

Modélisation de scène et extraction de sources

Sommaire

7.1	Modélisation de scène	2
7.1.1	Présentation de la méthode	2
7.1.2	Projection du cube intrinsèque	2
7.1.3	Composantes de la scène	4
7.1.4	Ajustement de la scene 2D	5
7.1.5	Ajustement chromatique	6
7.2	Extraction des composantes	9
7.2.1	Outputs de contrôle du pipeline	9
7.2.2	Extraction de la galaxie hôte	9
7.2.3	Extraction de la Supernova	9
7.3	Classification : SNID	9

Ce chapitre est consacré à la description de la dernière étape du pipeline **HYPERGAL**, la modélisation de scène. Les chapitres précédents ont permis dans un premier temps la construction du cube intrinsèque de la galaxie hôte. Puis nous avons procédé à sa projection dans l'espace spectral de la SEDm à partir de la réponse impulsionnelle spectrale de l'instrument. Enfin, nous avons également construit un modèle de PSF robuste permettant la modélisation de sources ponctuelles.

Dans ce chapitre, nous allons tout d'abord détailler le processus de modélisation de scène, puis nous présenterons les résultats d'extraction des différentes composantes qui la composent. Après avoir montré ces résultats pour un cas idéal, nous montrerons quelques extractions de cas plus complexes obtenus avec **HYPERGAL**.

7.1 Modélisation de scène

7.1.1 Présentation de la méthode

La modélisation de scène implémentée dans **HYPERCAL** va globalement suivre la méthode utilisée pour l'extraction de source ponctuelle, présentée dans le chapitre précédent.

L'idée est de modéliser la scène pour N méta-tranches couvrant un domaine spectral pertinent de la SEDm. En effectuant un ajustement de la scène pour chaque méta-tranche, nous obtiendrons un jeu de N paramètres. Puis, à l'instar de la méthode d'extraction de source ponctuelle, nous procèderons à un ajustement de la chromaticité des différentes composantes de la scène. Cela nous permettra de fixer tous les paramètres de forme et de position. Enfin nous terminerons par un ajustement linéaire des amplitudes pour toutes les tranches du cube de données.

Cette procédure nécessite dans un premier temps de projeter notre cube intrinsèque dans l'espace de la SEDm. Nous rappelons qu'à l'issue de la détermination de la réponse impulsionale spectrale (LSF), nous avons déjà projeté notre cube intrinsèque dans l'espace spectral de la SEDm. Il nous manque donc la projection dans l'espace spatiale.

7.1.2 Projection du cube intrinsèque

La projection du cube ne se fait pas en une opération, mais en projetant successivement chaque tranche qui le compose.

Il nous faut pour cela prendre en compte la géométrie des spaxels des 2 cubes. Pour les traitements géométriques, nous utilisons le module **SHAPELY**¹ (GILLIES et al., 2007–), qui nous permet de reconstruire la grille avec les spaxels carrés du cube intrinsèque, et celle avec les spaxels hexagonaux du cube de données SEDm.

Avant de projeter le flux, nous adaptons l'échelle des pixels entre les deux espaces. Nous savons que les pixels des images PS1 ont une taille de $0''.25$ de côté. Afin de connaître précisément le facteur d'échelle à appliquer, nous avons effectué une analyse spatiale sur des observations de la SEDm avec un grand nombre (> 3) de sources dans le champ de vue. Par comparaison géométrique avec les images PS1 de la même zone du ciel, analogue à une triangulation, nous avons déterminé un rapport d'échelle de 2.230 ± 0.003 entre la taille des pixels de la SEDm et des images PS1. Nous en avons déduit une taille effective des spaxels hexagonaux de $0''.558/\text{spaxel}$. Il est important de comprendre que cette adaptation d'échelle est purement numérique et ne correspond pas à un ré-échantillonnage. La Figure 7.1 illustre l'importance de prendre en compte cette différence de taille entre les spaxels.

Avant de projeter le flux du cube intrinsèque, nous incluons un modèle de correction du seeing. En effet, les images PS1 ayant un seeing plus petit ($\sim 1''.2$) que celui de la SEDm ($\sim 2''$), nous devons prendre en compte cette différence avant le ré-échantillonnage spatial.

En toute rigueur, il faudrait entraîner un modèle de PSF relatif entre PS1 et la SEDm. Dans ce travail, nous avons supposé que la correction du seeing relatif pouvait être modélisée par une gaussienne 2D asymétrique (présentant une potentielle ellipticité). Le seeing des images PS1 et de la SEDm n'étant pas fixes, les paramètres de ce modèle seront libres dans notre modélisation de scène.

1. <https://github.com/shapely/shapely>

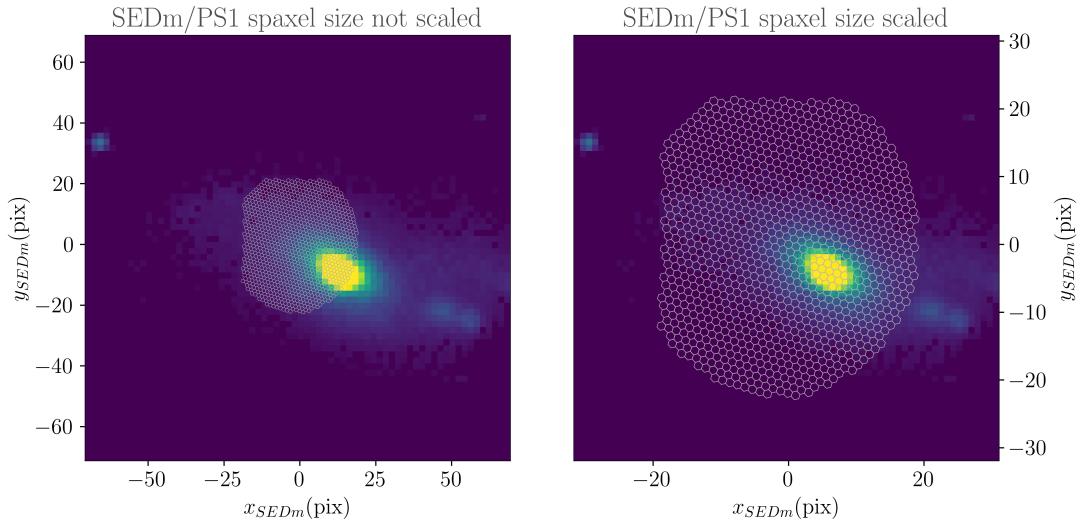


FIGURE 7.1 – Concordance des champs de vue PS1 et SEDm sur la supernova ZTF18accorf en appliquant le rapport d'échelle entre la taille des pixels de chaque instrument. La grille hexagonale correspond au MLA de la SEDm, superposé sur une métatranche du cube intrinsèque empilé. La superposition illustrée ici aligne le centre du MLA et celui du cube.

Après la convolution de la tranche considérée du cube intrinsèque par ce kernel gaussien, nous devons déterminer une position d'ancrage entre la grille hexagonale et la tranche du cube à projeter.

Cette ancre de projection doit être une position du ciel dont nous connaissons la localisation à la fois dans les images PS1, et dans le MLA de la SEDm. Par défaut dans **HYPERGAL**, nous utilisons la position de l'événement transitoire détectée par la caméra ZTF, à partir de laquelle nous avons récupéré les images PS1. La caméra de guidage de la SEDm (la *Rainbow Camera*) nous fournit également une position approximative de l'objet détecté dans le MLA.

Nous alignons ainsi cette position du MLA avec le centre de la tranche du cube considérée avant d'effectuer la projection du flux.

Pour procéder à la projection du flux dans l'espace spatial de la SEDm, nous utilisons le module **GEOPANDAS**¹ ([JORDAHL et al., 2020](#)). Cet outil nous permet de superposer les deux grilles de polygones décrivant les géométries du cube intrinsèque et du MLA, puis de déterminer les aires de chevauchement entre tous les pixels.

Nous récupérons ainsi pour chaque pixel du MLA l'intégrale des flux du cube qui le chevauchent, en pondérant par l'aire de superposition. Cette aire de superposition est égale à 1 lorsque qu'un pixel carré du cube est entièrement contenu dans un pixel hexagonal du MLA.

Nous présentons dans la Figure 7.2 la projection d'une métatranche du cube intrinsèque dans l'espace de la SEDm, convoluée par une gaussienne 2D sans ellipticité d'écart type 1 pixel (= 0''.5). L'ancrage est effectué à partir de la position de la supernova ZTF18accorf dans le MLA estimée par la caméra de guidage.

Nous procédons ainsi à cette projection pour chaque métatranche du cube spectral. Tout comme avec les étoiles standards, les cubes de données SEDm sont affectés par les

1. <https://geopandas.org/>

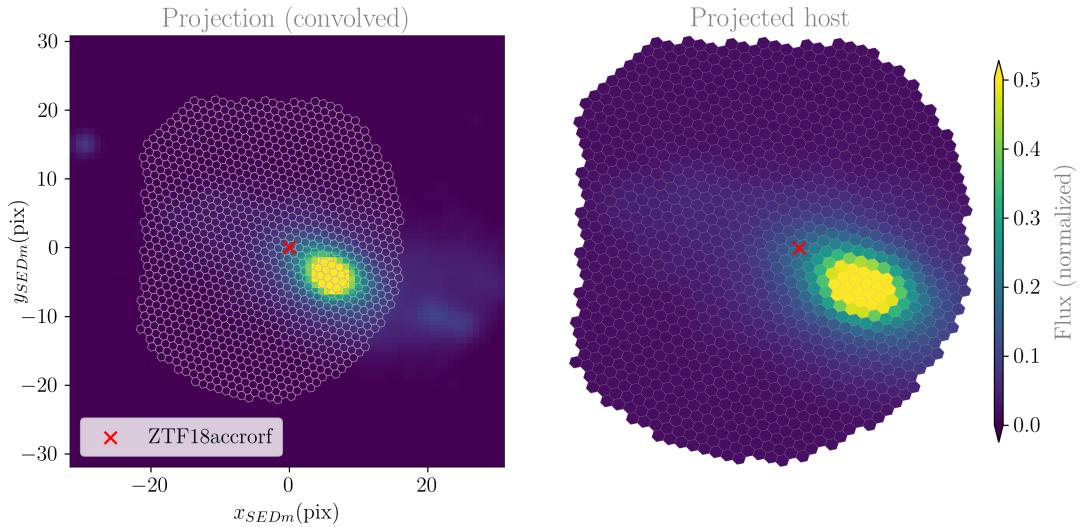


FIGURE 7.2 – Projection de la galaxie hôte dans le MLA pour une méta-tranche du cube intrinsèque. Pour l’illustration de cet exemple, nous avons convolué la tranche par une gaussienne 2D sans ellipticité d’écart type 1 pixel. La croix rouge indique la position de la supernova ZTF18accorf estimée par la *Rainbow Camera* dans le MLA, qui sert d’ancrage à la projection d’un espace spatial à l’autre.

effets d’ADR, et ainsi la position d’ancrage varie en fonction de la longueur d’onde.

Ces paramètres (x_0, y_0) sont donc également des paramètres libres de notre modélisation de scène, et la position renseignée par la *Rainbow Camera* fait office de condition initiale.

À ce stade de la modélisation, toutes les contributions relatives entre PS1 et la SEDm ont été prises en compte. Nous pouvons à présent compléter la scène avec les composantes de fond et de source ponctuelle.

7.1.3 Composantes de la scène

7.1.3.1 Composante du fond : ciel et artefacts

Le fond du ciel ayant été retiré dans les images PS1 ([WATERS et al., 2020](#)), il nous faut modéliser cette composante. Pour les mêmes raisons évoquées dans le chapitre ?? avec l’extraction des étoiles standards, nous choisissons de modéliser le fond par un polynôme de second degré tel que :

$$\text{Bkgd}(x, y) = \begin{pmatrix} b_{xx} & & & 0 \\ & b_{yy} & & \\ & & b_{xy} & b_x \\ 0 & & & b_y \\ & & & b_0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x^2 \\ y^2 \\ xy \\ x \\ y \\ 1 \end{pmatrix} \quad (7.1)$$

avec x et y les coordonnées dans le MLA. La constante b_0 est donc utilisée pour modéliser l’uniformité du ciel, tandis que les autres paramètres sont là pour corriger les artefacts présents dans le cube de données.

7.1.3.2 Composante de la supernova

L'autre composante de la scène n'est autre que la supernova, une source ponctuelle entièrement caractérisée par la PSF de la SEDm. Nous utilisons donc bien évidemment le profil radial constraint établit au chapitre ?? :

$$PSF(r; \alpha, \eta) = N \left[\eta \times \exp \left(-\frac{r}{2(\sigma_0 + \sigma_1 \times \alpha)^2} \right) + \left(1 + \left(\frac{r}{\alpha} \right)^2 \right)^{-(\beta_0 + \beta_1 \times \alpha)} \right] \quad (7.2)$$

avec r le rayon elliptique du profil radial, et les σ_i et β_i fixés par l'entraînement du modèle.

La position de la supernova à modéliser dans le MLA est supposée confondu avec la position d'ancrage utilisée lors de la projection du cube intrinsèque. Cette approximation signifie que nous considérons la position de détection dans le ciel par la caméra ZTF suffisamment précise et ne nécessitant pas de donner de liberté à la position relative entre la galaxie et l'objet détecté.

7.1.4 Ajustement de la scène 2D

Toutes les composantes de la scène ayant été décrites, nous pouvons passer à l'ajustement de la scène 2D, en considérant les méta-tranches indépendamment les unes des autres.

Nous avons choisi par défaut dans `HYPERGAL` de considérer 6 méta-tranches dans l'intervalle spectral $\lambda \in [5000, 8500]\text{\AA}$. Ce choix est motivé par la précision spectrale de la calibration en flux de la Figure ?? du chapitre précédent. Bien que notre modèle de fond ait été conçu pour prévenir de potentiels artefacts strucutrés, ceux-ci deviennent trop intenses au delà de ce domaine spectral. En se restreignant à cet intervalle, nous réduisons le risque de valeurs d'ajustements aberrantes pouvant compliquer par la suite l'ajustement chromatique. De plus, la majorité des supernovae observées par la SEDm sont des SNIea ($\sim 75\%$), dont leur magnitude diminue fortement vers le rouge, notamment au delà de 8000-8500\AA. Le contraste entre une SNIa et sa galaxie hôte dans une méta-tranche au delà de ces valeurs est donc fortement réduit, ce qui permet difficilement la contrainte sur les paramètres de forme de la PSF. La Figure 7.3 illustre bien le type d'artefacts auxquels nous faisons référence, notamment sur les bords des cubes dans le bleu, et des franges d'interférences intenses dans le rouge.

Nous présentons dans la Table 7.1 la liste des paramètres libres de la modélisation de scène pour une méta-tranche.

L'ajustement se fait par minimisation de χ^2 , défini comme :

$$\chi^2 = \sum_{pixel} \left(\frac{(y_p - \tilde{y}_p)^2}{\sigma_p^2} \right) \quad (7.3)$$

où y_p et σ_p sont respectivement le flux et la racine de la variance dans un pixel p de la méta-tranche du cube SEDm, et \tilde{y}_p le flux modélisé dans ce même pixel. Nous effectuons la minimisation avec le module `IMINUIT`¹ ([JAMES et ROOS, 1975; DEMBINSKI et al., 2020](https://iminuit.readthedocs.io/en/stable/)).

La procédure de construction de la scène pour une méta-tranche et pour chaque pas de minimisation du χ^2 se fait de la façon suivante :

1. <https://iminuit.readthedocs.io/en/stable/>

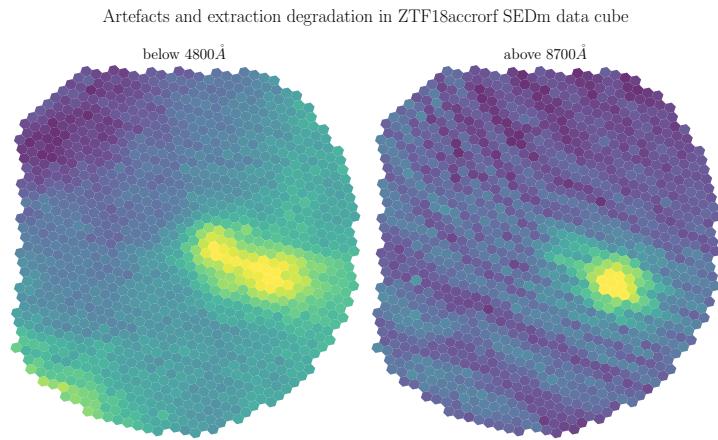


FIGURE 7.3 – Exemple d’artefacts dans les cubes de données SEDm pour ZTF18accorf. Nous montrons à gauche toutes les tranches en dessous de 4800Å du cube de données empilées, et à droite, toutes celles au dessus de 8700Å. Nous pouvons clairement voir dans le bleu la dégradation importante du signal, distordant complètement les objets dans le champ de vue, et également la présence d’artefacts de fond sur les bords du cube. Dans le rouge la forme des sources est également altérée, mais nous voyons surtout des franges d’interférences dans les données.

- (a) Convolution de la méta-tranche du cube intrinsèque par un kernel gaussien 2D asymétrique avec un paramètre d'amplitude ;
 - (b) Projection dans l'espace spatial de la SEDm suivant à partir de la position d'ancrage ;
 - (c) Ajout du fond structuré (ciel + artefacts) ;
 - (d) Ajout de la source ponctuelle (PSF + amplitude) ;
 - (e) Détermination du χ^2 , puis réitération des étapes précédentes ;

Nous présentons dans la Figure 7.4 l'ajustement des 6 méta-tranches par HYPERGAL pour ZTF18accr0rf. Pour chaque longueur d'onde, nous montrons la scène ajustée, la scène observée, et le résidu avec le RMS spatial associé. Dans le cas de cette observation, notre RMS spatial varie de 1.8% à 3.9%. Nous pouvons également remarqué l'augmentation de RMS pour la méta-tranche la plus *bleue* centrée sur 5285Å, probablement à cause d'un fond de plus en plus structuré comme illustré dans la Figure 7.3. La méta-tranche la plus *rouge* à 8200Å commence également à présenter des artefacts structurés, vraisemblablement des franges de Moiré (phénomène d'interférences).

La Figure 7.5 quant à elle présente la matrice de corrélation entre les paramètres libres de la scène pour la métatranche à $\lambda = 6461\text{\AA}$.

7.1.5 Ajustement chromatique

L'ajustement de chaque méta-tranche nous donne ainsi un jeu de N paramètres sur le domaine spectral [5000,8000]Å. Nous modélisons la chromaticité de la PSF de la source ponctuelle de la même manière qu'avec les étoiles standards : une loi de puissance pour α (rayon de la Moffat), et une constante pour η (poids gaussienne/Moffat), \mathcal{A} et \mathcal{B} (ellipticité et orientation).

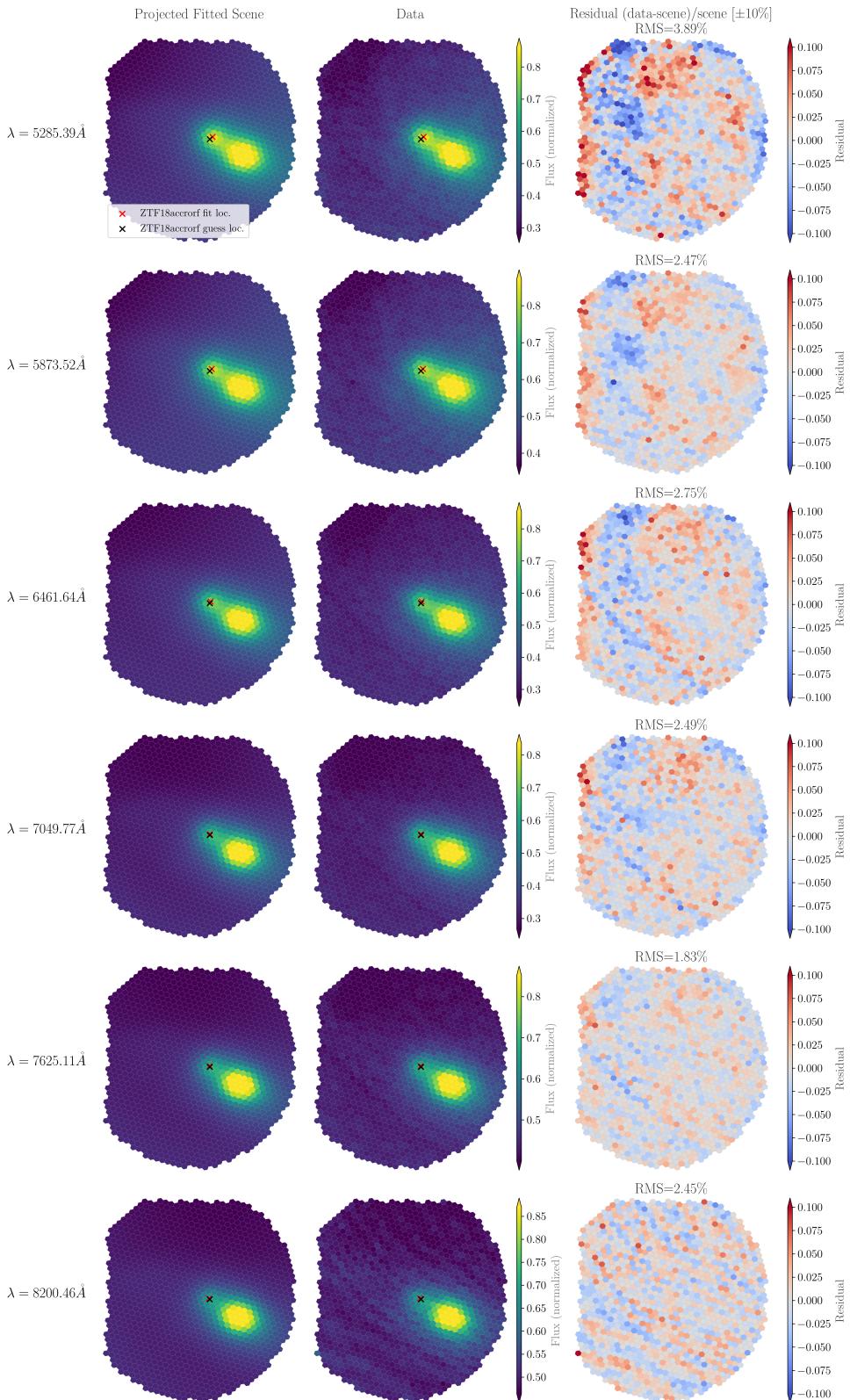


FIGURE 7.4 – Ajustement des méta-tranches pour la modélisation de scène de ZTF18accorf. *De haut en bas* sont représentées les méta-tranches modélisées du bleu vers le rouge. Pour chaque ligne *de gauche à droite* : La méta-tranche modélisée par HYPERGAL, la méta-tranche du cube de données SEDm, et le résidu pondéré par le modèle. Nous indiquons pour chaque longueur d'onde le RMS spatial de l'ajustement, allant de 1.8% à 3.9%. Les croix noires et rouges indiquent respectivement la position d'ancrage initiale (caméra de guidage), et la position ajustée par HYPERGAL.

TABLE 7.1 – Paramètres de modélisation de scène incluant toutes les composantes pour une méta-tranche dans HYPERGAL.

Paramètre		Symbole	
Géométrie			
Position d'ancrage			x_0, y_0
Galaxie hôte			
PSF relative SEDm/PS1			σ
Ellipticité (PSF relative)			$\mathcal{A}_G, \mathcal{B}_G$
Amplitude			G
Fond			
Artefacts			$b_{xx}, b_{yy}, b_{xy}, b_x, b_y$
Ciel			b_0
Source ponctuelle (SN)			
PSF SEDm			α, η
Ellipticité (PSF)			\mathcal{A}, \mathcal{B}
Amplitude			I

Note. Les paramètres d'amplitudes et de fond sont des paramètres de nuisance dans la modélisation des méta-tranches.

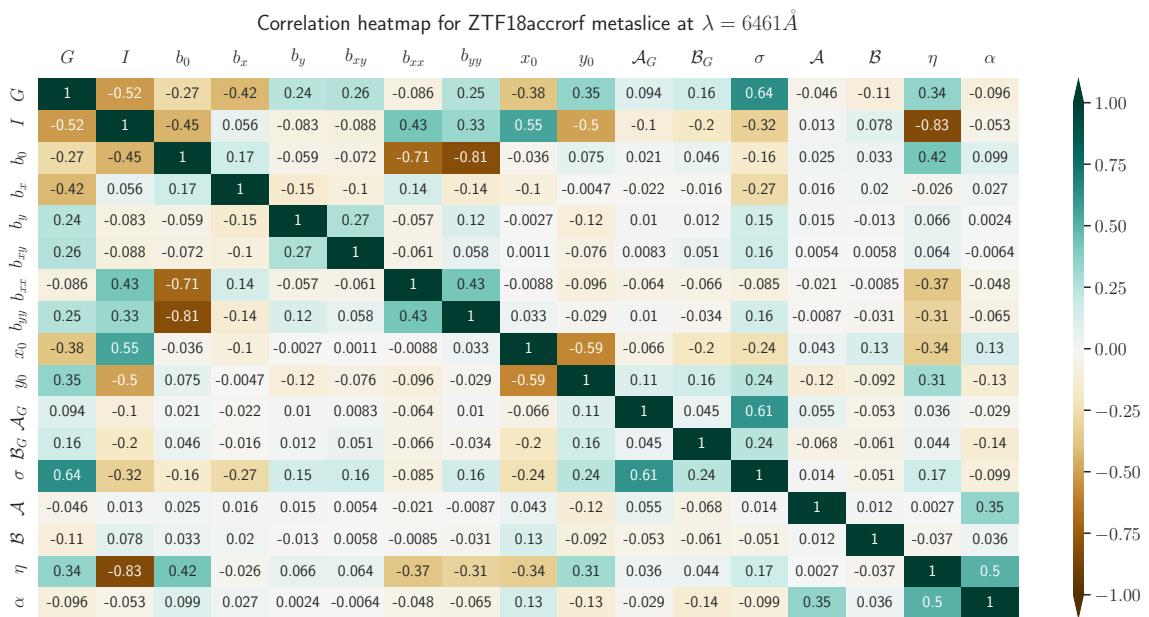


FIGURE 7.5 – Matrice de corrélation des paramètres d'ajustement de scène de ZTF18accorf pour la méta-tranche à $\lambda = 6461\text{\AA}$.

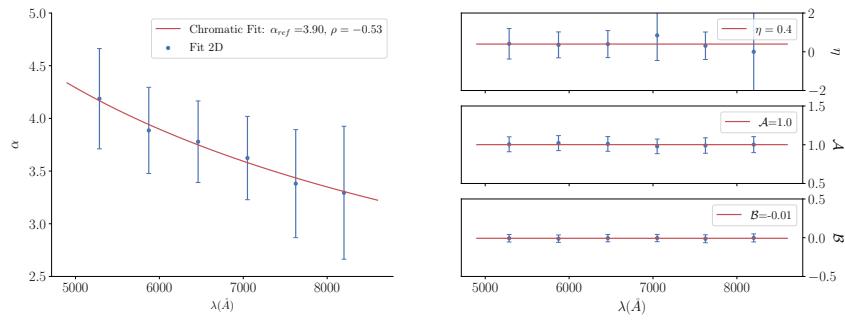


FIGURE 7.6 – Ajustement de la chromatique des paramètres de forme de la PSF pour la supernova ZTF18accorf. À gauche l’ajustement du paramètre α avec une loi de puissance. À droite de haut en bas, l’ajustement par une constante de η (poids entre la gaussienne et la Moffat) et des paramètres d’ellipticité (\mathcal{A}) et d’orientation (\mathcal{B}).

Nous utilisons également pour l’ellipticité et l’orientation de la PSF relative (SEDm/PS1) une modélisation chromatique par une constante.

La chromatique du rayon de la gaussienne de cette PSF relative est modélisée par une loi de puissance, de la même façon que le paramètre de forme principal de la source ponctuelle :

$$\sigma(\lambda) = \sigma_{ref} \left(\frac{\lambda}{\lambda_{ref}} \right)^{\rho_g} \quad (7.4)$$

7.2 Extraction des composantes

7.2.1 Outputs de contrôle du pipeline

7.2.2 Extraction de la galaxie hôte

7.2.3 Extraction de la Supernova

7.3 Classification : SNID

Bibliographie

DEMBINSKI H., ONGMONGKOLKUL P., DEIL C. et al. 2020, « scikit-hep/iminuit : v1.5.4 »
↑ [Section 7.1.4](#)

GILLIES S. et al. 2007–, « Shapely : manipulation and analysis of geometric objects »
↑ [Section 7.1.2](#)

JAMES F. et ROOS M. 1975, « Minuit : A System for Function Minimization and Analysis
of the Parameter Errors and Correlations », *Comput. Phys. Commun.*, 10, 343
↑ [Section 7.1.4](#)

JORDAHL K., DEN BOSSCHE J. V., FLEISCHMANN M. et al. 2020, « geopandas/geopandas :
v0.8.1 » ↑ [Section 7.1.2](#)

WATERS C. Z., MAGNIER E. A., PRICE P. A. et al. 2020, « Pan-STARRS Pixel
Processing : Detrending, Warping, Stacking », *The Astrophysical Journal, Supplement*,
251, 4 ↑ [Section 7.1.3.1](#)