

Projet Image

BONBON Adam, HUNOT-MARTIN Alaric, JEAN Louis

Master 2 IMAGINE
Faculté des Sciences, Université de Montpellier

13 décembre 2024

Débruitage ou restauration d'images par CNN



Plan de la présentation

1 Contexte et objectifs

- Contexte
- Objectifs

2 État de l'art

- État de l'art des techniques classiques de débruitage
- État de l'art des techniques de débruitage avec CNN

3 Approche proposée

- Types de bruit et méthodes étudiées
- Métriques utilisées

4 Détail des méthodes sélectionnées

- Filtrage passe-bas basé sur la transformée de Fourier
- BM3D
- NAFNet
- Notre CNN
- Débruitage vidéo

5 Démonstration et conclusion

- Interface graphique
- Démonstration
- Conclusion et perspectives

Vue d'ensemble

1 Contexte et objectifs

- Contexte
- Objectifs

2 État de l'art

- État de l'art des techniques classiques de débruitage
- État de l'art des techniques de débruitage avec CNN

3 Approche proposée

- Types de bruit et méthodes étudiées
- Métriques utilisées

4 Détail des méthodes sélectionnées

- Filtrage passe-bas basé sur la transformée de Fourier
- BM3D
- NAFNet
- Notre CNN
- Débruitage vidéo

5 Démonstration et conclusion

- Interface graphique
- Démonstration
- Conclusion et perspectives

Contexte : le débruitage d'images

- **Problème** : les images capturées sont souvent dégradées par des bruits (gaussien, sel et poivre, etc.), affectant leur qualité visuelle et leur utilité
- **Origine du bruit** :
 - Conditions de capture (faible éclairage, capteurs de mauvaise qualité)
 - Transmission (compression, bruit électronique)
- **Débruitage** : processus visant à supprimer ou réduire le bruit tout en préservant les détails et la structure des images
- **Applications** : utilisé en photographie, médecine (imagerie médicale), surveillance, et bien d'autres domaines

Vue d'ensemble

1 Contexte et objectifs

- Contexte

• Objectifs

2 État de l'art

- État de l'art des techniques classiques de débruitage
- État de l'art des techniques de débruitage avec CNN

3 Approche proposée

- Types de bruit et méthodes étudiées
- Métriques utilisées

4 Détail des méthodes sélectionnées

- Filtrage passe-bas basé sur la transformée de Fourier
- BM3D
- NAFNet
- Notre CNN
- Débruitage vidéo

5 Démonstration et conclusion

- Interface graphique
- Démonstration
- Conclusion et perspectives

Objectifs

- **Objectif** : améliorer la qualité des images bruitées à l'aide de techniques modernes
- **Idée** : proposer une application capable de débruiter des images selon deux approches :
 - Méthodes traditionnelles (sans CNN)
 - Apprentissage profond (CNN)
- **Fonctionnalité principale** : importer une image, ajouter du bruit (gaussien ou sel et poivre, optionnel), et la débruiter

Vue d'ensemble

1 Contexte et objectifs

- Contexte
- Objectifs

2 État de l'art

- État de l'art des techniques classiques de débruitage
- État de l'art des techniques de débruitage avec CNN

3 Approche proposée

- Types de bruit et méthodes étudiées
- Métriques utilisées

4 Détail des méthodes sélectionnées

- Filtrage passe-bas basé sur la transformée de Fourier
- BM3D
- NAFNet
- Notre CNN
- Débruitage vidéo

5 Démonstration et conclusion

- Interface graphique
- Démonstration
- Conclusion et perspectives

État de l'art des techniques classiques de débruitage

- **Filtres linéaires et non linéaires** : filtre moyenneur, filtre médian, filtre bilatéral, filtre de Wiener
- **Transformées et domaine fréquentiel** : transformée en ondelettes de Haar, transformée de Fourier
- **Techniques de régularisation** : variation totale, modèles basés sur la DDP
- **Techniques basées sur la parcimonie et la similarité** : BM3D, Non-Local Means (NLM)
- **Techniques fréquentielles adaptatives** : filtre guidé, Adaptive Bilateral Filtering (ABF)

Vue d'ensemble

1 Contexte et objectifs

- Contexte
- Objectifs

2 État de l'art

- État de l'art des techniques classiques de débruitage
- État de l'art des techniques de débruitage avec CNN

3 Approche proposée

- Types de bruit et méthodes étudiées
- Métriques utilisées

4 Détail des méthodes sélectionnées

- Filtrage passe-bas basé sur la transformée de Fourier
- BM3D
- NAFNet
- Notre CNN
- Débruitage vidéo

5 Démonstration et conclusion

- Interface graphique
- Démonstration
- Conclusion et perspectives

État de l'art des techniques de débruitage avec CNN

Modèle	Année	PSNR (dB)	SSIM	Observations
DnCNN	2017	39.16	0.96	Simple et rapide pour le bruit gaussien, mais limité pour bruit complexe
FFDNet	2018	39.25	0.96	Flexible pour différents niveaux de bruit, inefficace sur bruit très complexe
CBDNet	2019	39.70	0.97	Robuste pour bruits réalistes, mais coûteux en calcul
RIDNet	2019	39.92	0.97	Préserve bien les textures fines, nécessite beaucoup de données
SwinIR	2021	40.10	0.98	Excellente performance sur les détails, mais gourmand en mémoire
NAFNet	2022	40.15	0.98	Très performant mais nécessite un GPU puissant
CGNet	2024	40.00	0.98	Capture bien les contextes globaux, mais légèrement moins précis sur textures complexes

Table – Synthèse des performances des méthodes CNN pour le débruitage

Vue d'ensemble

1 Contexte et objectifs

- Contexte
- Objectifs

2 État de l'art

- État de l'art des techniques classiques de débruitage
- État de l'art des techniques de débruitage avec CNN

3 Approche proposée

- Types de bruit et méthodes étudiées
- Métriques utilisées

4 Détail des méthodes sélectionnées

- Filtrage passe-bas basé sur la transformée de Fourier
- BM3D
- NAFNet
- Notre CNN
- Débruitage vidéo

5 Démonstration et conclusion

- Interface graphique
- Démonstration
- Conclusion et perspectives

Vue d'ensemble

1 Contexte et objectifs

- Contexte
- Objectifs

2 État de l'art

- État de l'art des techniques classiques de débruitage
- État de l'art des techniques de débruitage avec CNN

3 Approche proposée

- Types de bruit et méthodes étudiées
- Métriques utilisées

4 Détail des méthodes sélectionnées

- Filtrage passe-bas basé sur la transformée de Fourier
- BM3D
- NAFNet
- Notre CNN
- Débruitage vidéo

5 Démonstration et conclusion

- Interface graphique
- Démonstration
- Conclusion et perspectives

Types de bruit et méthodes étudiées

- **Types de bruit étudiés :**

- Bruit gaussien
- Bruit sel et poivre

- **Méthodes explorées :**

- **Méthodes classiques :**

- Filtre médian
- Filtre moyenneur
- Filtre gaussien
- Filtre bilatéral
- Filtre de Wiener
- Filtre passe-bas basé sur la transformée de Fourier
- Variation totale
- Filtre basé sur la transformée en ondelettes de Haar
- BM3D

- **Méthodes basées sur CNN :**

- CNN personnalisé basé sur l'architecture CGNet
- NAFNet, réseau convolutif pré-entraîné
- CNN pour débruitage vidéo

Vue d'ensemble

1 Contexte et objectifs

- Contexte
- Objectifs

2 État de l'art

- État de l'art des techniques classiques de débruitage
- État de l'art des techniques de débruitage avec CNN

3 Approche proposée

- Types de bruit et méthodes étudiées
- Métriques utilisées

4 Détail des méthodes sélectionnées

- Filtrage passe-bas basé sur la transformée de Fourier
- BM3D
- NAFNet
- Notre CNN
- Débruitage vidéo

5 Démonstration et conclusion

- Interface graphique
- Démonstration
- Conclusion et perspectives

Métriques utilisées

PSNR

Peak Signal-to-Noise Ratio : mesure la qualité de l'image restaurée en comparant le signal avec le bruit

SSIM

Structural Similarity Index Measure : évalue la similarité structurelle entre l'image originale et l'image débruitée

NIMA

Neural IMage Assessment : mesure la qualité de l'image sans références

Vue d'ensemble

1 Contexte et objectifs

- Contexte
- Objectifs

2 État de l'art

- État de l'art des techniques classiques de débruitage
- État de l'art des techniques de débruitage avec CNN

3 Approche proposée

- Types de bruit et méthodes étudiées
- Métriques utilisées

4 Détail des méthodes sélectionnées

- Filtrage passe-bas basé sur la transformée de Fourier
- BM3D
- NAFNet
- Notre CNN
- Débruitage vidéo

5 Démonstration et conclusion

- Interface graphique
- Démonstration
- Conclusion et perspectives

Vue d'ensemble

1 Contexte et objectifs

- Contexte
- Objectifs

2 État de l'art

- État de l'art des techniques classiques de débruitage
- État de l'art des techniques de débruitage avec CNN

3 Approche proposée

- Types de bruit et méthodes étudiées
- Métriques utilisées

4 Détail des méthodes sélectionnées

- Filtrage passe-bas basé sur la transformée de Fourier
- BM3D
- NAFNet
- Notre CNN
- Débruitage vidéo

5 Démonstration et conclusion

- Interface graphique
- Démonstration
- Conclusion et perspectives

Filtrage passe-bas basé sur la transformée de Fourier

Principe :

- Représentation d'une image bruitée dans le domaine fréquentiel grâce à la transformée de Fourier.
- Application d'un filtre passe-bas gaussien pour atténuer les zones correspondant au bruit.
- Reconstruction de l'image débruitée en appliquant la transformée de Fourier inverse.

Filtrage passe-bas basé sur la transformée de Fourier

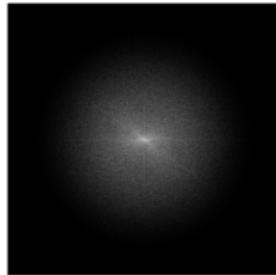
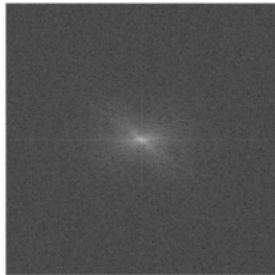


Figure – Étapes du filtrage passe-bas dans le domaine fréquentiel

Résultat sur un ensemble d'images bruitées

- PSNR moyen :

- Images originales et images bruitées gaussiennes : **19.7 dB**
- Images originales et images débruitées gaussiennes : **27.58 dB**
- Images originales et images bruitées sel et poivre : **14.47 dB**
- Images originales et images débruitées sel et poivre : **24.4 dB**

- SSIM moyen :

- Images originales et images bruitées gaussiennes : **0.29**
- Images originales et images débruitées gaussiennes : **0.74**
- Images originales et images bruitées sel et poivre : **0.17**
- Images originales et images débruitées sel et poivre : **0.66**

- Score NIMA :

- Images originales : **5.91.**
- Images bruitées gaussiennes : **5.41**
- Images débruitées gaussiennes : **5.26**
- Images bruitées sel et poivre : **5.68**
- Images débruitées sel et poivre : **4.72**

Interprétation des résultats et limites de la méthode

- **Analyse des métriques :**

- Amélioration significative entre les images bruitées et débruitées :
- Scores NIMA incohérents.

- **Limites de la méthode :**

- Besoin d'une intervention humaine.
- N'a pas été généralisable.

- **Perspectives :**

- Automatiser la sélection des régions fréquentielles en utilisant des techniques de machine learning.

Vue d'ensemble

1 Contexte et objectifs

- Contexte
- Objectifs

2 État de l'art

- État de l'art des techniques classiques de débruitage
- État de l'art des techniques de débruitage avec CNN

3 Approche proposée

- Types de bruit et méthodes étudiées
- Métriques utilisées

4 Détail des méthodes sélectionnées

- Filtrage passe-bas basé sur la transformée de Fourier
- **BM3D**
- NAFNet
- Notre CNN
- Débruitage vidéo

5 Démonstration et conclusion

- Interface graphique
- Démonstration
- Conclusion et perspectives

BM3D (Block-Matching and 3D Filtering)

- **Étapes clés :**

- ① **Regroupement (Block-Matching)** : trouve des blocs similaires à un bloc de référence et les empile pour former un groupe 3D
- ② **Filtrage 3D** : applique une transformation 3D (comme la DCT ou la transformée en ondelettes) suivie d'un seuillage pour éliminer le bruit
- ③ **Agrégation** : combine les blocs filtrés pour reconstruire l'image débruitée

- **Avantages :**

- Très efficace pour le **bruit gaussien**
- Préserve bien les détails et les textures de l'image

- **Inconvénients :**

- Temps de calcul élevé
- Moins efficace pour du bruit local (ex : sel et poivre)

Résultats et analyses

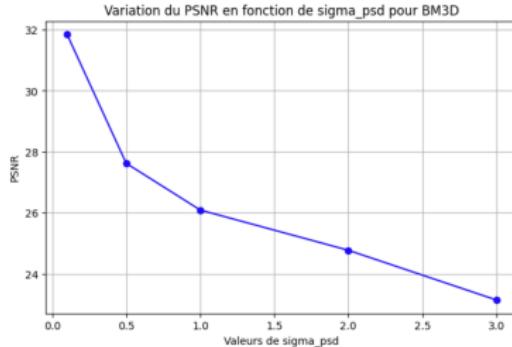


Figure – Évolution du PSNR pour BM3D



Figure – Lena débruitée avec BM3D ($\sigma = 0.1$, PSNR = 31.82 dB)

Vue d'ensemble

1 Contexte et objectifs

- Contexte
- Objectifs

2 État de l'art

- État de l'art des techniques classiques de débruitage
- État de l'art des techniques de débruitage avec CNN

3 Approche proposée

- Types de bruit et méthodes étudiées
- Métriques utilisées

4 Détail des méthodes sélectionnées

- Filtrage passe-bas basé sur la transformée de Fourier
- BM3D
- **NAFNet**
- Notre CNN
- Débruitage vidéo

5 Démonstration et conclusion

- Interface graphique
- Démonstration
- Conclusion et perspectives

NAFNet : restauration d'images simplifiée

NAFNet (*Nonlinear Activation-Free Network*) est un modèle efficace et polyvalent pour restaurer les images, conçu avec une architecture simple à entraîner.

Caractéristiques clés :

- **Convolutions essentielles** : pour extraire les caractéristiques importantes
- **Attention légère** : capture les zones d'intérêts
- **Blocs récurrents** : affine la restauration

Avantages :

- **Simplicité** : pas d'activation non linéaire, entraînement rapide
- **Efficacité** : moins de calculs, restauration de qualité
- **Polyvalence** : fonctionne pour diverses tâches (débruitage, super-résolution, etc.)

Résultats avec NAFNet

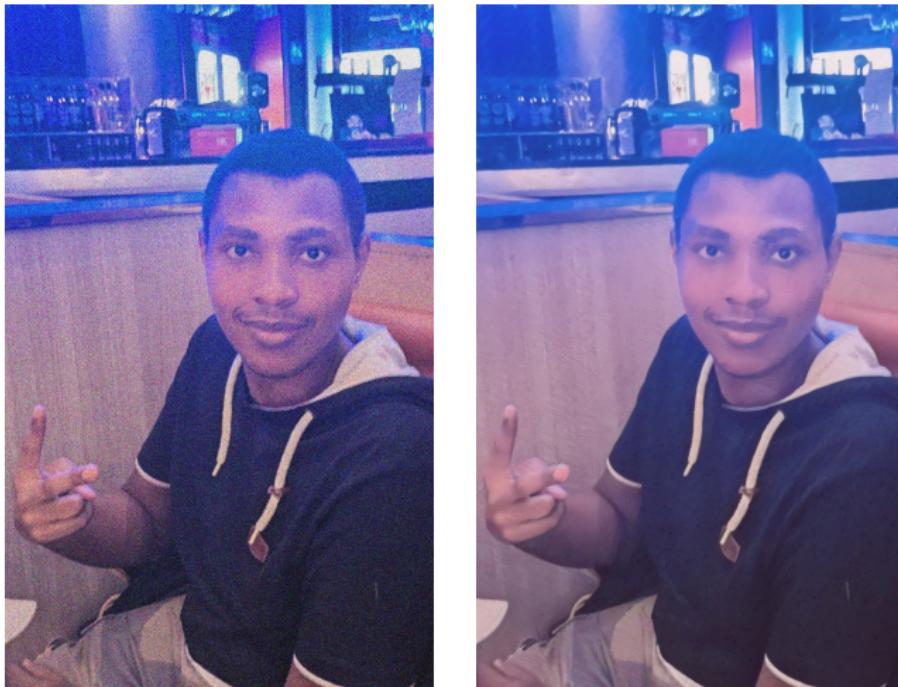


Figure – Exemple d'une image en couleur débruitée avec NAFNet.

Résultat sur un ensemble d'images bruitées

- **PSNR moyen :**

- images originales et images bruitées gaussiennes : **19.70 dB**
- images originales et images débruitées gaussiennes : **26.05 dB**
- images originales et images bruitées sel et poivre : **17.59 dB**
- images originales et images débruitées sel et poivre : **19.42 dB**

- **SSIM moyen :**

- images originales et images bruitées gaussiennes : **0.31**
- images originales et images débruitées gaussiennes : **0.70**
- images originales et images bruitées sel et poivre : **0.37**
- images originales et images débruitées sel et poivre : **0.45**

- **Score NIMA moyen :**

- Images originales : **5.31.**
- Images bruitées gaussiennes : **4.89**
- Images débruitées gaussiennes : **5.10**
- Images bruitées sel et poivre : **5.31**
- Images débruitées sel et poivre : **4.91**

Interprétation des résultats et limites de NAFNet

- **Analyse des métriques**
 - Amélioration visible
 - Scores NIMA inconsistants
- **Limites de la méthode :**
 - Difficile à mettre en place
 - Image débruitée sel et poivre de pauvre qualité
- **Perspectives :**
 - Adapter le réseau pour mieux gérer des bruits non-gaussiens comme le sel et poivre
 - Intégrer de meilleures métriques qualitatives pour corriger l'incohérence des scores NIMA

Vue d'ensemble

1 Contexte et objectifs

- Contexte
- Objectifs

2 État de l'art

- État de l'art des techniques classiques de débruitage
- État de l'art des techniques de débruitage avec CNN

3 Approche proposée

- Types de bruit et méthodes étudiées
- Métriques utilisées

4 Détail des méthodes sélectionnées

- Filtrage passe-bas basé sur la transformée de Fourier
- BM3D
- NAFNet
- **Notre CNN**
- Débruitage vidéo

5 Démonstration et conclusion

- Interface graphique
- Démonstration
- Conclusion et perspectives

Développement d'un CNN pour le débruitage

- **Architecture :**

- CNN inspiré de **CGNet**

- **Version simplifiée :**

- Moins de couches pour réduire la complexité
- Adaptée aux ressources limitées
- Optimisée pour des performances rapides et efficaces

- **Limitations de la simplification :**

- Moins de paramètres que l'architecture CGNet complète
- Réduction du nombre de couches intermédiaires
- Compromis entre rapidité et précision

- **Dataset utilisé :**

- **BSD500** pour l'entraînement et l'évaluation.

- **Entraînement de trois modèles distincts :**

- Débruitage du **bruit sel et poivre**
- Débruitage du **bruit gaussien**
- Débruitage **combiné** (sel et poivre + gaussien)

Le dataset BSD500

- **Nombre d'images :** 200 images utilisées pour l'entraînement
- **Type d'images :** Images naturelles variées (textures, paysages ...).
- **Prétraitement :**
 - Redimensionnement en 256 x 256 pixels
 - Conversion en tensors avec des valeurs comprises entre 0 et 1
- **Bruit ajouté :**
 - **Bruit gaussien :** $\sigma = 0.1$
 - **Bruit sel et poivre :** $p = 0.05$
- **Formats acceptés :** .png, .jpg, .jpeg, .bmp, .tiff

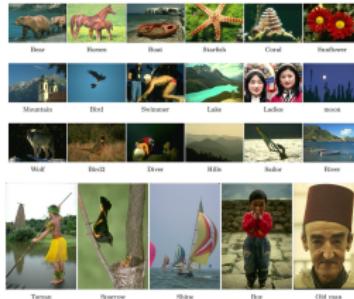


Figure – Exemples d'images du dataset BSD500

Architecture utilisée pour le débruitage

① **Type d'architecture** : CNN **Encodeur-Décodeur** inspiré de CGNet

② **Structure principale** :

- **Encodeur** : convolutions avec activations ReLU, réduction progressive de la taille
- **Couche intermédiaire** : convolutions pour capturer des informations complexes
- **Décodeur** : convolutions transposées pour reconstruire l'image avec une activation sigmoïde

③ **Fonctionnement global** : encodage de l'image bruitée, traitement intermédiaire, puis décodage pour obtenir une image débruitée

④ **Caractéristiques clés** :

- **Simplicité** : moins de couches, rapide à entraîner
- **Efficacité** : adapté à différents types de bruit
- **Préservation des détails** : pas de max pooling

- Bruit sel et poivre :



- Bruit gaussien :



- Bruit combiné (sel et poivre + gaussien) :



Performances des modèles de débruitage

Débruitage du bruit sel et poivre :

Type	PSNR	SSIM	NIMA
Bruitée	18.06	0.4148	5.29
Générée	29.87	0.8841	5.42

Débruitage du bruit gaussien :

Type	PSNR	SSIM	NIMA
Bruitée	20.33	0.3882	5.41
Générée	28.89	0.8130	5.46

Débruitage du bruit combiné (sel et poivre + gaussien) :

Type	PSNR	SSIM	NIMA
Bruitée	16.11	0.2579	5.63
Générée	27.08	0.7429	5.52

Vue d'ensemble

1 Contexte et objectifs

- Contexte
- Objectifs

2 État de l'art

- État de l'art des techniques classiques de débruitage
- État de l'art des techniques de débruitage avec CNN

3 Approche proposée

- Types de bruit et méthodes étudiées
- Métriques utilisées

4 Détail des méthodes sélectionnées

- Filtrage passe-bas basé sur la transformée de Fourier
- BM3D
- NAFNet
- Notre CNN

• Débruitage vidéo

5 Démonstration et conclusion

- Interface graphique
- Démonstration
- Conclusion et perspectives

Introduction au débruitage vidéo

Objectif : utiliser le modèle de débruitage basé sur **CGNet** pré-entraîné sur le dataset **BSD500** pour débruiter des vidéos du dataset **DAVIS**

Pourquoi cette approche ?

- **Modèle pré-entraîné** : le modèle a appris à débruiter des images avec bruit gaussien et sel et poivre sur BSD500
- **Dataset DAVIS** : contient des vidéos haute résolution (1080p) segmentées en frames
- **Méthodologie** : appliquer du bruit aux frames de DAVIS, utiliser le modèle pour débruiter chaque frame, puis reconstruire les vidéos

Résultat attendu : Des vidéos débruitées de haute qualité sauvegardées au format **MP4**

Processus de débruitage vidéo

Étapes :

① Lecture des frames :

- Extraction des frames des vidéos DAVIS stockées dans des dossiers individuels

② Ajout de bruit :

- Application du bruit gaussien et du bruit sel et poivre à chaque frame :
 - **Bruit gaussien** : Moyenne = 0, Écart-type = 25
 - **Bruit sel et poivre** : Probabilité = 5%

③ Débruitage avec le modèle :

- Conversion des frames bruitées en **tensors PyTorch**
- Débruitage des frames une à une avec le modèle CGNet préentraîné

④ Reconstruction des frames :

- Conversion des tensors débruités en images au format **NumPy**

⑤ Crédit des vidéos :

- Assemblage des frames bruitées et débruitées en vidéos **MP4** avec OpenCV

Exemples de frames vidéo

Sel et poivre



Bruitée

Débruitée

Gaussien



Bruitée

Débruitée

Combiné



Bruitée

Débruitée

Vue d'ensemble

1 Contexte et objectifs

- Contexte
- Objectifs

2 État de l'art

- État de l'art des techniques classiques de débruitage
- État de l'art des techniques de débruitage avec CNN

3 Approche proposée

- Types de bruit et méthodes étudiées
- Métriques utilisées

4 Détail des méthodes sélectionnées

- Filtrage passe-bas basé sur la transformée de Fourier
- BM3D
- NAFNet
- Notre CNN
- Débruitage vidéo

5 Démonstration et conclusion

- Interface graphique
- Démonstration
- Conclusion et perspectives

Vue d'ensemble

1 Contexte et objectifs

- Contexte
- Objectifs

2 État de l'art

- État de l'art des techniques classiques de débruitage
- État de l'art des techniques de débruitage avec CNN

3 Approche proposée

- Types de bruit et méthodes étudiées
- Métriques utilisées

4 Détail des méthodes sélectionnées

- Filtrage passe-bas basé sur la transformée de Fourier
- BM3D
- NAFNet
- Notre CNN
- Débruitage vidéo

5 Démonstration et conclusion

- Interface graphique
- Démonstration
- Conclusion et perspectives

Interface graphique

- Interface graphique intuitive pour centraliser les méthodes
- Choix de la méthode de débruitage
- Ajout et suppression de bruit
- Visualisation des images originales et résultantes
- Calcul des métriques de performance

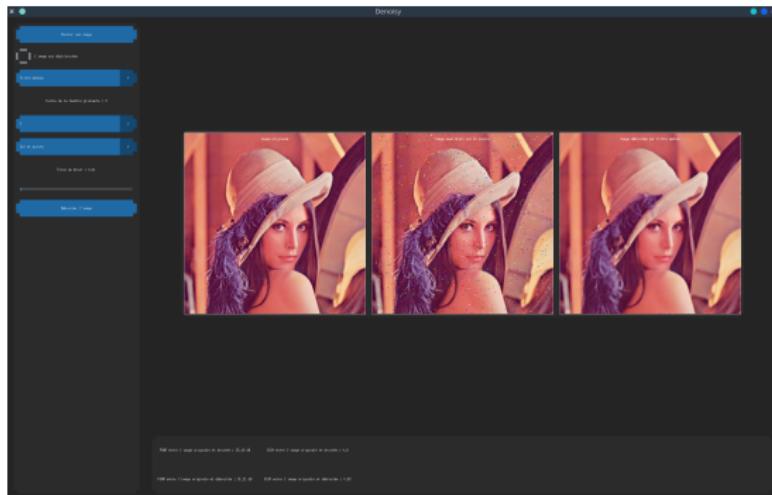


Figure – Interface graphique

Vue d'ensemble

1 Contexte et objectifs

- Contexte
- Objectifs

2 État de l'art

- État de l'art des techniques classiques de débruitage
- État de l'art des techniques de débruitage avec CNN

3 Approche proposée

- Types de bruit et méthodes étudiées
- Métriques utilisées

4 Détail des méthodes sélectionnées

- Filtrage passe-bas basé sur la transformée de Fourier
- BM3D
- NAFNet
- Notre CNN
- Débruitage vidéo

5 Démonstration et conclusion

- Interface graphique
- **Démonstration**
- Conclusion et perspectives

Démonstration

Veuillez apprécier cette démonstration de notre application

Vue d'ensemble

1 Contexte et objectifs

- Contexte
- Objectifs

2 État de l'art

- État de l'art des techniques classiques de débruitage
- État de l'art des techniques de débruitage avec CNN

3 Approche proposée

- Types de bruit et méthodes étudiées
- Métriques utilisées

4 Détail des méthodes sélectionnées

- Filtrage passe-bas basé sur la transformée de Fourier
- BM3D
- NAFNet
- Notre CNN
- Débruitage vidéo

5 Démonstration et conclusion

- Interface graphique
- Démonstration
- Conclusion et perspectives

Conclusion et perspectives

- **Conclusion :**

- Développement d'une application de débruitage d'images utilisant des méthodes traditionnelles et basées sur les CNN
- Certaines des techniques classiques offrent des résultats compétitifs pour divers types de bruit
- Les CNN permettent des améliorations notables dans la qualité des images débruitées

- **Perspectives :**

- Optimiser les performances des modèles CNN pour les rendre plus rapides et efficaces
- Étendre l'application au débruitage vidéo en temps réel
- Tester d'autres architectures CNN avancées pour améliorer les résultats sur des bruits complexes

Remerciements

Merci pour votre attention !

*Remerciements à M^{me} Puteaux et M. Puech pour
l'encadrement de ce projet*

Des questions ?

Références |

-  Anwar, Saeed et Nick Barnes (2019). "Real Image Denoising with Feature Attention". In : *IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV-Oral)*.
-  Anwar, Saeed, Cong P. Huynh et Fatih Porikli (2020). "Identity Enhanced Image Denoising". In : *IEEE Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW)*.
-  Buades, Antoni, Bartomeu Coll et Jean Michel Morel (2004). "On image denoising methods". In : *CMLA Preprint 5*, p. 19-26.
-  Chen, Liangyu et al. (2022). "Simple Baselines for Image Restoration". In : *arXiv preprint arXiv :2204.04676*.
-  Ghasemabadi, Amirhosein et al. (2024). "CascadedGaze : Efficiency in Global Context Extraction for Image Restoration". In : *Transactions on Machine Learning Research*. issn : 2835-8856. url : <https://openreview.net/forum?id=C3FXHxMVuq>.

Références II

-  Guo, Shi et al. (2019). "Toward convolutional blind denoising of real photographs". In : *2019 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*.
-  Kumar, BK Shreyamsha (2013). "Image denoising based on gaussian/bilateral filter and its method noise thresholding.". In : *Signal Image Video Process.* 7.6, p. 1159-1172.
-  Liang, Jingyun et al. (2021). "SwinIR : Image Restoration Using Swin Transformer". In : *arXiv preprint arXiv:2108.10257*.
-  Zhang, Kai, Wangmeng Zuo et Lei Zhang (2018). "FFDNet : Toward a Fast and Flexible Solution for CNN based Image Denoising". In : *IEEE Transactions on Image Processing*.
-  Zhang, Kai et al. (2017). "Beyond a Gaussian Denoiser : Residual Learning of Deep CNN for Image Denoising". In : *IEEE Transactions on Image Processing* 26.7, p. 3142-3155. doi : 10.1109/TIP.2017.2662206.