

ERRATUM

Pour toute documentation officiel, veuillez vous référer au document anglais inclu dans le procédé BlurXTerminator.

Ce document se veut le plus précis possible en version française. Si vous y voyez des coquilles, veuillez m'en aviser svp.

Merci et bonne lecture.

BlurXTerminator

Par Russell Croman, RC Astro, LC

Déconvolutionne les images astronomiques à l'aide de méthodes d'apprentissage automatique (*réseaux neuronaux, AI*). Documentation pour la version 2.0.0/AI4. [plus].

Catégories: Déconvolution

Mots-clés: déconvolution, accentuation, fonction d'étalement du point, PSF, apprentissage automatique, réseau neuronal, intelligence artificielle, IA, SNR, échantillonnage, crénelage, aberration, astigmatisme, coma, aberration chromatique, mise au point, courbure de champ, erreurs de guidage.

Contenu

1 [Description](#)

2 [Usage](#)

[2.1 Contrôles](#)

[2.1.1 Ajustements Stellaire](#)

[2.1.2 Ajustements Non Stellaire](#)

[2.1.3 Options](#)

[2.2 Entrées \(Inputs\)](#)

[2.2.1 Données linéaires](#)

[2.2.2 Étoiles](#)

[2.2.3 Couleur](#)

[2.2.4 Bruit](#)

[2.2.5 Flux de Travail](#)

[2.2.6 Images à Bandes Étroites](#)

[2.2.7 Échantillonnage](#)

[2.2.8 Mosaïque](#)

[2.2.9 Des données de meilleure qualité](#)

[2.2.10 Images de télescopes spatiaux](#)

3 [Discussion](#)

[3.1 Conservation du flux](#)

[3.2 Centre du PSF](#)

[3.3 Comment fonctionne BlurXTerminator](#)

[3.4 La déconvolution ? Vraiment ?](#)

[3.5 Perfection?](#)

[3.6 Éviter le traitement excessif](#)

[3.7 Précision de MacOS](#)

3.8 Historique des versions

3.8.1 Historique des versions du module de traitement

3.8.2 Historique des versions de l'IA

3.9 Support

3.10 Analyse technique de la résolution et de l'échantillonnage

3.10.1 Analyse de la résolution et de l'échantillonnage à l'aide de concepts de traitement du signal

3.11 Accélération GPU

1 Description

BlurXTerminator est un outil de déconvolution alimenté par l'IA et conçu spécifiquement pour les images astronomiques prises avec l'équipement couramment utilisé par les astrophotographes amateurs. Toutes les IA ne se valent pas. Il existe des outils d'amélioration de la netteté basés sur l'IA pour la photographie générale, mais ils ont tendance à "inventer" des détails qui n'existent pas en réalité. En outre, ils ne traitent généralement pas très bien les étoiles. Leurs réseaux neuronaux n'ont pas été entraînés sur des images astronomiques, de sorte qu'ils font souvent de mauvaises "suppositions" quant à l'aspect de la scène originale non floutée.

L'objectif de BlurXTerminator est de récupérer autant de détails que possible sur la base des informations à faible contraste réellement présentes dans une image, sans fabriquer des détails qui n'existent pas en réalité, dans le seul but d'obtenir une image plus nette. Un soin particulier a été apporté à l'architecture et à l'entraînement du réseau neuronal afin de garantir que ses résultats soient aussi fidèles que possible à la réalité s'il est correctement utilisé.

Les algorithmes de déconvolution classiques développés par Richardson, Lucy, van Cittert, etc., nécessitent deux entrées : l'image à traiter et la fonction d'étalement du point (PSF) par laquelle l'image a été brouillée (c'est-à-dire floutée). Cette fonction d'étalement du point doit être soit supposée à partir de principes de base, soit extraite de l'image d'entrée avant d'effectuer la déconvolution. Elle doit être précise et ces algorithmes supposent qu'elle est stationnaire, c'est-à-dire que le même PSF s'applique à l'ensemble de l'image. Il s'agit là d'une limitation majeure : ces méthodes de déconvolution échoueront dès que le PSF réelle de l'image s'écartera de celle fournie à l'algorithme.

BlurXTerminator peut corriger les aberrations suivantes dans des proportions limitées :

- coma et astigmatisme de premier et de second ordre
- Tréflé (fréquent avec les optiques pincées et dans les coins de l'image avec certains objectifs d'appareil photo)
- Défocus (mauvaise mise au point et/ou courbure du champ)
- Aberration chromatique longitudinale et latérale
- Flou de bougé (erreurs de guidage)
- Variation de la vision/diffusion par canal de couleur
- Artéfacts de suréchantillonnage *Drizzle* (2x uniquement)

BlurXTerminator peut appliquer différentes quantités de déconvolution aux caractéristiques stellaires et non stellaires d'une image. En essayant de récupérer tous les détails disponibles dans les objets non stellaires et étendus à l'aide des algorithmes de déconvolution classiques, on obtient généralement des halos sombres (*cernes*, *beignets*) autour des étoiles. Avec BlurXTerminator, il est possible d'appliquer davantage de netteté aux parties non stellaires d'une image, ce qui permet de faire ressortir plus de détails sans produire d'artefacts de beignet dans la plupart des cas.

Toutes les déconvolutions, y compris les algorithmes classiques, impliquent fondamentalement des conjectures. Mathématiquement, on dit que la déconvolution est un problème mal posé : pour une image d'entrée floue donnée, il existe de nombreuses images plus nettes possibles qui, si elles étaient à nouveau floutées, donneraient la même image d'entrée. Laquelle est la bonne, ou du moins une meilleure estimation? Aucun outil de déconvolution ne peut être parfait : l'objectif est plutôt de produire un résultat qui a de fortes chances d'être correct.

Un réseau neuronal peut être considéré comme un "approximateur de fonction universel". Avec une architecture appropriée, une capacité d'apprentissage suffisante (*suffisamment de paramètres entraînables*) et des données et méthodes d'entraînement adéquates, un réseau neuronal peut estimer avec une précision arbitraire n'importe quelle fonction mathématique. La déconvolution n'est qu'une fonction mathématique, même si elle est très difficile. Le travail du concepteur de réseau neuronal consiste à développer une architecture de réseau capable d'effectuer les types d'opérations nécessaires à l'accomplissement de la tâche, à s'assurer que la capacité d'apprentissage est suffisante et, en particulier, à veiller à ce que les données et les méthodes d'apprentissage forcent le réseau à apprendre la fonction souhaitée sans apprendre de fonctions indésirables.

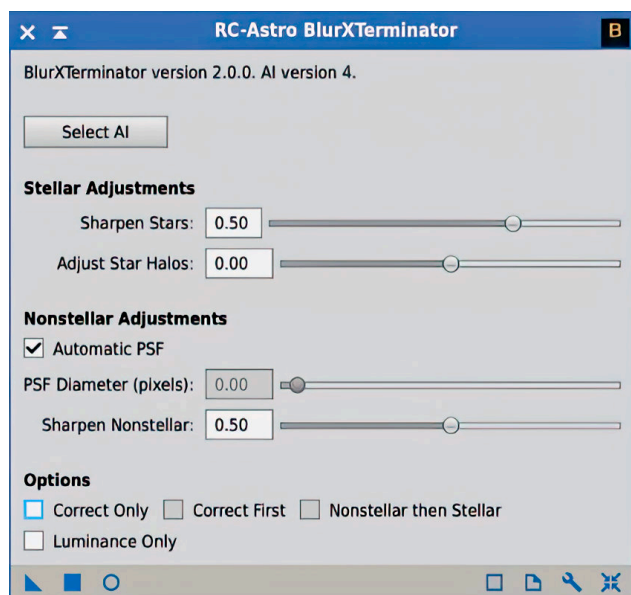
Le comportement dit "*génératif*", dans lequel un réseau apprend à inventer ou de "*voir*" des détails, est l'une des fonctions indésirables d'un outil de déconvolution. Il n'y a guère de différence entre les architectures des réseaux génératifs et "*discriminatifs*" qui n'inventent pas d'informations. La différence réside dans la manière dont ils sont entraînés.

La méthode d'apprentissage employée pour l'IA de BlurXTerminator est conceptuellement simple. La "*vérité de base*", la cible que le réseau apprend à estimer à partir de ses données d'entrée, est simplement un grand ensemble d'images très nettes représentatives des caractéristiques que l'on trouve couramment dans les scènes astronomiques. Pour obtenir les données d'entraînement, ces images sont floutées avec diverses fonctions d'étalement du point (*PSF*) représentatives de celles produites par l'optique et l'atmosphère. Ces fonctions sont bien connues et largement décrites dans la littérature. Le réseau apprend à produire sa sortie en minimisant une "*fonction de perte*", un nombre qui évalue ses performances. L'apprentissage se poursuit jusqu'à ce que la fonction de perte ait une valeur suffisamment faible.

Le choix de la fonction de perte est un facteur critique qui détermine si un réseau deviendra génératif. Les fonctions de perte dites "*perceptuelles*" aboutiraient à un réseau qui donnerait la priorité à la production d'un résultat qui "*semble net*" plutôt qu'à la récupération de l'image nette réelle. Étant donné que l'objectif de BlurXTerminator est ce dernier, ce type de fonction de perte n'est pas utilisé. Au lieu de cela, une simple perte de reconstruction d'image est employée, évaluant les performances du réseau uniquement en fonction de sa capacité à produire des valeurs de pixels de sortie correctes à partir de son entrée.

2 Usage

2.1 Contrôles



2.1.1 Ajustements stellaires (Stellar Adjustments)

Affûter les étoiles (Sharpen Stars)

Quantité permettant de réduire le diamètre (*au sens FWHM*) des étoiles. Des valeurs élevées permettent d'obtenir des étoiles plus petites et plus nettes.

Les valeurs élevées de ce paramètre peuvent ne pas convenir à toutes les images acquises par tous les instruments. Choisissez un paramètre qui permet une réduction raisonnable du diamètre des étoiles sans créer d'artefacts. Si des halos sombres apparaissent autour des étoiles, choisissez une valeur plus faible ou compensez en augmentant le paramètre Ajuster les halos d'étoiles (**Adjust Star Halos**) décrit ci-dessous.

Pour les images acquises à l'aide d'instruments à longue focale, des valeurs élevées de ce paramètre peuvent laisser des zones sans caractéristiques visibles autour des étoiles les plus brillantes : l'image ne contient que peu ou pas d'informations permettant de remplir ces pixels avec des détails, en raison de l'écrêtage des centres des profils d'étoiles.

Ajuster les halos des étoiles (Adjust Star Halos)

Quantité permettant d'ajuster les " *halos* " des étoiles. Des valeurs élevées donnent des halos plus lumineux et plus étendus, ce qui confère aux étoiles un aspect plus doux. Des valeurs plus faibles réduisent la luminosité et l'étendue du halo, ce qui donne aux étoiles un aspect plus net et plus dur.

Des valeurs faibles pour ce paramètre peuvent laisser des halos sombres autour des étoiles. Choisissez un paramètre qui permet un ajustement raisonnable des halos sans artefacts.

Étant donné que les couleurs des étoiles dont le cœur est saturé (*écrêté*) ne sont visibles que dans leur halo, le fait d'augmenter leur halo tout en réduisant leur diamètre peut aider à conserver ou à accentuer la couleur de l'étoile.

2.1.2 Ajustements non stellaires (Nonstellar Adjustments)

Automatique PSF (Automatic PSF)

Détermine automatiquement à partir de l'image le PSF pour l'accentuation non stellaire.

Les étoiles doivent être présentes dans toutes les parties de l'image pour que cela soit exact. En l'absence d'étoiles, BlurXTerminator tentera de déterminer de manière adaptative le PSF à partir de caractéristiques non stellaires de l'image. Cette méthode peut encore fonctionner correctement sur de nombreuses images d'un point de vue qualitatif, mais les éléments lisses qui ont un aspect naturellement flou peuvent être trop accentués.

Si l'option PSF automatique est sélectionnée, toute correction d'aberration (*coma*, *astigmatisme*, *etc.*) appliquée aux étoiles sera également appliquée aux éléments non stellaires. Ce n'est pas le cas en mode manuel : le PSF sera supposée être rond.

Certaines images, en particulier celles prises à de longues distances focales, peuvent comporter des zones avec peu ou pas d'étoiles. BlurXTerminator peut accentuer les caractéristiques non stellaires dans ces zones si l'option PSF automatique est sélectionnée. Les images sont traitées par " *tuiles* " de 512 x 512 pixels, avec un chevauchement entre les tuiles pour éviter les artefacts. Les panneaux sont traités indépendamment les uns des autres pour tenir compte des PSF non stationnaires. Si un panneau particulier ne contient pas suffisamment d'étoiles, BlurXTerminator tentera de déduire la PSF des caractéristiques non stellaires, ce qui entraînera une accentuation non uniforme.

Une meilleure précision de déconvolution peut être obtenue dans ces cas en utilisant le mode manuel **PSF Diameter** décrit ci-dessous. Désactivez la fonction PSF automatique et réglez le diamètre du PSF sur le FWHM connu des étoiles de l'image comme point de départ raisonnable. Lors de la déconvolution d'une image présentant des aberrations telles que la coma ou des erreurs de guidage, une bonne approche consiste à utiliser d'abord l'option *Corriger seulement* (**Correct Only**) pour corriger les caractéristiques stellaires et non stellaires, puis à appliquer une seconde fois BlurXTerminator avec un diamètre PSF manuel.

Diamètre PSF (PSF Diameter)

Le diamètre du PSF (*FWHM*) à utiliser lors de la déconvolution d'éléments nontellaires.

Pour une précision optimale, cette valeur doit correspondre au FWHM des étoiles de l'image ou, pour les images lunaires et planétaires, au FWHM des étoiles qui seraient produites par le même système optique et la même caméra, en utilisant le même flux de travail de prétraitement.

Les images dont les valeurs FWHM sont supérieures à 8 pixels, la valeur maximale pour ce paramètre, sont suréchantillonnées par plus d'un facteur de 2 et peuvent en toute sécurité être sous-échantillonnées par un facteur de 2. Pour plus d'informations, voir la section [Échantillonnage](#) ci-dessous.

Affûtage Non stellaire (Sharpen Nonstellar)

Le quantité pour affiner les caractéristiques des images non stellaires.

BlurXTerminator tentera de réduire la taille du PSF des éléments de l'image non stellaire jusqu'au diamètre spécifié. En d'autres termes, un réglage de 1,00 signifie que l'on tente de réduire le PSF non stellaire à une taille nulle - une PSF ponctuelle idéale et le maximum d'accentuation possible. La quantité réelle d'accentuation obtenue sera limitée par les détails à faible contraste récupérables présents dans l'image à des fines échelles de pixels.

2.1.3 Options

Corriger uniquement (Correct Only)

BlurXTerminator peut corriger des quantités limitées de nombreux types d'aberrations PSF. La correction est toujours effectuée, mais de meilleurs résultats peuvent parfois être obtenus en effectuant la correction en tant qu'étape séparée, avant toute autre amélioration de la netteté.

Il s'agit d'une option de commodité qui équivaut à sélectionner PSF automatique et à mettre tous les autres paramètres à zéro. La correction sera appliquée aux éléments non stellaires ainsi qu'aux étoiles tant que les étoiles sont présentes dans toutes les parties de l'image.

Techniquement parlant, BlurXTerminator tente de rendre la fonction d'étalement du point (**PSF**) trouvée dans l'image azimutalement symétrique (*ronde*). La fonction d'étalement du point ne doit pas nécessairement être stationnaire - les aberrations peuvent varier dans l'image. BlurXTerminator tente de corriger le PSF locale dans chaque partie de l'image.

Dans certains cas, en particulier sur les images qui ont été 2x suréchantillonnées avec *drizzle* avec un nombre insuffisant d'expositions, l'option *Corriger seulement* produira un certain renforcement de la netteté. Cela est dû au fait que le suréchantillonnage avec *drizzle* a introduit sa propre fonction d'étalement du point et que BlurXTerminator tente de la corriger. Vous remarquerez également que les artefacts de type " *2x Drizzle* " (paires de pixels caractéristiques) seront également réduits ou éliminés par l'opération "**Correct Only**".

Corriger d'abord (Correct First)

Il s'agit d'une option pratique qui traite l'image deux fois : une fois comme avec l'option *Corriger seulement* ci-dessus, et ensuite avec d'autres ajustements activés. Cette option est plus rapide que l'exécution séparée de chaque étape, car les traitements généraux (**overhead**) sont partagés entre les deux opérations.

Cette option n'est pas disponible, et est rarement nécessaire, lorsque l'on utilise **A14** et sera supprimée dans les versions futures. Si vous le souhaitez, vous pouvez toujours le faire manuellement en appliquant BlurXTerminator deux fois : une première fois en mode Correction seule, puis une seconde fois avec les paramètres d'accentuation de la netteté souhaités.

Non Stellaire puis Stellaire (Nonstellar then Stellar)

Effectue d'abord un affûtage non stellaire, puis un affûtage stellaire.

Cela peut être utile pour certaines images, par exemple les galaxies avec des étoiles faibles, à peine résolues, noyées dans d'autres structures telles que les régions HII. L'accentuation stellaire peut ne pas reconnaître ces étoiles dans un premier temps, mais si l'accentuation non stellaire est effectuée avant l'accentuation stellaire, ces étoiles sont résolues dans la première étape, puis accentuées dans la deuxième étape.

Cette option est désactivée et n'est que rarement nécessaire lorsque l'on utilise **AI4** ; elle sera supprimée dans une prochaine version.

La luminosité uniquement (Luminance Only)

Applique la déconvolution uniquement à la luminosité de l'image, en ignorant les informations relatives à la couleur. Notez qu'aucune correction "*transversale*" (*par exemple, l'aberration chromatique*) ne peut être effectuée lorsque ce paramètre est activé.

Cette option est principalement destinée à forcer la conservation absolue de la couleur au cas où le traitement normal produirait un changement de couleur incorrect dans l'image. Si ce n'est pas le cas, il convient de ne pas la sélectionner.

Cette option permet d'abord d'extraire les informations de luminance de la même manière que le processus **ChannelExtraction** en mode **HSI**. La déconvolution est ensuite effectuée sur ces informations de luminance. Cette opération est suivie d'une recombinaison **HSI** des informations de luminance traitées avec les données de teinte et de saturation d'origine. La méthode **HSI** a été choisie parce qu'elle présente de meilleures propriétés de rétention des couleurs dans les zones très lumineuses que tous les autres modes. On pourrait soutenir que l'un des modes colorimétriques **CIE** serait théoriquement plus correct, mais dans la pratique, cela ne s'est pas avéré vrai dans les zones d'image très lumineuses.

Ce paramètre n'a aucun effet sur le traitement des images monochromes. Avec la version **AI4**, il est rarement nécessaire. Il sera supprimé dans une prochaine version.

2.2 Entrées (Inputs)

2.2.1 Données linéaires (Linear data)

Lorsqu'on utilise un nouvel outil pour la première fois, il est tentant de l'essayer sur des images déjà traitées. BlurXTerminator, comme les méthodes classiques de déconvolution, nécessite des données d'entrée linéaires, idéalement juste après l'intégration, la combinaison des canaux, et peut-être l'étalonnage des couleurs et la suppression du dégradé, mais avant tout autre traitement. Il s'agit d'une règle stricte dans le cadre de l'utilisation d'**AI4**. Les versions antérieures d'AI permettaient un simple étirement du MTF avant la déconvolution.

Il n'est pas recommandé de procéder à une réduction du bruit avant d'utiliser BlurXTerminator (*ou tout autre outil de déconvolution*). Le réseau neuronal de BlurXTerminator a été entraîné à récupérer les détails en présence de bruit. La plupart des techniques de réduction du bruit altèrent ou détruisent les informations à faible contraste à l'échelle des pixels, nécessaires à cette fin.

L'application d'algorithmes de déconvolution classiques avant ou après l'application de BlurXTerminator n'est pas non plus recommandée. L'image obtenue peut sembler plus nette, mais il est plus probable que ce détail supplémentaire apparent ne soit pas représentatif de la réalité.

Les données d'image doivent être au format 32 ou 64 bits à virgule flottante pour une meilleure précision.

2.2.2 Étoiles

BlurXTerminator utilise les étoiles d'une image comme référence pour comprendre comment elle a été floutée, et comment cela varie à travers le champ de vision. Si vous envisagez de supprimer les étoiles de l'image, il est préférable de le faire après avoir appliqué BlurXTerminator.

Si les étoiles sont supprimées avant l'application de BlurXTerminator, il est recommandé de désélectionner l'option *PSF automatique* et de régler manuellement le diamètre PSF pour l'accentuation non stellaire à la valeur FWHM des étoiles avant leur suppression. Si le mode automatique est sélectionné, BlurXTerminator essaiera de manière adaptative de déterminer le PSF locale à partir des caractéristiques non stellaires de l'image. Bien que cette méthode puisse produire un résultat qualitativement satisfaisant, elle entraîne généralement un accentuation excessive des caractéristiques lisses qui, en réalité, manquent de détails.

Si certaines parties de l'image ne comportent que peu ou pas d'étoiles, le même phénomène peut se produire : un accentuation excessive des éléments lisses. Dans ce cas, utilisez le paramètre manuel **PSF Diameter** et réglez-le sur la valeur FWHM des étoiles de l'image comme point de départ. Cela permet de s'assurer que l'image entière est rendue plus nette de manière uniforme.

Pour les images sans étoiles, telles que les images lunaires et planétaires, le mode manuel **PSF Diameter** est recommandé pour une meilleure précision. Réglez-le sur la valeur FWHM des étoiles que le même système d'imagerie et le même pipeline de prétraitement produiraient.

2.2.3 Couleur

L'IA de BlurXTerminator a été entraînée pour corriger les images couleur avec tous les canaux présents simultanément : elle recherche les relations entre les canaux de couleur pour déterminer les corrections nécessaires et maintenir l'enregistrement des canaux. Dans la plupart des cas, les meilleurs résultats seront donc obtenus en traitant les images **RVB** plutôt que les canaux individuels.

Il existe des exceptions. Si les aberrations optiques ne sont pas cohérentes d'un canal à l'autre, par exemple si la composition de l'image a été tournée de 180° pour un canal, ou si la collimation, l'inclinaison du plan focal, etc. est significativement différente d'un canal à l'autre, BlurXTerminator peut ne pas être en mesure de corriger correctement les aberrations. Sa formation suppose que les aberrations optiques sont cohérentes d'un canal à l'autre.

Notez que cela ne signifie pas que les aberrations doivent être les mêmes pour tous les canaux. Les réfracteurs, par exemple, produisent généralement différentes quantités d'aberrations à différentes longueurs d'onde, et BlurXTerminator peut corriger cela. Cela signifie simplement que les aberrations doivent être cohérentes, c'est-à-dire acquises en utilisant la même configuration d'instrument. Si ce n'est pas le cas, appliquez BlurXTerminator en mode **Correct Only** sur chaque canal monochrome, puis combinez en une image couleur, et enfin appliquez BlurXTerminator à nouveau avec les paramètres d'accentuation souhaités.

BlurXTerminator a également été entraînée pour corriger la variation par canal des paramètres de vision et de diffusion. Cela peut entraîner un décalage apparent des couleurs sur les images prises avec certains instruments. Il est courant, par exemple, que le canal bleu ait une diffusion plus élevée - des " *halos* " plus brillants - avec de nombreux instruments. BlurXTerminator reconnaîtra et corrigera ce phénomène ainsi que toute variation de FWHM entre les canaux de couleur due aux variations de vision.

Pour obtenir les meilleurs résultats en matière d'équilibre des couleurs, il est recommandé d'appliquer BlurXTerminator en mode **Correct Only** avant de procéder à un étalonnage précis des couleurs (*par exemple, SPCC*). Après l'étalonnage des couleurs, appliquez à nouveau BlurXTerminator avec les paramètres d'accentuation souhaités. Les tests effectués avec ce flux de travail pendant le développement d'AI4 ont généralement permis d'obtenir des résultats plus cohérents avec **SPCC** (*c'est-à-dire une dispersion identique ou meilleure dans les ajustements R/V et B/V*).

2.2.4 Bruit

Il est possible de récupérer plus de détails sur les images dont le rapport signal/bruit **SNR** est plus élevé. Prenez et intégrez plus d'expositions pour augmenter le **RSB** (*SNR*).

Une limite fondamentale pour toute technique de récupération d'informations telle que la déconvolution est la quantité de signal présente par rapport à la quantité de bruit, le rapport signal-bruit (*RSB*). Ni BlurXTerminator ni aucun autre outil ou technique de traitement ne peut surmonter cette limite, qui est un principe de base de la théorie de l'information. Dans une pratique limitée en photons telle que l'astrophotographie, la seule façon d'augmenter le *RSB*, toutes choses étant égales par ailleurs, est de capturer plus de lumière, c'est-à-dire de prendre et d'intégrer plus d'expositions. Cela suppose que le bruit des expositions individuelles est effectivement limité par le bruit de prise de vue, le bruit inhérent à la mesure d'un signal sous la forme d'événements discrets (*dans ce cas, l'arrivée de photons individuels*).

2.2.5 Flux de Travail (Workflow)

De nombreux utilisateurs ont demandé quel était le meilleur flux de travail : quand utiliser BlurXTerminator par rapport à d'autres outils ?

Aucun livre de recettes ne sera fourni. Cela reviendrait à supplanter une activité vitale que chaque astrophotographe devrait effectuer: réfléchir à ce qui arrive aux données de l'image à chaque étape du processus, et développer une compréhension non seulement de ce qui fonctionne et de ce qui ne fonctionne pas, mais aussi des raisons de cette réussite.

Voici quelques-unes des principales considérations qui s'appliquent à l'élaboration d'un bon flux de travail impliquant l'équilibrage des couleurs, la réduction du bruit et la déconvolution. Notez que toutes ces considérations s'appliquent à toute forme de déconvolution, et pas seulement à BlurXTerminator.

Le processus **SPCC** de **PixInsight** a été développé à partir d'images brutes intégrées. Tout processus qui modifie ces hypothèses peut conduire à des résultats imprévisibles ou inexacts. C'est pourquoi il devrait probablement être effectué avant tout renforcement de la netteté ou réduction du bruit. L'exécution de **SPCC** après une application **Correct Only** de BlurXTerminator peut toutefois améliorer la précision de l'équilibre des couleurs. Voir la section Couleur ci-dessus. (section 2.2.3)

BlurXTerminator appliqué sur des images monochromes individuelles ne bénéficiera pas de la possibilité de voir tous les canaux simultanément. Il ne sera donc pas en mesure d'effectuer des corrections " *croisées* ", telles que l'aberration chromatique ou la différence de FWHM dans chaque canal. C'est cette connaissance qui doit guider le choix de l'application de BXT.

La réduction du bruit, quelle qu'elle soit, altère ou détruit les informations nécessaires à la déconvolution. Elle produit également un rapport signal/bruit faussement élevé qui se traduira généralement par un accentuation excessive de la netteté. Tout algorithme de déconvolution appliqué à une image réduite en bruit ne peut pas vraiment être appelé déconvolution. Il s'agit d'un renforcement de la netteté, mais pas d'une déconvolution.

2.2.6 Images à Bandes Étroites

Lors du traitement d'images à bande étroite, si un mélange de canaux est prévu (*par exemple, le mélange de H α avec SII pour le canal rouge*), effectuer cette opération après avoir effectué la déconvolution de l'image sous forme de canaux distincts : un filtre par canal de couleur. Par exemple, effectuez d'abord une combinaison de couleurs SHO simple, en gardant les poids des canaux relativement égaux pour cette étape. Effectuez un équilibrage des couleurs à bande étroite et/ou un mélange des canaux après l'application de BlurXTerminator. Le mélange des données des canaux avant la déconvolution ou l'application d'un renforcement très fort à un ou plusieurs canaux (*par exemple, SII peut modifier le PSF suffisamment pour donner des résultats incohérents, en particulier sur les étoiles brillantes*).

2.2.7 Échantillonnage

La valeur maximale du paramètre **PSF Diameter** est de 8 pixels. Il s'agit du diamètre maximal du PSF (*au sens de FWHM*) que BlurXTerminator a été conçu pour faire une déconvolution. Qu'en est-il des images comportant des étoiles plus grandes, et donc des quantités de flou plus importantes?

Il est mathématiquement simple de démontrer que les images dont les valeurs PSF FWHM sont supérieures à 8 pixels sont suréchantillonnées d'au moins un facteur de 2 : elles ne contiennent pas d'informations significatives à des échelles inférieures à 2 pixels. Ces images peuvent donc être sous-échantillonnées en toute sécurité (*en utilisant le processus **IntegerResample**, par exemple*) d'un facteur 2 sans perte d'information détectable. Le rapport signal/bruit sera plus élevé en raison de l'étalement du bruit sur plusieurs pixels, le traitement ultérieur sera environ 4 fois plus rapide et l'espace disque consommé sera 4 fois moins important.

Pour ceux qui souhaitent une explication plus détaillée, voir l'[analyse](#) ci-dessous.

2.2.8 Mosaïque

Lors de l'assemblage de mosaïques, il est courant que les aberrations optiques ne soient pas les mêmes d'un cadre à l'autre, dans les coins et le long des bords. Le coin supérieur droit d'une image est le coin supérieur gauche de l'image suivante, de sorte que les aberrations seront généralement différentes. Une bonne approche consiste à appliquer BlurXTerminator en mode **Correct Only** sur chaque image de la mosaïque avant l'assemblage, puis à nouveau sur la mosaïque assemblée avec les paramètres d'accentuation souhaités.

BlurXTerminator a été entraîné pour maintenir le centre optique des PSF pendant la correction. Les algorithmes de solution astrométrique (*Plate Solving*), en revanche, n'accepte pas des aberrations dans le PSF. Cela peut entraîner de petites erreurs dans la solution astrométrique, en particulier lorsqu'il s'agit de calculer la distorsion. Pour une précision optimale lors de l'assemblage de la mosaïque, il peut être judicieux de résoudre à nouveau les images individuelles après avoir corrigé les aberrations à l'aide du mode *Correct Only* de BlurXTerminator.

En rassemblant tous ces éléments dans un flux de travail, à partir de cadres de mosaïque individuels, on peut obtenir le résultat suivant :

- Combinaison des canaux pour chaque image de la mosaïque
- Supprimez les dégradés de chaque cadre en utilisant la méthode de votre choix.
- Appliquer BlurXTerminator en mode **Correct Only** à chaque image couleur de la mosaïque.
- Exécuter **ImageSolver** sur chaque image corrigée pour extraire les coordonnées exactes et les paramètres de distorsion.
- Assembler la mosaïque complète à l'aide d'une méthode photométriquement précise
- Exécuter **ImageSolver** sur la mosaïque complète

- Effectuer un étalonnage précis des couleurs (*par exemple, SPCC*) sur l'ensemble de la mosaïque.
- Appliquer BlurXTerminator à l'ensemble de la mosaïque avec les paramètres d'accentuation souhaités.

2.2.9 Des données de meilleure qualité

De meilleures données = de meilleures images, toujours. Bien que BlurXTerminator puisse corriger des défauts d'acquisition limités (*erreurs de guidage, inclinaison du plan focal, etc.*), il sera toujours vrai que de meilleures données d'entrée produiront de meilleures images de sortie. Nous passons des heures et des heures à collecter nos précieux photons. Passez quelques heures de plus à vous assurer que les problèmes optiques et mécaniques n'entravent pas l'obtention d'un résultat de qualité.

2.2.10 Images de télescopes spatiaux

BlurXTerminator n'a pas été entraîné sur des profils stellaires provenant d'instruments tels que les télescopes spatiaux **Hubble** et **James Webb**. Il est donc très probable qu'il ne reconnaisse pas en tant que telles de nombreuses étoiles dans ces images - en particulier les étoiles brillantes dans les données du **JWST** - en raison de leurs modèles de diffraction uniques. Les étoiles peu lumineuses seront probablement reconnues et pourront être ajustées avec les paramètres stellaires. L'accentuation de la netteté pour les étoiles non stellaires peut être effectuée, mais cela doit être fait avec un diamètre manuel du PSF non stellaire.

3 Discussion

3.1 Conservation du flux

BlurXTerminator est entraîné à conserver le flux, c'est-à-dire la quantité totale de lumière associée à un élément tel qu'une étoile. Lorsqu'une étoile floue est rendue moins floue, la lumière d'un certain nombre de pixels est concentrée dans un plus petit nombre de pixels. Ces pixels doivent devenir plus lumineux pour que la quantité totale de flux reste la même.

Si un élément lumineux de l'image originale est déjà proche de la valeur maximale du pixel (1,0), cette concentration de flux peut entraîner la saturation de cet élément. Ce phénomène est d'autant plus probable que l'accentuation de la netteté est importante. L'écrêtage représente une perte d'informations. Pour éviter cela, ajoutez un peu de "marge" à l'image en utilisant la fonction " *plage élevée* " (**High Range**) de l'outil **HistogramTransformation**.

3.2 Centre du PSF

BlurXTerminator est entraîné à maintenir le centre du PSF. Dans les images présentant des aberrations asymétriques telles que la coma, cela peut entraîner un décalage de l'emplacement des étoiles et d'autres éléments. BlurXTerminator tente de placer le flux associé à un élément à la position correcte si l'image avait été prise avec des optiques non aberrantes. Dans certains cas, il peut être nécessaire de réoptimiser la solution astrométrique (*Plate solving*) après la déconvolution.

3.3 Comment fonctionne BlurXTerminator ?

Toutes les images astronomiques brutes sont le résultat de deux éléments : la scène réelle qui a été photographiée et une fonction d'étalement du point (**PSF**) par laquelle cette scène a été floutée (*brouillée*).

Chaque étoile d'une astrophoto prise avec un équipement amateur (et la plupart des équipements professionnels) se rapproche d'une source ponctuelle idéale : une tache de lumière de largeur nulle, mais avec une certaine luminosité et une certaine couleur. Si nous avions des systèmes d'imagerie parfaits - des optiques extrêmement grandes, des pixels extrêmement petits, sans effets de vision atmosphérique, erreurs de guidage, distorsions optiques, etc. - toutes les étoiles de nos images apparaîtraient comme des points infiniment petits de luminosité et de couleur variables. Au lieu de cela, nous obtenons des étoiles dont le profil présente une largeur non nulle et une forme particulière. Le profil idéal de l'étoile ponctuelle a été modifié - brouillé - par la somme totale du processus d'acquisition. Ce processus s'applique à chaque point lumineux de l'image, et pas seulement aux étoiles.

Imaginez que vous preniez un seul point de lumière dans la scène réelle, par exemple la lumière d'une seule étoile, et que vous l'étendiez sur plusieurs pixels environnants de la caméra, peut-être à une grande distance de l'endroit où se trouve le point. La lumière qui aurait dû idéalement atterrir sur un seul des pixels de la caméra pourrait en partie atterrir sur des pixels situés à des dizaines, des centaines, voire des milliers de pixels plus loin.

Répétez ce processus pour chaque point lumineux de la scène réelle de manière très cohérente et systématique, en utilisant la même méthode de diffusion de la lumière. Si nous recombinaons ensuite les résultats de ce processus pour chaque point de la scène en une image composite, nous obtenons ce que nous capturons dans une astrophotographie : une version floue de la réalité. Techniquement, la manière exacte dont la lumière de chaque point a été étalée s'appelle la fonction d'étalement du point, ou PSF. L'application de cette opération à chaque point lumineux d'une image est appelée convolution. L'inversion de ce processus est appelée déconvolution.

Les principales sources de cette fonction, le PSF, sont la taille limitée de nos optiques et la nature turbulente de notre atmosphère. La nature ondulatoire de la lumière, combinée à des optiques de taille limitée, donne lieu à une figure de diffraction, première source de flou. En ce qui concerne la résolution angulaire sur le ciel, les optiques de plus petit diamètre produisent des figures de diffraction plus grandes, c'est-à-dire plus de flou.

Les télescopes terrestres ne peuvent capter la lumière qu'après qu'elle ait traversé notre atmosphère. Les turbulences combinées aux différences de température dans les différentes parcelles d'air traversées par la lumière sont à l'origine de la deuxième source de flou : le scintillement (*seeing*).

La vie d'un astrophotographe serait plus simple si elle s'arrêtait là, mais il existe de nombreuses autres sources de flou. Les erreurs de guidage font pénétrer la lumière dans les pixels voisins, généralement dans la direction de l'axe d'ascension droite, ce qui donne des étoiles ovales. L'optique des télescopes modernes est assez bonne, mais il peut y avoir des distorsions optiques telles que l'aberration chromatique, l'astigmatisme, la courbure de champ, la coma, etc.

Les pointes de diffraction autour des étoiles brillantes, créées par l'interaction de la lumière avec les structures de support des miroirs secondaires dans les télescopes qui en sont équipés, font partie du PSF qui peut s'étendre très loin de son centre. Les "halos" de lumière entourant les étoiles devraient idéalement être parfaitement lisses et symétriques, mais de petites variations dans l'optique peuvent donner lieu à des "rayons" dans ces halos. L'obstruction inégale du trajet de la lumière par des structures telles que des déflecteurs et des ouvertures de diaphragme peut donner lieu à une asymétrie dans les halos.

Chacun de ces mécanismes contribue au PSF totale du système. Chacun d'entre eux est un moyen supplémentaire de rendre l'image floue. Et ce n'est pas tout : nombre de ces mécanismes sont techniquement qualifiés de non stationnaires, c'est-à-dire qu'ils varient dans le champ de vision. Les étoiles situées dans les coins d'une image, par exemple, sont rarement aussi nettes que celles situées au centre.

BlurXTerminator a pour objectif d'inverser cette action de brouillage en utilisant un processus appelé déconvolution. Bien qu'il adopte une approche complètement différente, il a le même objectif que les algorithmes de déconvolution classiques tels que ceux conçus par Richardson, Lucy, van Cittert et d'autres.

La plupart des implémentations de ces algorithmes souffrent des limitations suivantes:

- Elles supposent que le PSF est stationnaire (*constante*) dans le champ de vision.
- Elles nécessitent de connaître le PSF avant d'effectuer la déconvolution.
- Elles nécessitent de nombreuses itérations pour produire un résultat
- Elles supposent que les données d'entrée sont entièrement linéaires
- Elles supposent un PSF d'étendue limitée.

BlurXTerminator, en revanche:

- Ne suppose pas que le PSF est stationnaire : il peut traiter un PSF qui varie à travers le champ.
- Ne nécessite aucune connaissance a priori du PSF : il détermine le PSF à la volée à partir des étoiles d'une image.
- produit un résultat final en une seule fois dans la plupart des cas
- Peut comprendre la non-linéarité de la saturation du détecteur (*écrêtage*)
- Ne suppose pas un PSF d'étendue limitée

Les deux derniers points sont très importants pour le traitement des étoiles brillantes. Les étoiles faibles n'affectent de manière significative qu'un petit nombre de pixels autour de leur centre. Les étoiles brillantes commencent à montrer les "ailes" étendues du PSF, ce qui se traduit par des halos visibles plus grands (*parfois beaucoup plus grands*) car la lumière de ces ailes devient plus brillante que celle de l'arrière-plan. Les étoiles très brillantes saturent le capteur de la caméra : le PSF est "écrêté" dans sa partie supérieure. Ces étoiles semblent avoir des diamètres plus grands et des halos plus étendus, alors qu'en réalité leurs profils proviennent exactement du même PSF que les étoiles moins lumineuses.

BlurXTerminator a été formé pour faire face à cette situation. Il "*comprend*" que la valeur de crête réelle d'une étoile brillante et saturée se trouve "*en dehors*" de l'image en raison de l'écrêtage. Il réduira le diamètre de cette étoile et ajustera la luminosité et l'étendue de son halo, comme si l'écrêtage n'avait pas eu lieu. Il traite une image à plusieurs échelles simultanément, ce qui lui permet de traiter les fonctions d'étalement du point qui s'étendent très loin de leurs centroïdes.

Il est utile de considérer que l'action que BlurXTerminator effectue sur une image consiste à traduire son PSF existant en un PSF différent (*plus petit*). Le PSF bien connue de Moffat, par exemple, a deux paramètres, Σ (*sigma*) et $\beta\epsilon\tau\alpha$. Le paramètre Σ contrôle la taille globale du PSF, qui est liée à son diamètre FWHM. Le paramètre $\beta\epsilon\tau\alpha$ contrôle les "ailes" du PSF - les extrémités peu lumineuses qui donnent aux étoiles leur "*halo*". BlurXTerminator propose des commandes distinctes pour modifier à la fois le diamètre et les halos du PSF stellaire, ce qui permet d'ajuster les paramètres Σ et $\beta\epsilon\tau\alpha$ du PSF de manière indépendante. Le réseau neuronal de BlurXTerminator analyse la PSF existant dans l'image et la traduit en un PSF différent avec de nouveaux paramètres Σ et $\beta\epsilon\tau\alpha$, remplaçant ainsi le PSF par un nouveau.

3.4 La déconvolution ? Vraiment ?

Un réseau neuronal peut-il réellement effectuer une déconvolution au sens formel?

Oui.

La déconvolution a une définition mathématique précise. À première vue, il n'existe pas d'expression simple, sous forme fermée, de la fonction mathématique exécutée par un réseau neuronal doté de dizaines de millions de paramètres et d'un grand nombre d'opérations non linéaires. Ce que l'on peut exprimer avec précision, en revanche, c'est la méthode employée pour l'entraîner, et plus précisément si cette méthode est conforme ou non au théorème d'approximation universelle. Ce théorème stipule qu'un réseau neuronal peut estimer de manière prouvée n'importe quelle fonction mathématique continue, avec une précision arbitraire, à condition que certaines conditions soient remplies.

Tous les réseaux neuronaux sont entraînés de la manière suivante:

- Les alimenter avec une entrée,
- les laisser traiter l'information en utilisant des poids initialement aléatoires
- "*Noter*" leurs performances au moyen d'une fonction de perte appropriée qui compare la sortie à une certaine "*vérité de base*", - "*évaluer*" leurs performances au moyen d'une fonction de perte appropriée qui compare la sortie à une certaine "*vérité de base*".
- utiliser la règle de la chaîne du calcul pour calculer la fonction de dégradation de perte par rapport à chaque poids du réseau,
- mettre à jour les poids du réseau pour diminuer cette dégradation, et enfin
- itérer pour minimiser la fonction de perte à l'aide d'un algorithme d'optimisation approprié.

Les réseaux neuronaux apprennent à faire ce pour quoi ils ont été formés. Si nous voulions en entraîner un à donner l'impression que les astrophotos ont été peintes par Van Gogh, par exemple, nous lui présenterions des astrophotos d'amateurs en entrée, nous utiliserions les rendus de la Nuit étoilée comme "*vérité de base*" et nous choisirions une fonction de perte appropriée.

La méthode d'apprentissage employée pour l'IA de BlurXTerminator est conceptuellement simple. La "*vérité de base*", la cible que le réseau apprend à estimer à partir de ses données d'entrée, est simplement un grand ensemble d'images très nettes représentatives des caractéristiques que l'on trouve couramment dans les scènes astronomiques. Pour obtenir les données d'entraînement, ces images sont floutées avec diverses fonctions d'étalement du point (*PSF*) représentatives de celles produites par l'optique et l'atmosphère. Ces fonctions sont bien connues et largement décrites dans la littérature. Le réseau apprend à produire sa sortie en minimisant une "*fonction de perte*", un nombre qui évalue ses performances. L'apprentissage se poursuit jusqu'à ce que la fonction de perte atteigne une valeur acceptable.

Le choix de la fonction de perte est un facteur essentiel qui détermine si un réseau deviendra génératif. Les fonctions de perte dites "*perceptuelles*" se traduisent par un réseau qui donne la priorité à la production d'un résultat qui "*semble ne t'*" plutôt qu'à la récupération de l'image nette réelle. Étant donné que l'objectif de BlurXTerminator est ce dernier, ce type de fonction de perte n'est pas utilisé. Au lieu de cela, une simple perte de reconstruction d'image est employée, évaluant les performances du réseau uniquement en fonction de sa capacité à produire des valeurs de pixels de sortie correctes à partir de son entrée.

3.5 Perfection?

Aucun outil de déconvolution ne sera jamais parfait. La déconvolution est un problème mal posé, qui implique nécessairement des suppositions de la part de l'algorithme qui effectue la déconvolution, quel qu'il soit. Même les algorithmes classiques sont discutables en termes d'estimations du maximum de vraisemblance - ils produisent de bonnes suppositions quant à l'aspect de la scène originale. BlurXTerminator tente de faire de même.

Par rapport aux méthodes de déconvolution classiques, une approche basée sur les réseaux neuronaux est un animal totalement différent. En interne, ils utilisent certaines des mêmes opérations mathématiques (*convolution*), mais ils sont également pleins d'opérations non linéaires que les approches classiques ont tendance à éviter. C'est en fait une partie de ce qui donne aux réseaux neuronaux leur puissance et leur polyvalence, mais cela peut aussi parfois donner des résultats bizarres ou incorrects.

Une autre différence majeure réside dans le fait qu'il n'est généralement pas possible de savoir pourquoi un réseau neuronal produit un résultat particulier dans une circonstance particulière : on dit que les réseaux neuronaux sont opaques. Les réseaux tels que celui qui est au cœur de BlurXTerminator effectuent des centaines de millions, voire des milliards de calculs sur une seule image, en utilisant des dizaines de millions de valeurs de paramètres apprises. Les décisions concernant telle ou telle caractéristique ou valeur de pixel sont réparties entre ces calculs de manière "*holographique*".

Retracer le chemin exact qui a conduit à un résultat particulier est donc très difficile et rarement utile - tenter de façonner manuellement les valeurs des paramètres pour produire un meilleur résultat dans un cas précis entraînera inévitablement des résultats plus mauvais dans un certain nombre d'autres circonstances (*imprévisibles*). L'amélioration des données et des méthodes de formation est la voie standard pour améliorer les performances d'un réseau neuronal.

Un grand soin a été apporté à la conception et au développement de l'architecture du réseau neuronal, et en particulier aux méthodes d'apprentissage employées, pour essayer de faire en sorte que le BlurXTerminator produise des résultats qui soient fidèles à la réalité et non "*inventifs*". Il n'est pas et ne sera jamais parfait dans ce sens pour toutes les images produites par tous les instruments. Les centroïdes des étoiles peuvent ne pas être parfaitement conservés. Le flux total peut ne pas être parfaitement conservé. L'invariance de décalage exacte (*obtenir le même résultat indépendamment du fait qu'une image soit décalée d'un certain nombre de pixels*) n'est pas garantie. La "meilleure estimation" de BlurXTerminator quant à la structure détaillée sous-jacente à l'image floue d'origine peut ne pas être parfaitement fidèle à la réalité dans tous les cas.

3.6 Éviter le traitement excessif

BlurXTerminator a été conçu pour éviter autant que possible le "*l'excès de netteté*" (*Over sharpening*) s'il est utilisé correctement. Il est néanmoins possible de le faire, en particulier si le paramètre **PSF Diameter** est réglé sur une valeur fictive ou s'il est appliqué plusieurs fois. Rien ne s'y oppose et cela peut produire des résultats visuellement agréables, mais il faut savoir qu'il ne s'agit plus de déconvolution.

Il en va de même pour les algorithmes classiques de déconvolution si, par exemple, on leur fournit une fonction PSF. Tout outil peut être utilisé à d'autres fins que celles pour lesquelles il a été conçu. Un scalpel peut être un outil de précision qui sauve des vies ou une arme meurtrière, selon la manière dont il est manié.

La gestion de nos données photographiques est entre nos mains - il appartient à chacun d'entre nous de décider si nos images finales sont des représentations fidèles de la réalité ou si elles sont grotesques et traitées excessivement.

3.7 Précision de MacOS

Sous MacOS, BlurXTerminator utilise la bibliothèque logicielle CoreML fournie par Apple pour effectuer des calculs de réseaux neuronaux. Sur MacOS 11 (**Big Sur**) et les versions antérieures, ces calculs sont limités à une précision de 16 bits en virgule flottante. Cela fonctionne bien pour la plupart des images, mais les zones très lumineuses et le cœur des étoiles saturées (*écrêtées*) peuvent présenter un certain degré de postérisation. Sur MacOS 12 (**Monterey**) et les versions ultérieures, la bibliothèque CoreML permet une précision de 32 bits, ce qui permet à BlurXTerminator de produire un résultat plus précis sans postérisation.

3.8 Historique des versions

3.8.1 Historique des versions du module de traitement

Version	Dates	Changements
2.0.0	2023-12-14	Mise à jour pour fonctionner avec AI4.
1.2.1	2023-09-02	Correction d'un bug qui provoquait un traitement excessif des éléments non stellaires dans les aperçus en temps réel lors d'un zoom arrière et de l'utilisation d'un diamètre PSF manuel.
1.2.0	2023-08-27	Corrige un problème dans le mode luminance seule qui provoquait une grille de pixels sursaturés entre les panneaux de traitement. Correction d'un problème pouvant entraîner un assombrissement excessif des zones d'ombre dans certaines images. Validation/sélection plus intelligente des fichiers de définition AI.
1.1.18	2023-08-05	Correction d'un problème pouvant entraîner un assombrissement excessif des zones d'ombre dans certaines images. Libère la mémoire CPU/GPU consommée par le réseau neuronal après le traitement d'une image (notez que le framework TensorFlow peut toujours conserver la mémoire GPU allouée, mais elle sera disponible pour d'autres procédés alimentés par l'IA).
1.1.17	2023-07-24	Correction d'un problème qui provoquait l'arrêt de la mise à jour de l'aperçu en temps réel pour les images monochromes.
1.1.16	2023-07-20	Correction d'un léger écrêtage dans les zones d'ombre. Amélioration de la préservation des niveaux d'arrière-plan. Nouvel algorithme de tuile pour mieux gérer les bords des images.
1.1.2	2023-01-21	MacOS uniquement : correction de la sélection du format de fichier AI approprié (mlmodel vs. mlpackage) sur certaines versions de MacOS 10.15 (Catalina).
1.1.1	2023-01-08	Correction de bogues provoquant des pixels chauds et un comportement non récurrent
1.1.0 (βeta)	2023-01-07	Version significative avec les changements suivants : ▪ Ajout d'un mode Luminance seule pour ignorer les informations de couleur lors de la déconvolution ▪ Amélioration de la cohérence de la correction des aberrations près des bords et des coins d'une image. ▪ Activation de la précision de calcul des réseaux neuronaux 32 bits sur MacOS. Nécessite MacOS 12 (Monterey) ou une version ultérieure.
1.0.2	2022-12-14	Amélioration mineure de l'interface utilisateur et mise à jour de la documentation
1.0.1	2022-12-12	Améliorations mineures de l'interface utilisateur et mises à jour de la documentation
1.0.0	2022-12-08	Version initiale pour des tests βeta limités

3.8.2 Historique des versions de l'IA

Version	Dates	Changements
4	2023-12-14	Formation sur les types et les quantités d'aberrations optiques. Le traitement linéaire direct de l'image améliore la conservation du flux et la précision générale.
3	2023-08-06	Publication expérimentale augmentant la gamme des aberrations optiques
2	2023-01-07	Amélioration de la préservation de la couleur des étoiles et de la précision de la déconvolution non stellaire
1	2022-12-08	Version initiale

3.9 Support

Le support de BlurXTerminator peut être obtenu sur le [site web de RC Astro](#).

3.10 Analyse technique de la résolution et de l'échantillonnage

Beaucoup de choses ont été écrites et dites sur le sous-échantillonnage et le sur-échantillonnage dans les images astronomiques. Des débats animés éclatent périodiquement sur ce sujet. En effet, il semble populaire à l'heure actuelle d'appliquer l'intégration *2x Drizzle* aux sous-expositions qui sont déjà sur-échantillonnées, sans se soucier de savoir si cela a un sens. Il semble y avoir une certaine confusion quant à la signification des termes échantillonnage, sous-échantillonnage, sur-échantillonnage et, surtout, résolution. On peut penser que les débats et les désaccords résultent principalement d'un manque de précision et de clarté dans l'utilisation de ces termes. Commençons donc par les définir clairement :

Résolution: *taille minimale d'une caractéristique angulaire* qui peut être distinguée (*résolue*) par un système d'imagerie. La définition technique de ce terme par rapport à sa signification courante est une source de confusion majeure - la signification courante peut nous faire défaut lorsque nous essayons de comprendre le processus d'imagerie. Par exemple, on dit souvent des appareils photo qu'ils ont une " *résolution de 60 mégapixels* " ou quelque chose du genre. Le nombre de pixels sur le capteur d'un appareil photo n'a rien à voir avec la résolution angulaire d'un système d'imagerie.

Un système optique donné a une résolution angulaire minimale qui est fondamentalement limitée par la diffraction. La vision atmosphérique et la qualité de l'optique peuvent la restreindre davantage. Cette résolution est entièrement décrite par la fonction PSF. La part de cette résolution qui est effectivement capturée dans le processus d'imagerie dépend de la taille des pixels du capteur de la caméra (*et non du nombre total de pixels*) par rapport à la taille de la fonction PSF du système.

Échantillonnage: processus de conversion d'un signal qui varie continuellement en tout point en un ensemble de valeurs discrètes, ou échantillons. Dans notre cas, le signal est la lumière et les échantillons sont des pixels. Toute variation significative de la lumière dans la zone d'un seul pixel est regroupée dans ce pixel, et les informations relatives à cette variation sont perdues.

Sous-échantillonnage: le fait de ne pas disposer d'échantillons individuels (*pixels*) suffisamment petits pour recueillir de manière adéquate toutes les informations significatives présentes dans la fonction PSF d'un instrument. Le sous-échantillonnage entraîne une perte d'informations (*détails fins*). Ce n'est pas nécessairement une catastrophe : il s'agit souvent d'un compromis, peut-être entre la résolution d'une part, et le champ de vision ou la technologie de caméra disponible/abordable d'autre part.

Suréchantillonnage: avoir des tailles d'échantillons individuels (*pixels*) qui capturent de manière plus qu'adéquate toutes les variations significatives de la fonction PSF d'un instrument. Aucune information n'est perdue lors du suréchantillonnage, mais un suréchantillonnage excessif n'ajoute pas non plus d'informations significatives : il ne fait que consommer de l'espace disque, augmenter le temps de traitement de l'image et alourdir inutilement la charge de travail des développeurs d'algorithmes.

Comme nous le verrons bientôt, il n'y a pas de frontière nette entre le sous-échantillonnage et le sur-échantillonnage. Lorsqu'une image devient légèrement sous-échantillonnée, certaines informations à échelle fine commencent à être perdues, mais la qualité de l'image ne "*tombe pas subitement*". Si le choix est possible, il vaut mieux être légèrement sur-échantillonné que légèrement sous-échantillonné.

Le reste de cette section est une analyse simple utilisant des concepts de base du traitement des signaux qui, nous l'espérons, éclairera davantage ce sujet. Cette analyse devrait être facile à suivre pour toute personne ayant des bases raisonnables en matière de théorie du traitement des signaux. Pour ceux qui n'ont pas ces connaissances, voici les conclusions :

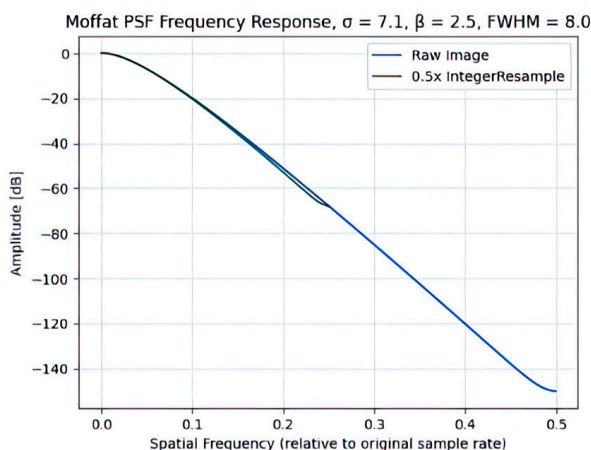
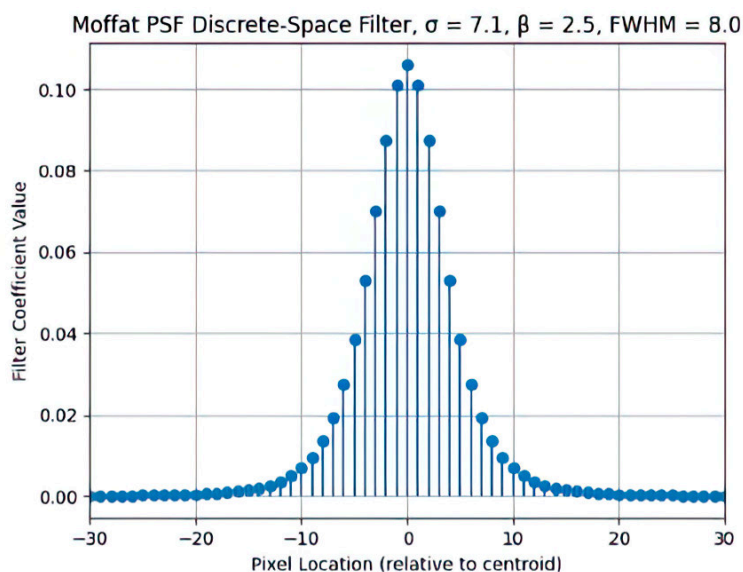
- Les images avec des valeurs PSF FWHM (*diamètres des étoiles*) de 3-4 pixels sont généreusement échantillonnées.
- Les images de 4 à 6 pixels FWHM sont suréchantillonnées, mais pas suffisamment pour justifier un sous-échantillonnage par 2, à moins qu'elles ne soient très bruitées.
- Les images de plus de 6-8 pixels FWHM sont suréchantillonnées plus de 2 fois, et peuvent en toute sécurité être sous-échantillonnées de 2 fois sans perte significative d'informations. **IntegerResample** en mode **Average** doit être utilisé pour minimiser le repliement du bruit et maximiser le rapport signal sur bruit dans l'image sous-échantillonnée.
- La réalisation d'une intégration **drizzle** 2x des sous-expositions pour récupérer la résolution n'a de sens qu'avec des données sous-échantillonnées (*valeurs FWHM inférieures à 2-3 pixels*).

Notez que ces conclusions ne dépendent pas de l'ouverture de l'optique, de la longueur focale, du rapport focal, de la taille des pixels, ni de l'observation sur le lieu d'observation. Ces paramètres sont importants lors de la sélection des composants d'un système d'imagerie et du choix de l'emplacement, mais une fois qu'un système est construit, il produira le PSF qu'il produira, et ce PSF sera échantillonné par les pixels de la caméra. L'analyse ci-dessous démontre que la résolution angulaire réalisable d'un système d'imagerie donné est limitée par le PSF, et non par la taille du pixel, dès lors que 4 pixels ou plus couvrent le FWHM du PSF.

3.10.1 Analyse de la résolution et de l'échantillonnage à l'aide de concepts de traitement du signal

Nos images sont le résultat de l'échantillonnage d'un signal qui a été flouté avec un PSF. Cette fonction est facilement modélisée comme un filtre à temps discret (*ou plutôt à espace discret*), à partir duquel nous pouvons analyser le processus en termes de concepts familiers de traitement du signal, à savoir la réponse en fréquence et le déphasage (*aliasing*).

Les PSF typiques des images astronomiques sont très bien représentées par une distribution de Moffat. Voici un graphique d'un PSF de Moffat échantillonné en une dimension, vue comme un filtre à espace discret. Les paramètres de la distribution de Moffat de ce filtre ont été choisis de manière à ce qu'il ait un diamètre FWHM de 8 pixels.



Voici la réponse en fréquence spatiale de ce filtre, ainsi que la réponse en fréquence effective de 0,5x **IntegerResample**, qui n'est qu'un moyenne de deux échantillons suivi d'un affaïssement. Cette réponse est rapportée à la fréquence d'échantillonnage d'origine pour faciliter la comparaison.

Comme on peut le voir, l'atténuation à la fréquence spatiale de Nyquist par ce PSF dans l'image brute est supérieure à 140 dB, ce qui place tout signal à cette fréquence bien en dessous de tout plancher de bruit réel imaginable. Même à la moitié de la fréquence de Nyquist, l'atténuation est d'environ 70 dB : l'information à cette fréquence spatiale a été atténuée par un facteur d'environ 3 000. On peut considérer qu'il s'agit d'un filtre anti-repliement (*anti-aliasing*) raisonnable pour un affaïssement d'un facteur 2.
(*L'anticrénelage du bruit entre les fréquences de Nyquist et de demi-Nyquist est efficacement réalisé par l'opération de calcul de la moyenne dans **IntegerResample***).

Le fait de diviser par 2 l'échantillonnage d'une image avec ce PSF n'aura pas d'effet significatif sur le signal récupérable présent dans l'image, et il n'y aura pas de repliement significatif. Oui, il est théoriquement possible d'avoir une image avec un rapport signal/bruit si élevé qu'il en résulterait une perte mineure d'informations, mais en termes pratiques, ce n'est pas le cas pour nous : nous ne pouvons que rêver que nos images brutes soient à ce point dépourvues de bruit.

Les valeurs d'atténuation ci-dessus varient légèrement en fonction du paramètre bêta du PSF de Moffat, mais pas suffisamment pour faire la différence dans cette conclusion. Même avec l'exemple extrême d'une PSF Lorentzien (*équivalent au PSF de Moffat avec un bêta de 1,0*), l'atténuation de Nyquist est de 100 dB et l'atténuation de demi-Nyquist est d'environ 55 dB.

C'est pourquoi la valeur maximale du diamètre du PSF dans BlurXTerminator est de 8 pixels. Toute image comportant des étoiles avec des valeurs FWHM supérieures à 4 pixels peut déjà être considérée comme suréchantillonnée. Le fait d'autoriser des valeurs FWHM allant jusqu'à 8 pixels permet de multiplier par 2 le rééchantillonnage des nombres entiers sans perte significative d'informations.

3.11 Accélération GPU

Sous MacOS, l'utilisation d'un GPU pour accélérer les calculs du réseau neuronal est automatique et gérée par la bibliothèque "**CoreML**" fournie par Apple. Cette bibliothèque décide si une configuration matérielle particulière peut ou non être utilisée pour accélérer le réseau neuronal de BlurXTerminator. La plupart des Mac récents bénéficient de l'accélération sans qu'aucune configuration supplémentaire ne soit nécessaire. Les Macs à base de silicium Apple (**Apple silicon, M1, M2, M3**) démontrent une accélération GPU superlative avec BlurXTerminator et d'autres outils RC Astro alimentés par l'IA.

Sur les machines Windows et Linux, les calculs du réseau neuronal sont effectués à l'aide de la bibliothèque TensorFlow fournie par Google. Une version CPU-only de cette bibliothèque est installée par défaut avec PixInsight sur le matériel qui la supporte. Si votre machine dispose d'un GPU NVIDIA compatible, il peut être possible d'accélérer considérablement BlurXTerminator et d'autres outils basés sur les réseaux neuronaux.

Un guide d'installation est disponible sur cette page [RC Astro](#). Notez qu'il ne s'agit que d'un guide. En raison du très grand nombre de combinaisons possibles entre le CPU, le GPU et les versions du système d'exploitation, RC Astro ne peut pas fournir de support individuel pour l'accélération du GPU. Procédez à votre propre discrétion et demandez de l'aide à des amis compétents ou à des forums en ligne.

Copyright © 2022-2023 RC Astro, LLC

Generated by the PixInsight Documentation Compiler script version 1.7.1 on 2023-12-13 01:28:21 UTC