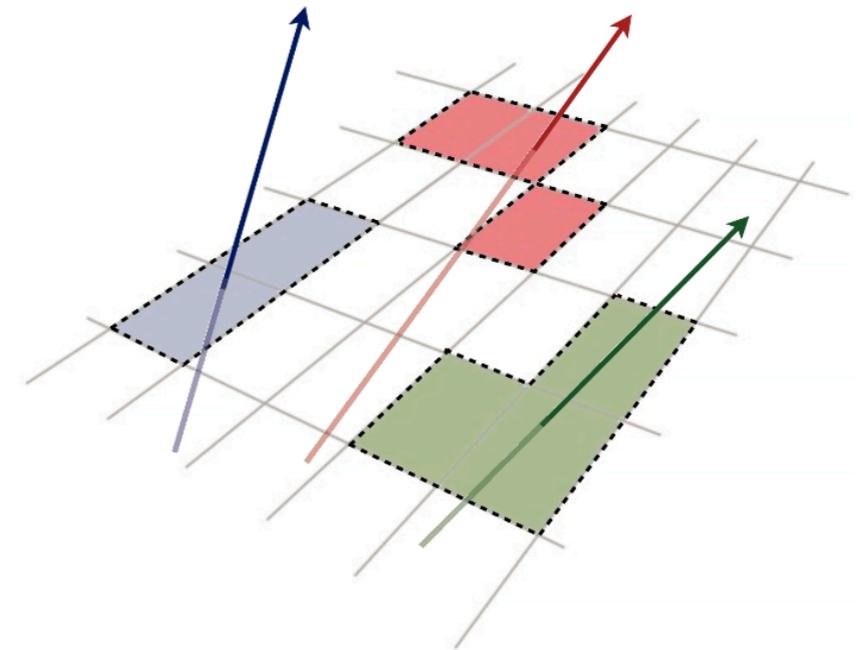
Example : Seeding

- Optimisation de l'algorithme sélectionnant les **graines de trajectoire**
- Objectif : maximiser l'efficacité et la vitesse, minimiser les mauvaises trajectoire
- Amélioration par rapport à la configuration de base **sans effort** humain

	Default	Optuna	Orion
Efficiency	0.936	0.967	0.963
Duplicate Rate	0.726	0.598	0.587
Fake Rate	5.56E-05	5.2E-05	8.8E-05
Total(sec) time/event	50.2	46.8	33.9



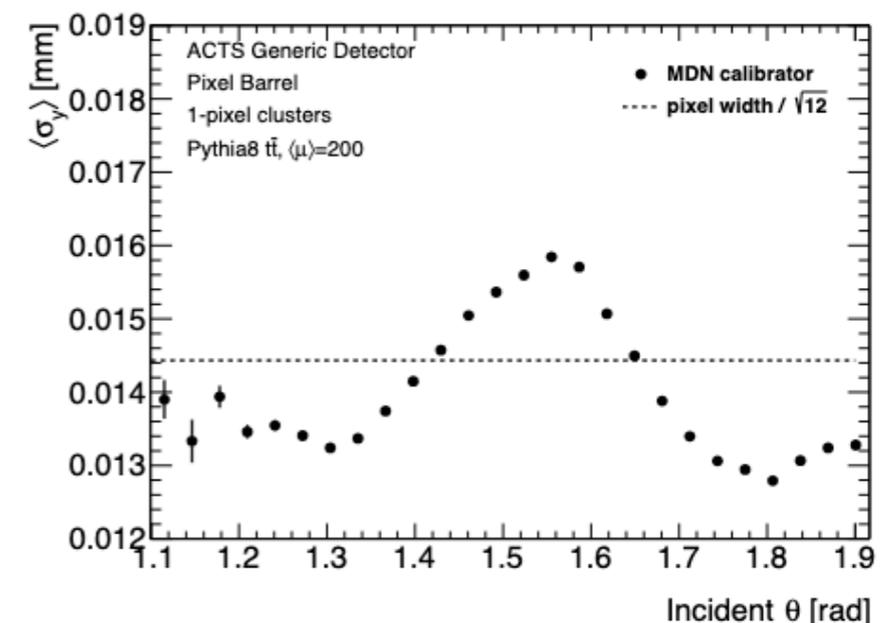
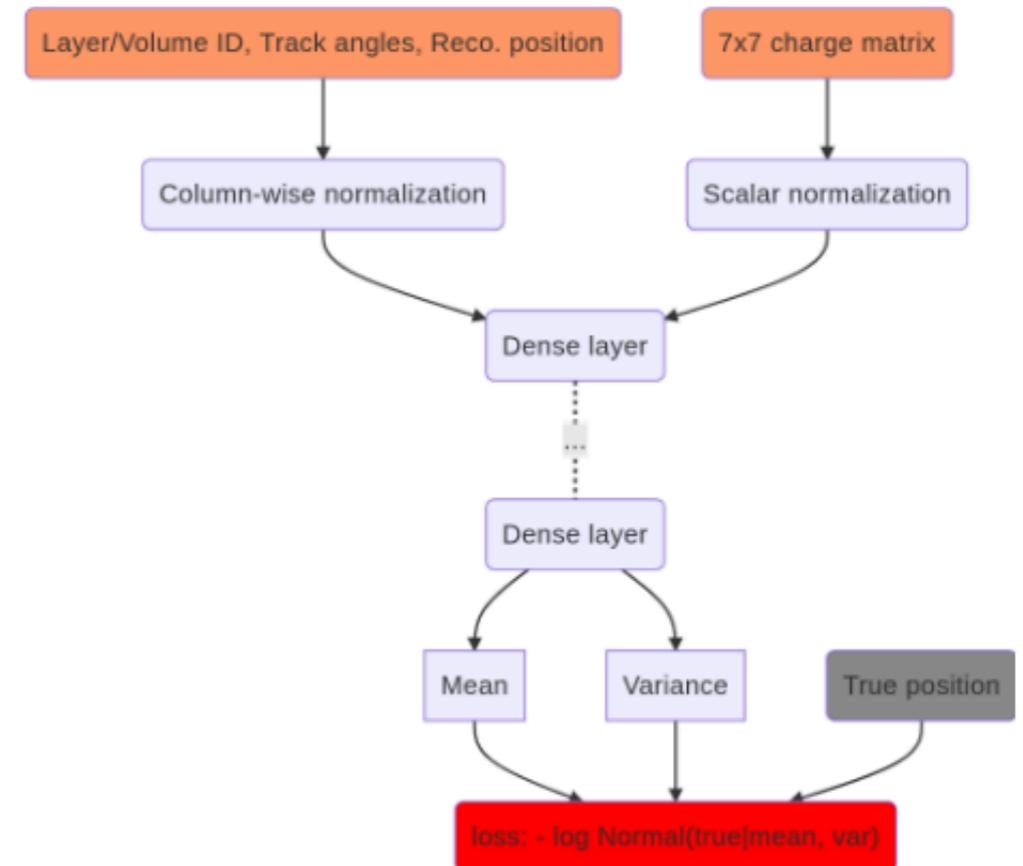
- **Clusterisation** : Combine les hits proche pour créer un **point de mesure**
- Position : moyenne pondérée par la charge
- Incertitude : $\frac{\text{largeur}_{\text{pixel}}}{\sqrt{12}}$
- Calibration : extra-info pour **corriger** la position et l'incertitude (direction, forme du cluster...)
- Méthode « classique » : correction basée sur l'angle de passage



- Mixture Density Network : sortie sous forme de **mix de distribution gaussienne**

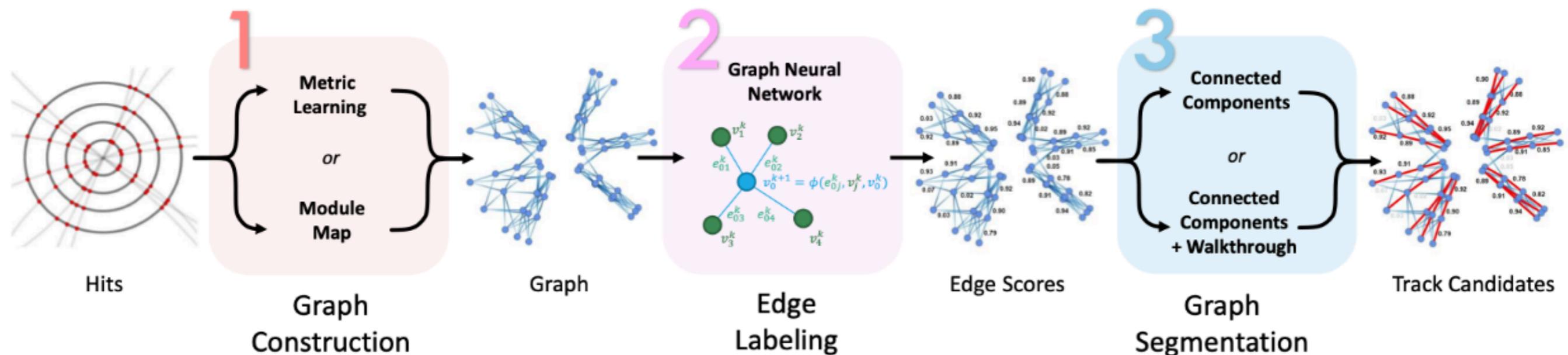
$$P(Y|X) \sim \sum_i \pi_i(X) \mathcal{N}(Y|\mu_i(X), \sigma_i(X))$$

- Sortie : position et résolution associées
- La nouvelle résolution évolue bien avec l'angle
- Disponible dans ACTS



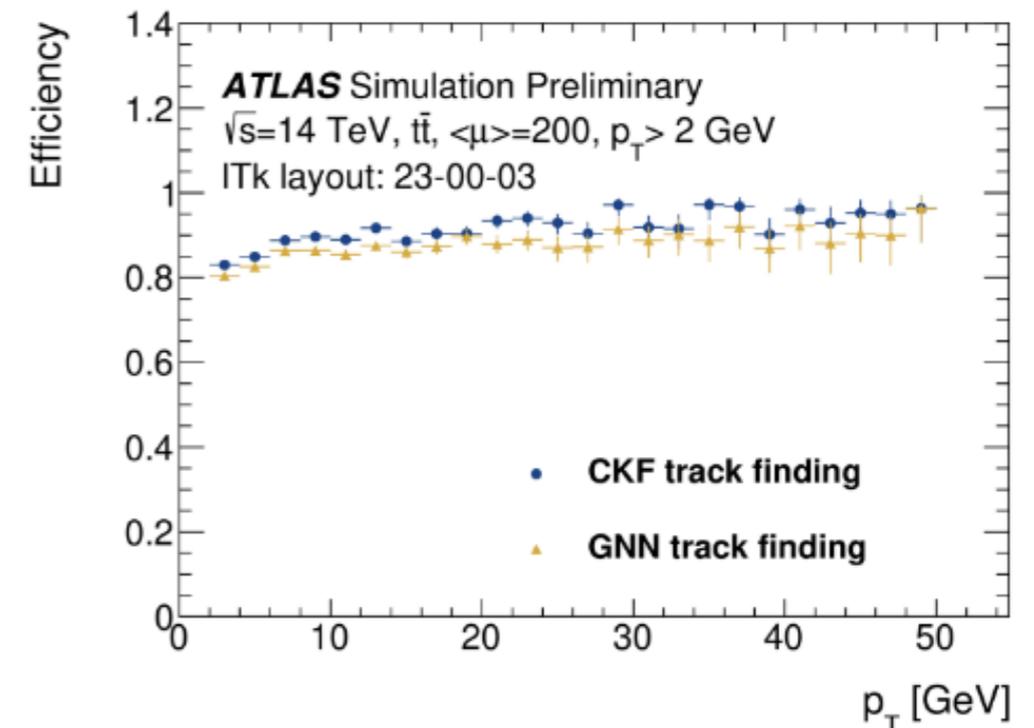
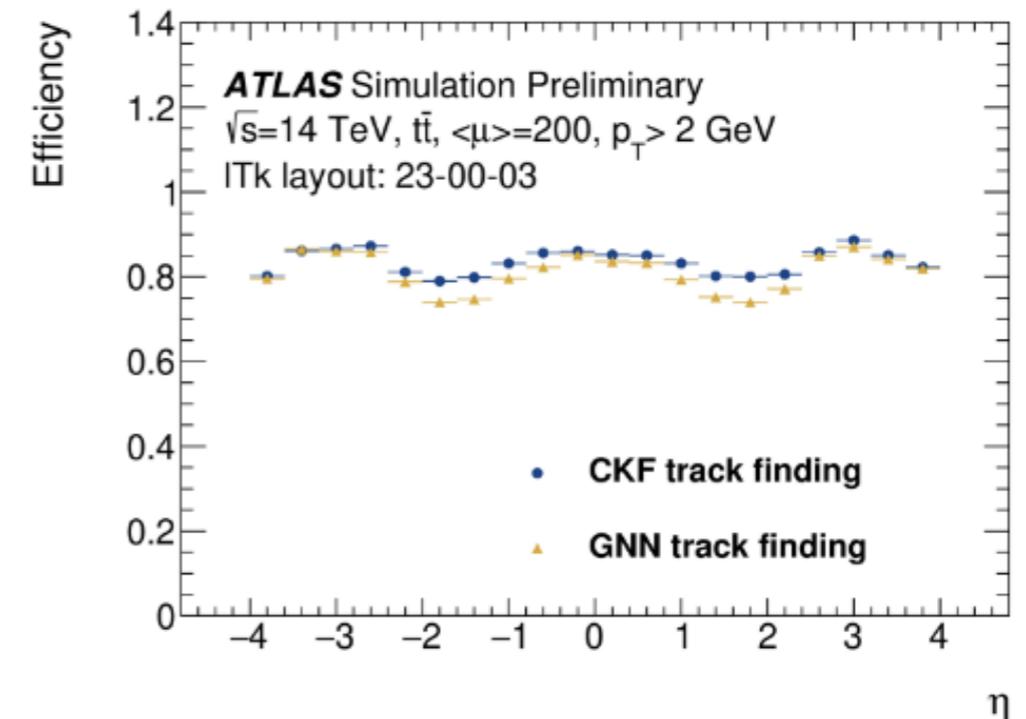
Graph Neural Network

- GNN : Réseau de neurone appliqué à des données structurées par un **graphe**
- Connecte les hits dans le détecteur
- Calcule un score pour chaque connexion
- Garde les scores élevés -> trajectoires
- Projet pour ATLAS (GNN4ITk) -> disponible dans ACTS

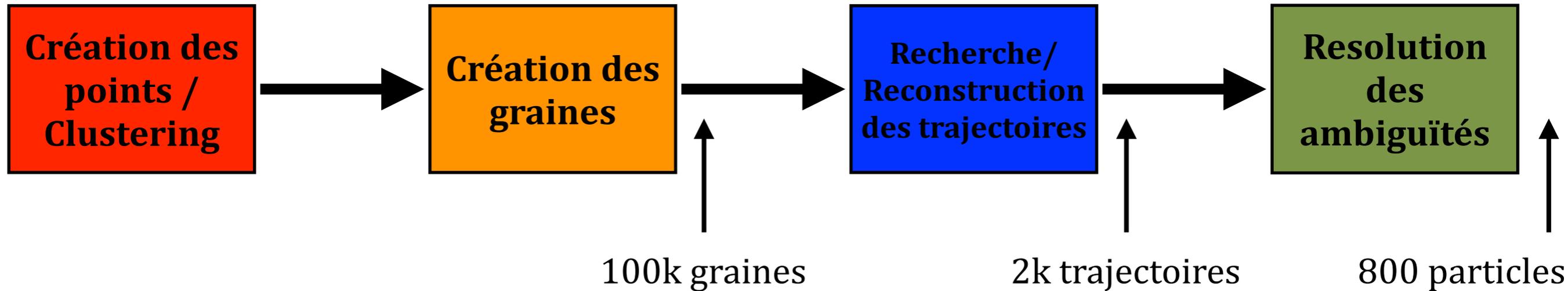


GNN Performances

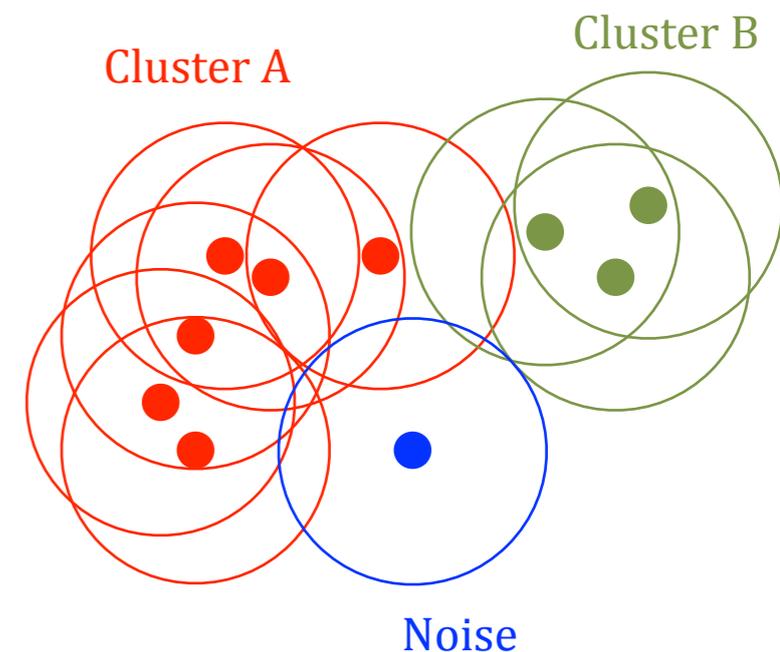
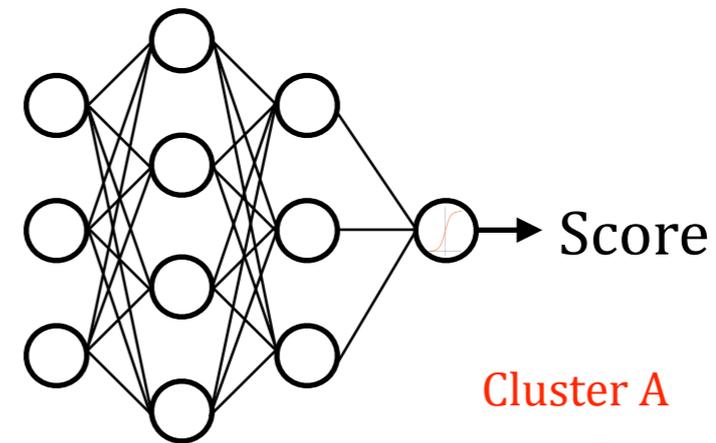
- Performance légèrement moins bonne que l'algorithme classique
- Relativement rapide (< 1s par événements)
- Tourne sur **GPU**



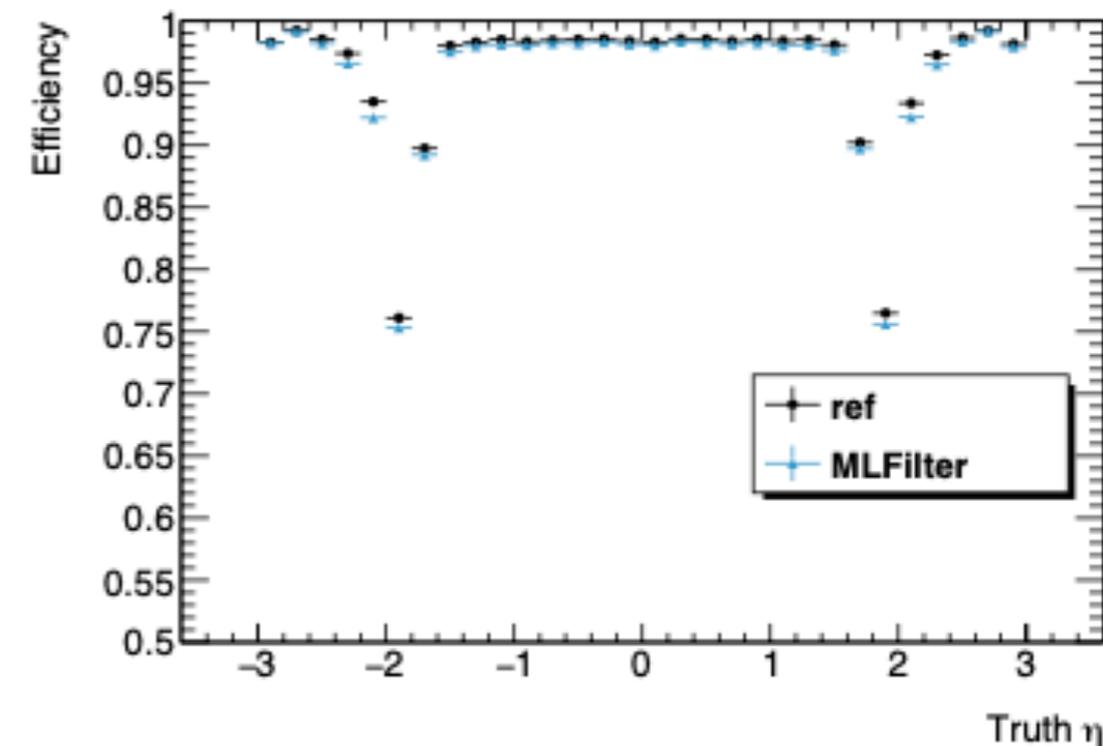
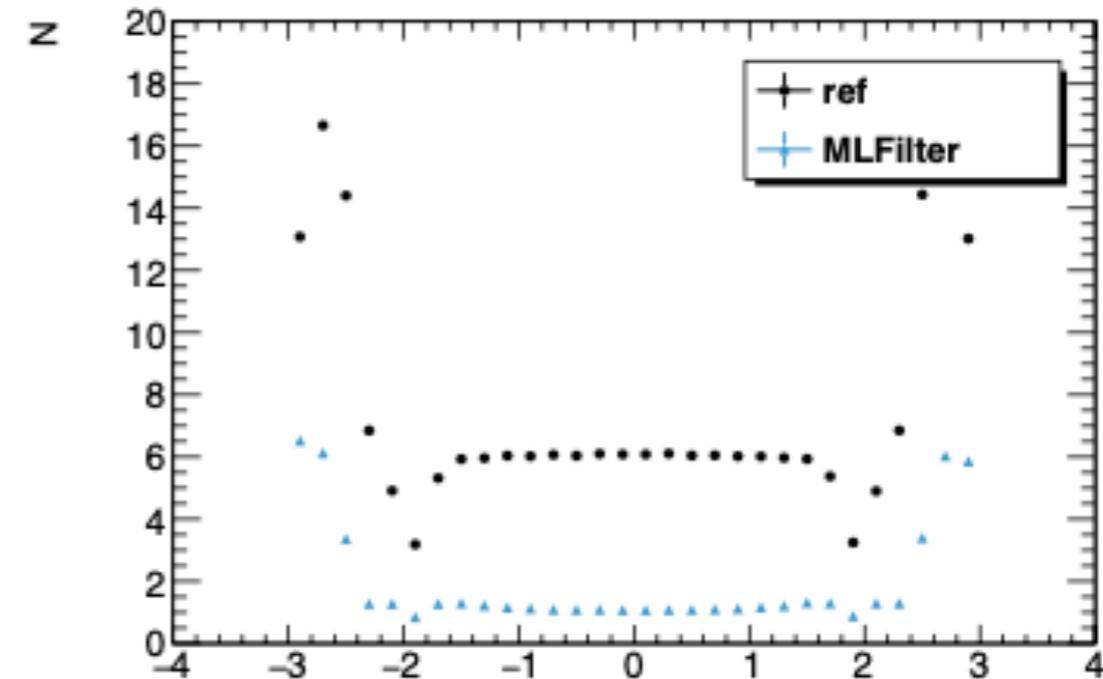
CTD 2023 Dataset		
Steps	Module Map (ms)	Metric Learning (ms)
Graph Construction	69	505
GNN	323	108
Graph Segmentation	118	118
Total:	510	731



- Trajectographie classique : beaucoup plus de graines et de trajectoires que de particules
- Utilisation d'un perceptron multicouche pour calculer un **score** par graine/trajectoire
- DBScan : **Groupe** les trajectoires similaires
- Garde le **meilleur score par groupe**



- Réduit grandement le nombre de graines par particules
- Très faible perte d'efficacité ($\sim 0.2\%$)
- La reconstruction ne tourne qu'une fois par particule !
- **Gain de vitesse** allant jusqu'à un facteur x3



	Efficiency	Best Efficiency	Track finding speed [s/event]
Reference	93.4%	86.3%	7.15
Reference + seed deduplication	93.3%	16.7%	3.34
MLSeedFilter	93.1%	48.7%	1.86

Conclusion

- Utilisation du ML/DL très présent dans le domaine de la trajectographie
- Énormément de **R&D** en cours pour utiliser des techniques toujours plus avancées
- Ces algorithmes commencent à être **adoptés** par les expériences de physique des hautes énergies
- Il est indispensable de bien comprendre les **spécificités** des **expériences** en termes de **détecteur** et de physique pour faire les bons choix

BACKUP