

fiche de lecture: Experimentally unsupervised deconvolution

nael klein

December 2025

1 Informations générales

1.1 Titre

Experimentally unsupervised deconvolution for light-sheet microscopy with propagation-invariant beams

1.2 Auteurs

Philip Wijesinghe, Stella Corsetti, Darren J. X. Chow, Shuzo Sakata, Kylie R. Dunning, Kishan Dholakia

1.3 Année

2022 — Light: Science and Applications, Volume 11, Article 319

1.4 Source / DOI / PDF

PDF : s41377-022-00975-6.pdf DOI : 10.1038/s41377-022-00975-6

2 Résumé de l'article

Cet article propose une méthode de déconvolution entièrement non supervisée sur le plan expérimental, dédiée à la microscopie light-sheet utilisant des faisceaux invariants à la propagation (Airy, Bessel). L'approche repose sur un GAN informé par la physique : les données d'entraînement sont générées à partir de la PSF théorique du système et de bases synthétiques (sparse, speckle), tandis que des images expérimentales non appariées servent à contraindre le contenu perceptuel.

Cette stratégie permet de déconvoluer et super-résoudre des images LSM avec un contraste et une résolution supérieurs aux méthodes classiques (Richardson-Lucy, TV). L'article démontre des gains importants de PSNR, une meilleure

tolérance au model mismatch, et des performances stables sur une grande variété d'échantillons.

3 Objectifs

- Proposer une déconvolution apprise ne nécessitant aucun ground truth expérimental.
- Exploiter la PSF théorique du système pour générer des paires LR/HR simulées.
- Déconvoluer efficacement les PSF complexes des faisceaux Airy et Bessel.
- Dépasser les performances du Richardson–Lucy (RL) tout en restant robuste aux variations optiques.
- Rendre l'approche accessible et généralisable à divers échantillons et microscopes.

4 Méthodologie

4.1 1. Simulation physique + apprentissage adversarial

Fig. 1 (p. 3) illustre le pipeline :

- Génération d'images simulées via convolution de bases sparse/speckle avec la PSF connue.
- Création des ground truths simulés par convolution avec un spot gaussien à $1/\sqrt{2}$ de la limite de diffraction.
- Mélange simultané d'images simulées (pour la fidélité physique) et expérimentales (pour la fidélité perceptuelle).

4.2 2. Architecture GAN

- Générateur : ResNet 16 couches (inspiré SRGAN).
- Discriminateur : PatchGAN.
- Perceptual loss basée sur VGG-16 pour aligner les caractéristiques du signal expérimental.
- Multi-objective training (deux discriminateurs) pour éviter la stagnation du min-max.

4.3 3. Training expérimentalement non supervisé

- Aucun GT réel : seul un volume LSM expérimental est utilisé (200 images).
- 512 images sparse + 512 speckle simulées.
- Entraînement en 2.5 h sur RTX 2060.

4.4 4. Comparaisons avec RL

Évaluations sur :

- données simulées (Airy/Bessel/Gaussian), Fig. 2 (p. 4–5),
- billes fluorescentes 200 nm (Fig. 3),
- blastocystes de souris (Fig. 4),
- complexes cumulus-ovocyte (Fig. 5),
- tissu neuronal YFP+ (Fig. 6),
- LSM multiphoton/Bessel (Fig. 7).

5 Résultats principaux

- **PSNR** : DL = 30–33 dB vs RL = 25–30 dB (Fig. 2b).
- **Mismatch** : tolérance $3\times$ supérieure à RL (Fig. 2c).
- **Super-résolution** : amélioration de la MTF au-delà du Gaussian (Fig. 3f).
- **Beads 200 nm** : PSF latérale beaucoup plus symétrique et fine que RL (Fig. 3).
- **Blastocyste** : DL atteint 3.4 m de résolution vs 4.9 m RL (Fig. 4).
- **Oocytes/COCs** : nette amélioration du contraste et de la résolution, même hors foyer (Fig. 5).
- **Cerveau** : détails neuronaux conservés même à 52 m de profondeur (Fig. 6).
- **Multiphoton/Bessel** : résolution 2.3 m \rightarrow 1.6 m (Fig. 7).

6 Forces

- Ne requiert aucun ground truth réel : training 100% expérimentalement non supervisé.
- Exploite les lois physiques du microscope (PSF connue).
- Excellente robustesse aux variations optiques / mismatch.
- Amélioration simultanée du contraste, du FOV, de la résolution.
- Fonctionne sur une large gamme d'échantillons et d'optiques.
- Inference rapide (0.2–0.5 s par image widefield).

7 Faiblesses / limites

- Modèle dépend de la PSF théorique : erreurs ou approximations peuvent dégrader la performance.
- Architecture uniquement 2D (limité par la VRAM) → légère perte de précision par rapport au 3D.
- Méthode encore coûteuse à entraîner (GAN + perceptual loss).
- Certains artefacts possibles si les bases sparse/speckle ne couvrent pas tout le spectre spatial.

8 Pertinence pour le challenge Fuse My Cells

Cet article est très pertinent pour mon travail sur *Fuse My Cells* :

- Le challenge nécessite de reconstruire une image 3D haute qualité à partir d'une seule vue bruitée — exactement l'objectif de cette méthode.
- L'approche physics-informed montre comment encoder une PSF LSM pour guider un réseau sans ground truth, ce qui correspond parfaitement au problème du challenge.
- Les faisceaux Airy/Bessel produisent des PSF complexes proches des distorsions réelles des données Fuse My Cells (anisotropie + bruit).
- L'excellente tolérance au mismatch est utile pour gérer les variations de profondeur et le bruit inhomogène du dataset du challenge.
- La restauration améliore les structures fines (membranes, noyaux) → impact direct sur N-SSIM et N-IOU.
- L'idée de mêler données simulées + images réelles sans paires est exactement ce que demande un pipeline single-view → multi-view-like.

9 Notions importantes

- GAN informé par la physique (physics-informed).
- PSF Airy/Bessel \rightarrow propagation-invariance.
- Bases sparse/speckle pour couvrir le spectre spatial.
- Perceptual loss pour aligner les caractéristiques réelles.
- Comparaison RL / TV / DL.
- Super-résolution sans ground truth.

10 Référence BibTeX

```
@article{Wijesinghe2022Unsupervised,  
  title={Experimentally unsupervised deconvolution for light-sheet  
        microscopy with propagation-invariant beams},  
  author={Wijesinghe, Philip and Corsetti, Stella and Chow, Darren J. X.  
        and Sakata, Shuzo and Dunning, Kylie R. and Dholakia, Kishan},  
  journal={Light: Science & Applications},  
  volume={11},  
  pages={319},  
  year={2022},  
  doi={10.1038/s41377-022-00975-6}  
}
```