

fiche de lecture: DMI

nael klein

December 2025

1 Informations générales

1.1 Titre

Denoising of Microscopy Images: A Review of the State-of-the-Art, and a New Sparsity-Based Method

1.2 Auteurs

William Meiniel, Jean-Christophe Olivo-Marin, Elsa D. Angelini

1.3 Année

2018 — IEEE Transactions on Image Processing, Vol. 27, No. 8

1.4 Source / DOI / PDF

PDF : [Denoising_of_Microscopy_Images_A_Review.pdf](#)

DOI : [10.1109/TIP.2018.2819821](#)

2 Résumé de l'article

Cet article propose une revue détaillée de douze méthodes de débruitage considérées comme références dans le domaine de l'imagerie microscopique, couvrant le bruit Gaussien, Poissonien et mixte Poisson-Gaussien. Les auteurs présentent ensuite une nouvelle méthode fondée sur la sparsité, appelée FSR (Fusion of Sparse Reconstructions), reposant sur des reconstructions partielles issues du cadre du compressed sensing (CS) et fusionnées via plusieurs stratégies (LWC, EWA, FBA).

La méthode combine : (i) une régularisation TV, (ii) une amélioration de l'information basse fréquence, et (iii) une agrégation optimale des estimateurs partiels. Les résultats montrent que la méthode FSR dépasse systématiquement les techniques existantes en PSNR et en SSIM dans des conditions de bruit particulièrement complexes, tout en utilisant un unique jeu de paramètres.

3 Objectifs

- Offrir une revue structurée et exhaustive des meilleures méthodes de débruitage dédiées à la microscopie.
- Proposer une nouvelle approche unifiée capable de traiter des bruits complexes (Poisson, Gaussien, mixte) sans hypothèse forte sur le modèle.
- Introduire une stratégie de reconstruction fondée sur des estimateurs multiples, fusionnés pour exploiter la redondance de l'information dans l'image.
- Tester de manière systématique les méthodes existantes et la méthode proposée sur des données réelles et synthétiques.

4 Méthodologie

4.1 1. Revue des méthodes existantes

Les auteurs évaluent 12 approches majeures (Table I, p. 3844) [?]:

- Méthodes TV et variantes (TV, TV-ICE, MAP Poisson, EM-TV).
- Méthodes non-locales (NLM, NLM-Poisson, NLPCA, PNLW).
- Méthodes parcimonieuses (Analysis K-SVD).
- Méthodes multi-échelles (Wavelet thresholding).
- BM3D, considéré comme l'état de l'art pour le bruit additif.

Chaque méthode est décrite selon son cadre théorique, ses hypothèses et ses limites, en s'appuyant sur des expériences contrôlées.

4.2 2. Modélisation du bruit

La section I-A (p. 3842–3843) présente trois modèles fondamentaux utilisés en microscopie :

- bruit Gaussien additif (readout noise),
- bruit Poissonien (photon noise + dark noise),
- bruit mixte Poisson-Gaussien (modèle réaliste regroupant les deux précédents).

4.3 3. Nouvelle méthode proposée : FSR

Le cœur de la contribution consiste en un schéma en trois étapes (Fig. 1, p. 3849) :

1. **Génération d'estimateurs partiels** via un sous-échantillonnage aléatoire dans le domaine de Fourier (compressed sensing).
2. **Reconstruction TV** de chaque échantillon partiel via optimisation convexe (NESTA).
3. **Fusion adaptative** des estimateurs partiels via trois stratégies :
 - LWC (Linear Weighted Combination),
 - EWA (Exponentially Weighted Aggregate),
 - FBA (Fourier Burst Accumulation).

4.4 4. Protocole expérimental

Les auteurs testent l'ensemble des méthodes sur trois types d'images (p. 3851) :

- **Pure** : image binaire de référence (structures simples).
- **Synth.** : image synthétique de cellule (Ruusuvuori et al., ISBI 2008).
- **Hela** : image réelle de microscopie confocale.

Des niveaux de bruit variés sont générés, avec comparaison systématique PSNR/SSIM (Fig. 4 à 7).

5 Résultats principaux

- La méthode FSR surpasse toutes les méthodes testées en PSNR sur l'ensemble des expériences (Fig. 4–7).
- Les stratégies de fusion EWA et FBA offrent les meilleurs scores en moyenne.
- BM3D reste performant mais moins robuste au bruit mixte Poisson-Gaussien.
- Les méthodes spécialisées Poisson (NLM-Poisson, NLPCA, PNLW) deviennent instables lorsque le bruit s'écarte du modèle Poisson pur.
- La méthode FSR atteint un haut niveau de qualité avec un jeu fixe de paramètres, ce qui est rare pour des données de microscopie.

6 Forces

- Très bonne robustesse aux différents types de bruit rencontrés en microscopie.
- Utilisation d'une unique paramétrisation pour toutes les images.
- Qualité visuelle élevée : contours nets, préservation des structures cellulaires.
- Approche conceptuellement simple : combiner plusieurs reconstructions partielles.
- Fondements théoriques solides (TV + CS + fusion d'estimateurs).

7 Faiblesses / limites

- Temps de calcul supérieur à BM3D et à certaines méthodes locales.
- Nécessite la résolution de plusieurs problèmes d'optimisation (1 par échantillon).
- Dépendance au choix du taux d'échantillonnage dans le domaine de Fourier.
- Méthode moins adaptée à des traitements en temps réel.

8 Pertinence pour le challenge Fuse My Cells

Cet article constitue une ressource importante pour mon travail sur le challenge *Fuse My Cells*, car il couvre plusieurs aspects directement liés à la reconstruction 3D et au débruitage d'acquisitions de microscopie :

- Il fournit une **analyse claire des modèles de bruit** rencontrés en imagerie biologique, essentiels pour comprendre la dégradation des volumes 3D anisotropes.
- La comparaison systématique des méthodes met en évidence les **limites des approches classiques** dès que le bruit devient mixte ou complexe, situation fréquente dans les données du challenge.
- Le modèle FSR propose une approche **multivues implicite** : plusieurs reconstructions partielles sont combinées pour obtenir un résultat plus stable, ce qui fait écho à l'objectif de fusion de vues en 3D du challenge.
- La forte robustesse de FSR face aux **textures cellulaires fines et aux structures de membrane** est particulièrement pertinente pour la segmentation et l'analyse ultérieures.
- L'article offre un cadre méthodologique qui aide à justifier le choix ou la construction d'un pipeline moderne combinant filtrage, sparsité, régularisation et fusion.

9 Notions importantes

- Modèles de bruit : Gaussien, Poissonien, mixte.
- Total Variation (TV) et optimisation convexe.
- Compressed sensing et sous-échantillonnage Fourier.
- Fusion d'estimateurs (LWC, EWA, FBA).
- Méthodes non-locales et parcimonieuses.

10 Référence BibTeX

```
@article{Meiniet2018,  
  title={Denoising of Microscopy Images: A Review of the  
        State-of-the-Art, and a New Sparsity-Based Method},  
  author={Meiniet, William and Olivo-Marin, Jean-Christophe  
        and Angelini, Elsa D.},  
  journal={IEEE Transactions on Image Processing},  
  volume={27},  
  number={8},  
  pages={3842--3856},  
  year={2018},  
  publisher={IEEE}  
}
```