

Projet R&D – Fuse My Cells

Reconstruction multivue-like à partir d'une seule vue LSFM

Nael Klein

Soutenance

Polytech – Projet PRED 2025–2026

Contexte scientifique

Challenge Fuse My Cells

Pipeline proposé

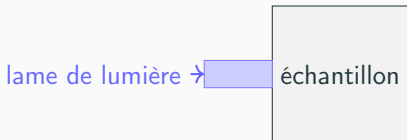
Travail réalisé

Perspectives

Contexte scientifique

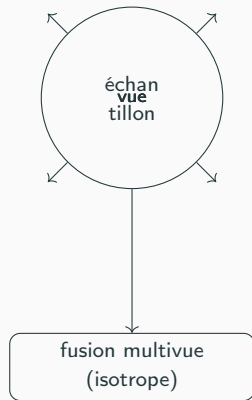
Microscopie light-sheet (LSFM)

- La LSFM illumine l'échantillon avec une **lame de lumière** fine.
- Acquisition 3D rapide, phototoxicité réduite.
- Mais :
 - **anisotropie axiale** (résolution z plus faible),
 - **dégradation du signal** en profondeur,
 - bruit Poisson + Gaussien.



Pourquoi la microscopie multivue ?

- Acquisition de plusieurs vues (2 à 4) sous différents angles.
- Fusion 3D \Rightarrow résolution **quasi isotrope**.
- Correction de :
 - l'anisotropie de la PSF,
 - la perte de signal en profondeur,
 - les zones masquées.
- Inconvénients :
 - forte exposition photonique,
 - complexité instrumentale,
 - temps expérimental.



Challenge Fuse My Cells

Description du dataset Fuse My Cells

- Challenge France-Biolmaging pour la reconstruction 3D en LSFM.
- Volumes 3D de grande taille (**plus de 50 Go compressés**) :
 - canal **noyaux**,
 - canal **membranes**.
- Images fortement anisotropes en z, bruit photonique dépendant de la profondeur.
- Certains volumes accompagnés d'une fusion multivue de référence (pour validation).

Objectif général du challenge

Prédire une image 3D **équivalente à une fusion multivue** en utilisant **une seule vue LSFM**.

Objectif officiel (formulation)

Fuse My Cells challenge

France-Biolmaging's Fuse My Cells challenge aims to advance new methods for 3D image-to-image fusion using deep learning in the fields of biology and microscopy.

Motivations principales

- Réduire l'exposition photonique et la phototoxicité.
- Étendre la durée de l'imagerie in vivo.
- Produire des volumes **faciles à segmenter et analyser**.
- Limiter les contraintes matérielles et expérimentales.

- On dispose d'une seule vue **bruitée, anisotrope** et dégradée en profondeur.
- On souhaite un volume 3D :
 - **isotrope** ou quasi,
 - avec un bon rapport signal–bruit,
 - fidèle aux structures biologiques fines.
- **Contraintes :**
 - pas de ground truth multivue parfaitement aligné,
 - volumes volumineux (mémoire GPU),
 - PSF non homogène dans le volume.

Frise chronologique des méthodes

Méthodes classiques et multivues



Apprentissage profond



Richardson–Lucy : déconvolution itérative

Idée principale

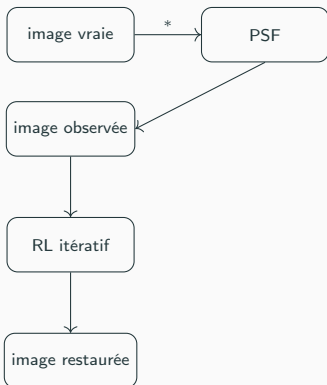
- Modèle : image observée = image vraie * PSF + bruit Poisson.
- Algorithme itératif maximisant la vraisemblance Poisson.

Avantages

- Interprétation statistique claire.
- Méthode de référence en microscopie.

Limites

- Amplifie le bruit si mal régularisé.
- Coûteux en 3D sur de grands volumes.



Principe

- Recherche de patches 2D/3D similaires.
- Empilement en blocs 3D, filtrage dans un domaine transformé.



empilement de patches

Forces

- Excellent pour bruit Gaussien.
- Préserve bien les détails.

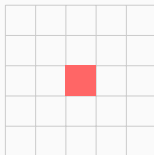
Limites pour notre projet

- Modèle de bruit peu adapté au Poisson pur.
- Pas de correction d'anisotropie ni de PSF.

Noise2Void : apprentissage auto-supervisé

Idée clé

- Masquer certains pixels et demander au réseau de les prédire à partir du voisinage.
- Pas besoin d'image propre de référence.



pixel masqué

Intérêt pour Fuse My Cells

- Permet d'exploiter les données brutes sans GT multivue.
- Compatible avec des PSF complexes.

Limite

- Méthode très localisée : ne corrige pas la **géométrie globale** du volume.

CARE

- U-Net supervisé pour la restauration d'images de microscopie.
- Nécessite des paires (entrée bruitée, sortie propre).
- **Limitation** : pas de ground truth multivue propre dans Fuse My Cells.

GAN informés par la physique

- Générateur + discriminateur, avec pertes basées sur la PSF, le bruit, la conservation d'intensité.
- Permet de respecter les contraintes du microscope.
- **Difficulté** : éviter les hallucinations et garder une interprétation biologique.

SPITFIR(e)

- Modélisation explicite du bruit de Poisson.
- Régularisation spatiale adaptée aux faibles doses.

Limites

- Conçues pour le débruitage 2D ou 3D local, pas pour corriger l'anisotropie.
- Ne remplacent pas une véritable fusion multivue.

Synthèse de l'état de l'art

Famille	Forces	Limites pour Fuse My Cells
Déconvolution (RL)	Modèle physique clair, bien maîtrisé	Sensible au bruit, coûteux en 3D, nécessite PSF fiable
Débruitage (BM3D, SPITFIR(e))	Très bons résultats sur le bruit	Ne corrige ni l'anisotropie ni la géométrie globale
DL supervisé (CARE)	Restauration très efficace	Exige des paires d'apprentissage propres
Auto-supervisé (Noise2Void)	Pas de ground truth nécessaire	Agit localement, pas de correction structurelle globale
GAN physiques	Potentiel élevé, intégration de la physique	Complexes à entraîner, risque d'hallucination

- Absence de ground truth multivue propre et parfaitement aligné.
- PSF variable, parfois inconnue, difficile à mesurer précisément.
- Bruit Poisson + Gaussien dépendant de la profondeur.
- Contraintes mémoire importantes sur les volumes 3D complets.
- Besoin de méthodes capables de combiner :
 - connaissances physiques,
 - apprentissage profond,
 - traitement global **et** local.

Pipeline proposé

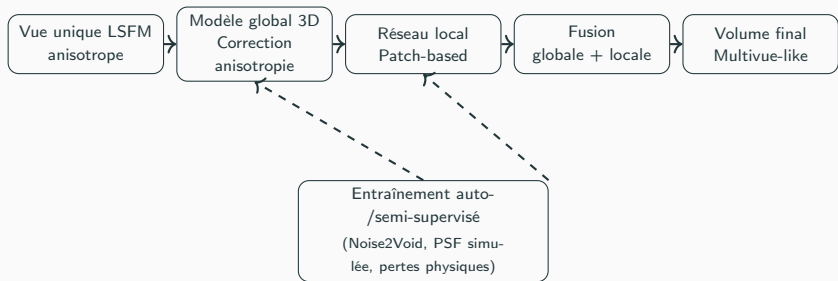
Modèle global 3D

- Volume sous-échantillonné.
- Corrige l'anisotropie et la géométrie globale.
- Voit l'**ensemble du volume**.

Modèle local patch-based

- Patches 3D haute résolution.
- Affine les détails fins, corrige le bruit local.
- Compatible avec les contraintes GPU.

Schéma global du pipeline



Travail réalisé

- Lecture détaillée et fiches d'une quinzaine d'articles clés.
- Construction d'un **état de l'art structuré** :
 - déconvolution physique,
 - débruitage avancé,
 - méthodes DL supervisées et auto-supervisées,
 - GAN informés par la physique.
- Conception du pipeline **global + local patch-based**.
- Choix et justification des métriques (N-SSIM, N-IOU).
- Analyse des contraintes mémoire et de la taille des volumes.

Perspectives

- **Implémentation complète** du pipeline proposé : modèle global 3D + raffinement local patch-based.
- **Exploitation du dataset Fuse My Cells** (50+ Go compressés, deux canaux : noyaux et membranes).
- **Cadre d'entraînement auto- / semi-supervisé** : Noise2Void, PSF simulée, contraintes physiques.
- **Validation expérimentale** sur l'ensemble des volumes du challenge.
- **Étude d'ablation** : analyse de l'impact relatif des composants (global, local, pertes physiques, PSF).

Conclusion

Un projet à l'interface entre **physique du microscope** et **IA**.

État de l'art consolidé, pipeline défini,
prêt pour la mise en œuvre.

Merci pour votre attention.