

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 → 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 LSFM 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 → 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}  
}
```