

Chapitre 4

Décalages et types photométriques

4.1 Introduction

Il m'a semblé intéressant d'utiliser le logiciel ZPEG (Le Borgne & Rocca-Volmerange 2002) de mesure des décalages vers le rouge à partir de la photométrie, afin de tester les mesures de types spectraux des galaxies du relevé ESO-Sculpteur, ainsi que la détection des très grandes fluctuations de densité comme celles mise en évidence dans la Sect. 3.6.

ZPEG effectue un ajustement par moindres-carrés des spectres produits par les scénarios d'évolution des galaxies PÉGASE.2 (Fioc & Rocca-Volmerange 1997, voir aussi <http://www2.iap.fr/pegase>). A la différence d'un ajustement de spectres empiriques (Bolzonella et al. 2000; Ilbert et al. 2006; Brimiouille et al. 2008; Coupon et al. 2009), le code ZPEG présente l'intérêt de fournir non seulement une mesure du décalage spectral déduit du meilleur ajustement de spectre synthétique, mais aussi le type du scénario ajusté, et l'évolution temporelle de tous ses paramètres (taux de formation d'étoiles, masse stellaire, âge stellaire moyen etc.). On peut ainsi déduire comment serait le spectre observé une fois évolué jusqu'à $z = 0$, ou comment il serait à tout autre âge antérieur. Gabasch et al. (2004) ont montré que l'ajustement de spectres empiriques donne de bons résultats pour la mesure des décalages photométriques dans le large intervalle de décalage spectral $0.1 < z < 5$.

4.2 Comparaison des décalages vers le rouge

J'utilise les scénarios de tous les types disponibles dans PÉGASE.2: E, S0, Sa, Sb, Sbc, Sc, Sd, Im, et Starburst. J'applique en outre la contrainte d'âge à $z = 0$: on autorise uniquement les spectres des scénarios dont l'âge est inférieur à celui de l'Univers à chaque décalage vers le rouge z (Le Borgne & Rocca-Volmerange 2002); de surcroît, les spectres des scénarios E à Sd doivent être âgés d'au moins 11 milliards d'années au temps présent ($z = 0$), et ceux des Im d'au moins 9 milliards d'années. Ces valeurs de 11 et 9 milliards d'années sont les âges à $z = 0$ d'une galaxie qui se serait formée à $z = 2.6$ et $z = 1.4$ resp., impliquant des z de formation plus élevés. En revanche, les scénarios de Starburst peuvent être arbitrairement jeunes à $z = 0$, et donc à toutes les valeurs de z . Sachant que le z maximal mesuré pour le relevé est de 0.883, je borne les mesures à $z < 1$, et j'utilise un pas en décalage spectral de 0.001 (du même ordre de grandeur que la précision des mesures spectroscopiques). J'ai effectué des essais en introduisant la possibilité d'une extinction interne maximale de 0.02 mag. et 0.04 mag. Cela introduit des dégénérescences et n'améliore par la mesure des décalages spectraux, donc cette option n'est pas utilisée dans les résultats décrits ci-dessous.

La Fig. 4.1 montre les décalages spectraux photométriques z_{phot} obtenus en utilisant la photométrie B_J V_J et R_c des galaxies du relevé ESO-Sculpteur ayant par ailleurs une mesure de décalage spectral spectroscopique z_{spec} . On observe une grande dispersion $\sigma_z \simeq 0.16$, où σ_z est défini comme $\sigma(z_{\text{phot}} - z_{\text{spec}})/(1 + z_{\text{spec}})$, avec diverses dégénérescences et effets systématiques pour $z_{\text{spec}} \lesssim 0.4$.

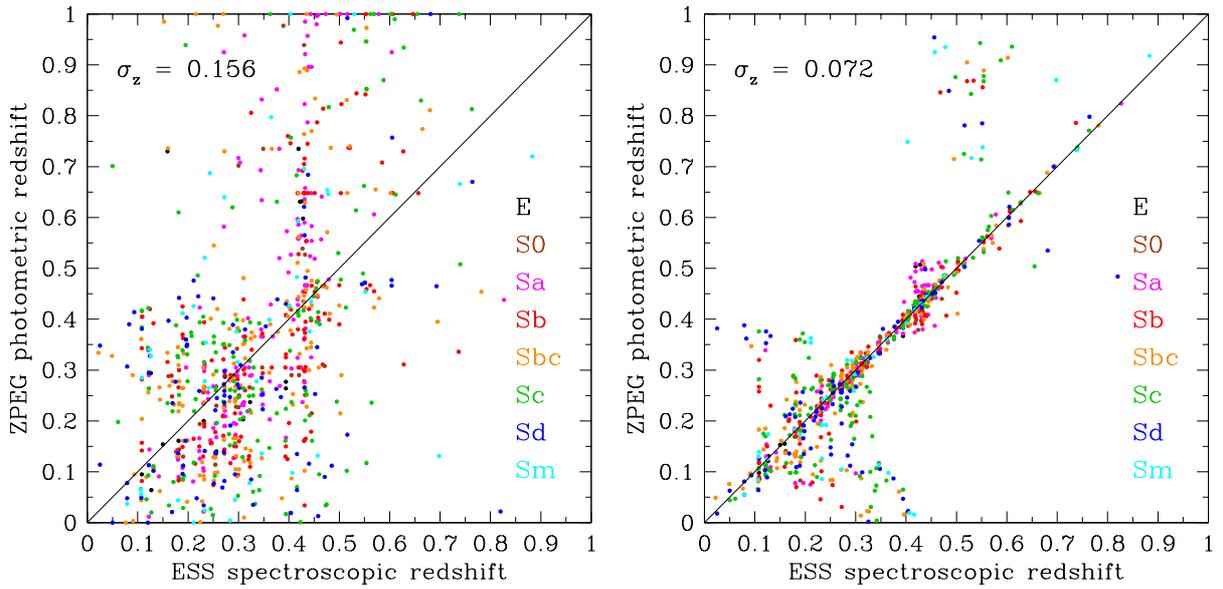


FIG. 4.1 – A gauche, comparaison des décalages photométriques obtenus par ZPEG en utilisant la photométrie B_J V_J et R_c et les décalages spectroscopiques des galaxies du relevé ESO-Sculpteur. Les types spectraux (voir Sect. 2.5) sont indiqués par des couleurs différentes. A droite, on utilise la photométrie B_J V_J et R_c synthétique “parfaite” générée par ZPEG au moyen des décalages spectroscopiques, et on introduit une incertitude Gaussienne avec un écart-type de 0.01 sur les magnitudes.

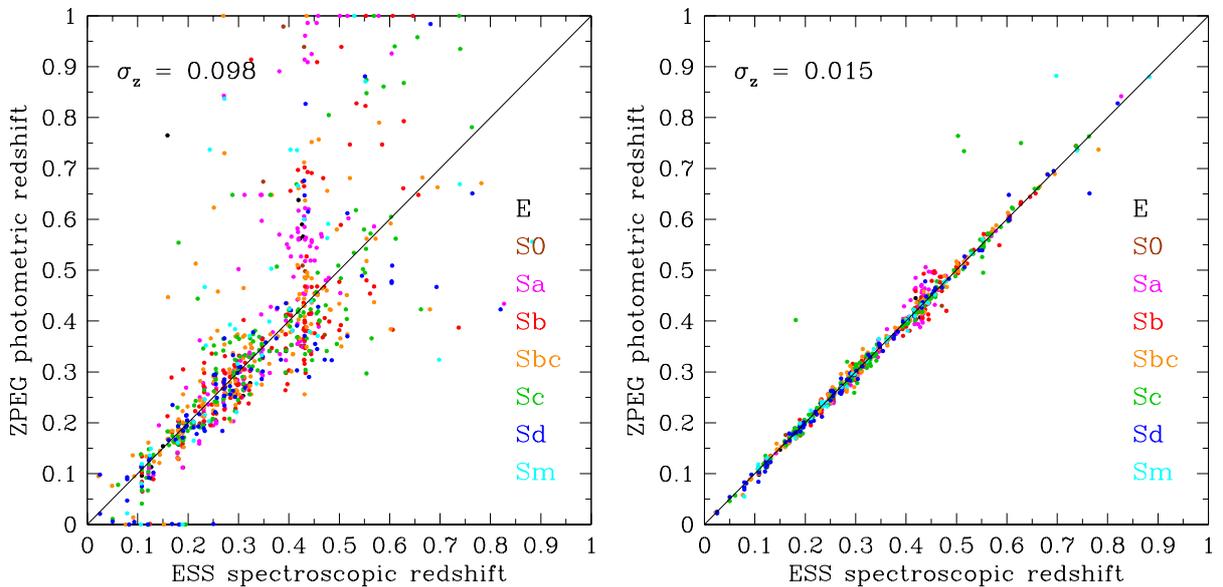


FIG. 4.2 – A gauche, comparaison des décalages photométriques calculés par ZPEG en utilisant la photométrie B_J V_J et R_c observée et la photométrie U_J synthétique “parfaite” calculée par ZPEG dans laquelle une incertitude Gaussienne de 0.05 mag. est introduites. A droite, on utilise la photométrie synthétique “parfaite” dans les bandes U_J B_J V_J et R_c , dans lesquelles sont introduites des incertitudes de 0.01 mag. dans chaque bande.

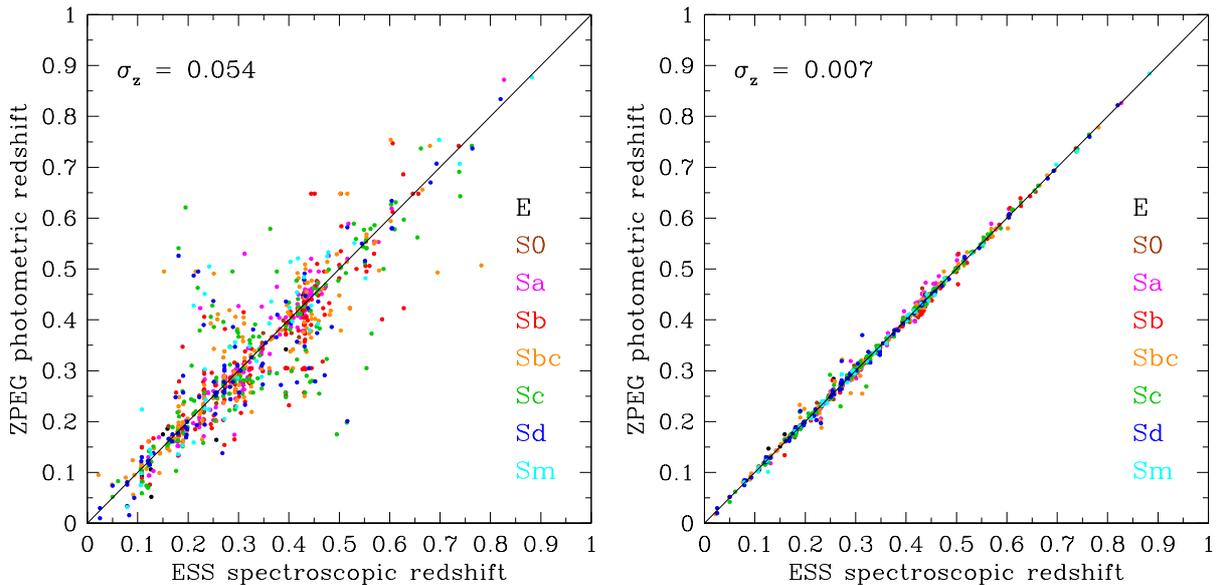


FIG. 4.3 – *A gauche, comparaison des décalages photométriques calculés par ZPEG en utilisant la photométrie $B_J V_J$ et R_c observée et la photométrie infrarouge $I_c J H K$ synthétique “parfaite” calculée par ZPEG dans laquelle des incertitudes Gaussiennes de 0.05 mag. sont introduites. A droite, on utilise la photométrie synthétique “parfaite” dans les bandes optique et infrarouges dans laquelle sont introduites des incertitudes de 0.01 mag. dans chaque bande.*

Une partie de la dispersion et des effets systématiques dans le panneau de gauche de la Fig. 4.1 peuvent être réduits en améliorant la précision de la photométrie optique. Pour simuler de plus faibles incertitudes sur les magnitudes dans les bandes $B_J V_J$ et R_c pour l'échantillon spectroscopique des galaxies, j'utilise la photométrie calculée par ZPEG lorsqu'on effectue les ajustements des scénarios PÉGASE.2 en utilisant les décalages spectroscopiques effectivement mesurés, que l'on appelle ici “photométrie parfaite”. J'ajoute ensuite un bruit aléatoire Gaussien d'écart-type σ_{mag} choisi. Le panneau de droite montre la comparaison des z_{phot} avec les z_{spec} obtenue avec $\sigma_{\text{mag}} = 0.01$ mag. : la dispersion globale se réduit alors à $\sigma_z = 0.07$. On observe cependant une persistance de dégénérescences à $z_{\text{spec}} \lesssim 0.3$ et à $z_{\text{spec}} \gtrsim 0.5$, affectant de préférence les galaxies de type spectral Sbc et plus tardives. La dispersion est plus faible pour une partie des galaxies situées dans l'intervalle $0.35 \lesssim z_{\text{spec}} \lesssim 0.45$, mais des dégénérescences importantes sont présentes pour d'autres galaxies avec $z_{\text{spec}} \lesssim 0.42$ ou $z_{\text{spec}} \gtrsim 0.45$, ce qui ne laisse qu'une étroite fenêtre $0.42 \lesssim z_{\text{spec}} \lesssim 0.45$ pour laquelle la dispersion est véritablement plus faible, valant $\sigma_z = 0.02$. Enfin, on remarque que pour reproduire statistiquement le diagramme du panneau de gauche de la Fig. 4.1, je dois introduire des incertitudes $\sigma = 0.07$ mag. sur la photométrie parfaite, soit un peu plus que les incertitudes estimées des observations (0.05 mag.).

On peut réduire les dégénérescences à $z_{\text{spec}} \lesssim 0.4$ en ajoutant la photométrie UV proche “parfaite” dans la bande U_J . Le panneau de gauche de la Fig. 4.2 montre que la dispersion se réduit à $\sigma_z = 0.098$ dans l'intervalle complet $0 \leq z_{\text{spec}} \leq 1.0$, et à $\sigma_z = 0.08$ pour $z_{\text{spec}} \leq 0.4$. Cela est dû au fait que les bandes U_J et B_J contraignent le saut de flux à 4000\AA pour les galaxies avec $z_{\text{spec}} \leq 0.4$, cet indice permettant de contraindre le taux de formation d'étoiles (Poggianti & Barbaro 1997). Le panneau de droite de la Fig. 4.2 montre qu'en utilisant la “photométrie parfaite” dans les bandes $U_J B_J V_J$ et R_c , et en ajoutant un bruit aléatoire Gaussien d'écart-type $\sigma_{\text{mag}} = 0.01$, on réduit considérablement la dispersion (d'un facteur ~ 4), soit $\sigma_z = 0.015$. Il reste cependant quelques dégénérescences à $z_{\text{spec}} \sim 0.45$ et à $z_{\text{spec}} \gtrsim 0.5$.

On peut améliorer la mesure des décalages photométriques en utilisant l'infrarouge moyen, qui contraint les vieilles populations stellaires des galaxies : par leur moindre sensibilité aux sursauts de formation d'étoiles, l'infrarouge moyen contraint les vieilles populations d'étoiles qui fournissent pour une galaxie un âge fiable et évoluant temporellement de façon monotone. Pour illustrer ces effets, j'ai complété la pho-

tométrie observée dans les bandes optiques du relevé spectroscopique ESO-Sculpteur par la photométrie synthétique “parfaite” calculée par ZPEG dans les bandes infrarouges proches I_c et JHK (filtres du relevé 2MASS; Skrutskie 2001). Dans ce cas, la photométrie infrarouge est dispersée au moyen d’une Gaussienne d’écart-type $\sigma_{\text{mag}} = 0.05$ mag. Le panneau de gauche de la Fig. 4.3 montre les résultats. On constate que l’ajout de l’infrarouge proche réduit considérablement les dégénérescences à $z_{\text{spec}} \sim 0.4$ par rapport à l’utilisation de la photométrie optique (avec ou sans la bande U_J). La dispersion sur les écarts de décalage vers le rouge devient $\sigma_z = 0.05$ sur tout l’intervalle $0 \leq z_{\text{spec}} \leq 1$, proche des incertitudes sur les magnitudes (ou des incertitudes relatives sur les flux, car $\sigma(f)/f \simeq 0.4 \ln 10 \simeq 0.92\sigma_{\text{mag}}$).

Dans le panneau de droite de la Fig. 4.3, je simule l’effet d’une diminution des incertitudes sur les photométries optiques et infrarouge proche à 0.01 mag. Il en résulte une dispersion $\sigma_z = 0.007$ sur les écarts entre les décalages photométriques et spectroscopiques, soit une valeur à nouveau similaire aux incertitudes sur les magnitudes, et deux fois moindre que celle obtenue avec les mêmes incertitudes sur les magnitudes, mais utilisant les photométries optiques et UV proche. Enfin, l’utilisation simultanée des photométries UV et infrarouge proches (en plus de l’optique), conduit à une dispersion plus faible d’un autre facteur ~ 2 sur les décalages photométriques, soit $\sigma_z = 0.004$.

4.3 Détection des fluctuations à très grande échelle

J’examine l’impact des incertitudes dans la mesure des décalages vers le rouge “photométriques” sur la détection des grandes structures telles que la surdensité discutée dans la Sect. 3.6. Les incertitudes externes sur le décalage spectroscopique pour le relevé ESO-Sculpteur furent évaluées à $\sigma_z = 0.00055$, et correspondent à 2.3 Mpc en distance comobile, ce qui est en outre comparable à l’épaisseur des feuillets (de Lapparent et al. 1991); la dispersion des vitesses propres dans les feuillets sont également du même ordre de grandeur. Cette bonne précision sur les mesures de z_{spec} permet par conséquent une détection aisée des vides, pour lesquels un diamètre moyen de ~ 33 Mpc fut mesuré par de Lapparent & Slezak (2007) au moyen d’un periodogramme de la distribution les objets le long de la ligne-de-visée. On peut se demander ce qu’il en est lorsqu’on dégrade la précision des décalages vers le rouge selon les valeurs plus importantes obtenues pour les décalages “photométriques” dans la Sect. 4.2.

La Fig. 4.4 montre dans la partie basse, les distributions en ascension droite et décalage spectral pour le relevé ESO-Sculpteur et pour les diverses simulations de photométrie optique synthétique “parfaite” dans les bandes $B_J V_J R_c$, telles que calculées par ZPEG et dispersées comme décrit dans la Sect. 4.2. Dans la Fig. 4.5, on utilise en plus la photométrie synthétique “parfaite” UV dans la bande U_J , ainsi que l’infrarouge proche dans les bandes $I_c JHK$. Dans la partie supérieure des deux graphes, on montre l’histogramme en décalage vers le rouge correspondant à chaque distribution en ascension droite et décalage spectral de la partie inférieure; des incréments de 0.05 (soit ~ 200 Mpc) sont utilisés pour les histogrammes. La distribution des points et l’histogramme en noir des deux figures correspondent aux décalages vers le rouge obtenus par les observations spectroscopiques du relevé et mettent en évidence le pic marqué de la surdensité dans l’intervalle $0.41 < z < 0.46$.

La distribution des points et l’histogramme en magenta dans la Fig. 4.4 utilisent en revanche les décalages photométriques obtenus lorsqu’on utilise la photométrie optique observée. Dans ce cas, la surdensité est complètement effacée par l’imprécision sur les décalages, $\sigma_z \simeq 0.16$. Elle réapparaît avec l’utilisation de la photométrie optique “parfaite” lorsque la dispersion sur les magnitudes est $\sigma_{\text{mag}} < 0.01$ (points et courbe en vert); la précision sur les décalages photométriques est alors de $\sigma_z \simeq 0.07$. On obtient une plus grande robustesse vis-à-vis de l’incertitude sur la photométrie lorsqu’on complémente la photométrie optique avec la photométrie infrarouge et UV proche: la Fig. 4.5 montre qu’avec $\sigma_{\text{mag}} < 0.05$, la surdensité est toujours visible, que ce soit dans la distribution de points en ascension droite et décalage vers le rouge que dans l’histogramme (points et courbes en orange); la précision sur les décalages photométriques décroît alors à $\sigma_z \simeq 0.02$. Les résultats sont inchangés si l’on utilise uniquement la photométrie optique et infrarouge proche (sans l’UV proche).

A noter que dans les deux Figs. 4.4 et 4.5, l’existence d’un pic de densité à $z \lesssim 0.3$ dans le relevé spectroscopique est maintenu lorsque la dispersion sur les magnitudes augmente, à cause des dégénérescences dans la détermination des z_{phot} (voir panneau de droite de la Fig. 4.1, et panneau de gauche de la

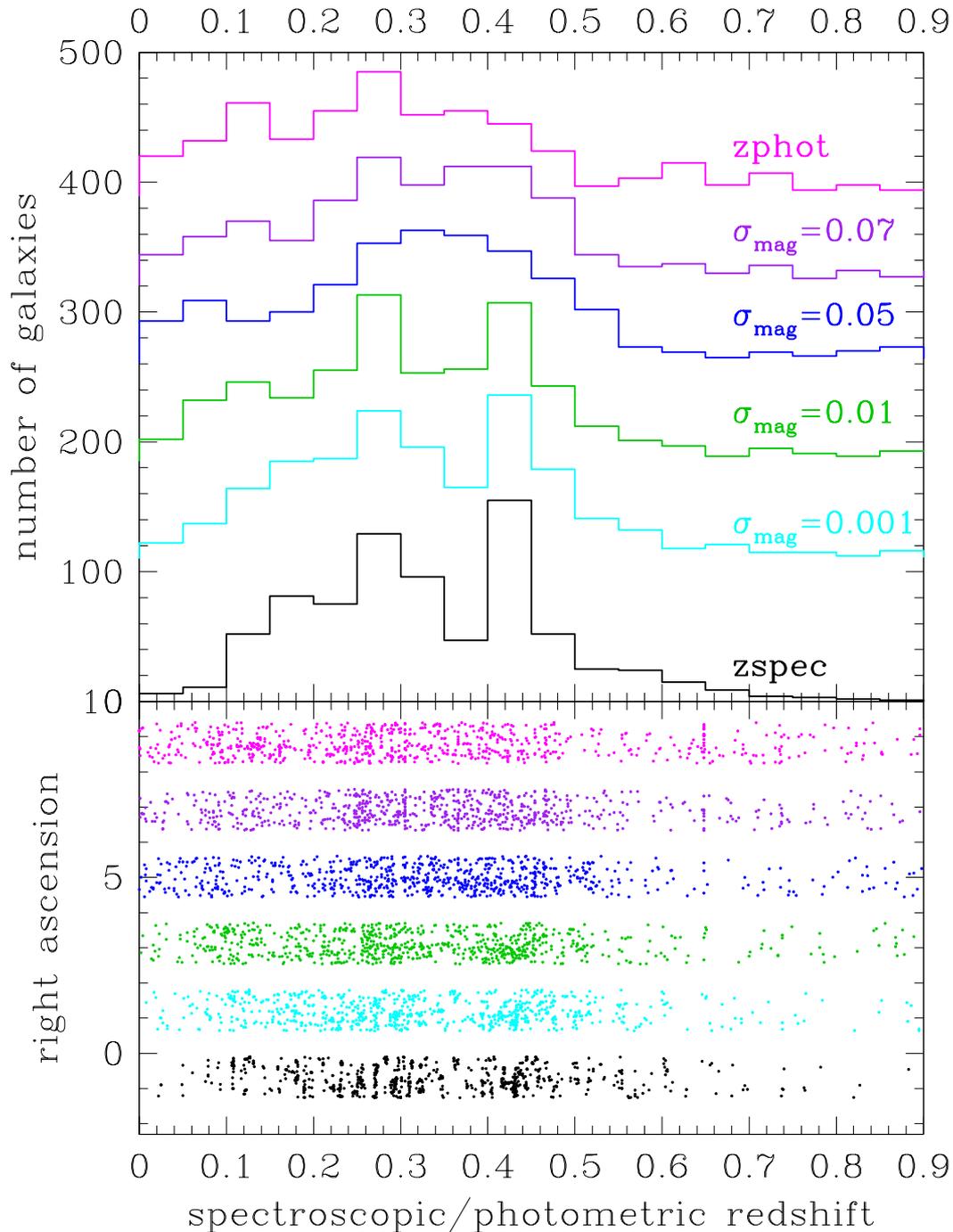


FIG. 4.4 – En bas, la répartition en ascension droite et décalage spectral de différents échantillons de galaxies obtenus à partir du relevé ESO-Sculpteur, en haut, les histogrammes des distributions en décalage spectral correspondants. La distribution en noir est celle observée dans le relevé spectroscopique ESO-Sculpteur. La distribution du haut (en magenta) est celle des décalages photométriques déduits de la photométrie optique $B_J V_J R_c$ du relevé. Les autres courbes sont obtenues en introduisant dans la photométrie optique synthétique “parfaite” (déduite par ZPEG en utilisant les décalages spectroscopiques) une dispersion Gaussienne des magnitudes d’écart-type σ_{mag} .

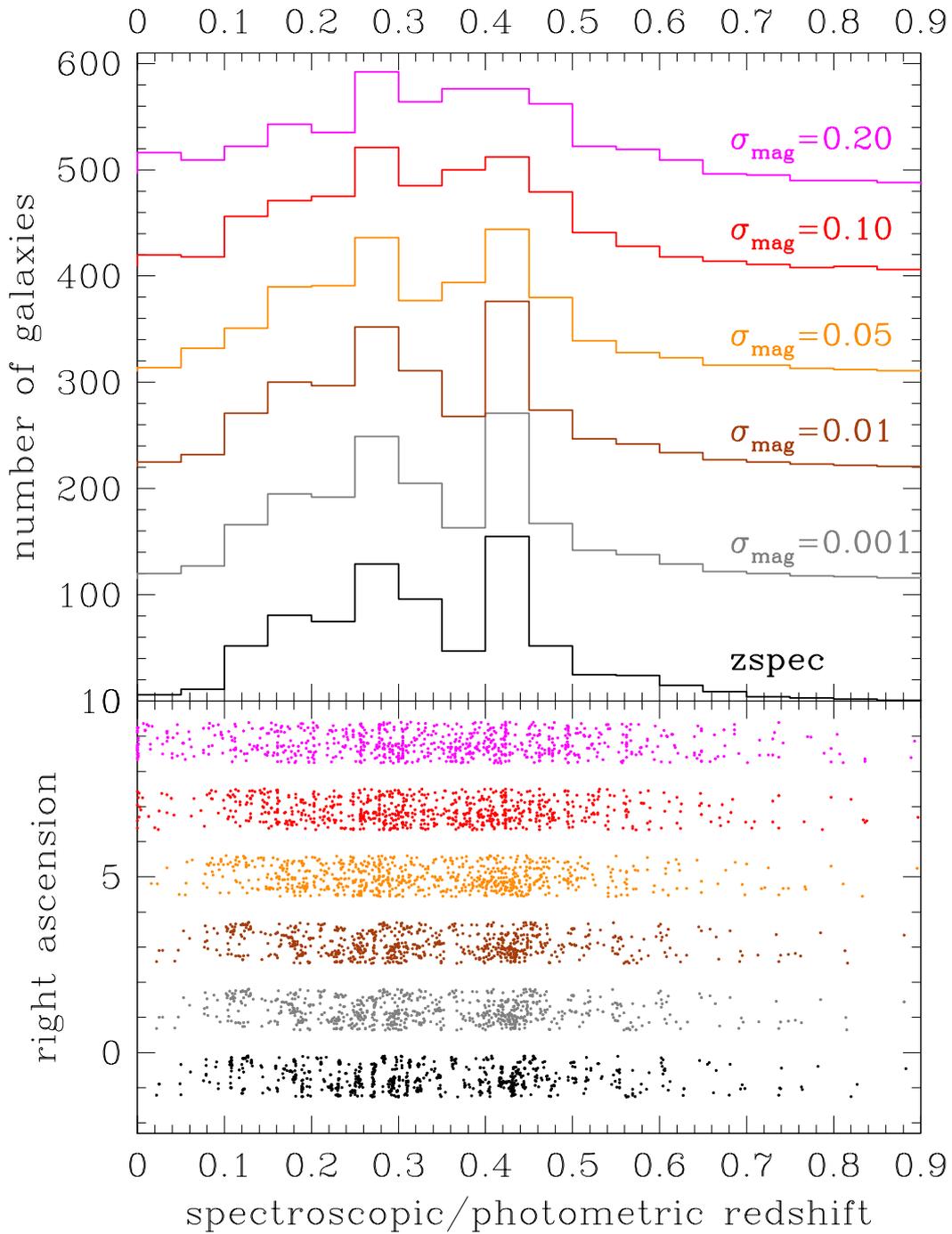


FIG. 4.5 – Même chose que dans la Fig. 4.4, en utilisant les photométries UV-optique $U_J B_J V_J R_c$ et infrarouge $I_c J H K$ synthétiques “parfaites” pour les distributions autre qu’en noir. Une dispersion Gaussienne est introduite dans les magnitudes optiques, UV et infrarouge d’écart-type σ_{mag} .

Fig. 4.3). On remarque en outre que l’extension en décalage spectral $\Delta z \simeq 0.5$ des grandes fluctuations de densité mises en évidence dans la Sect. 3.6, est supérieure d’au moins un facteur 7 à la précision des décalages vers le rouge nécessaires à leur détection : $\sigma_z \simeq 0.07$ avec l’optique uniquement, et $\sigma_z \simeq 0.02$ avec de surcroît l’UV et l’infrarouge proches (voir ci-dessus et Sect. 4.2). D’où la nécessité des simulations réalistes présentées ici.

4.4 Comparaison des types spectraux

Par ailleurs, je compare la classification spectrale du relevé ESO-Sculpteur avec celle fournie par ZPEG. On rappelle que les types spectraux furent obtenus par projection des spectres de Kennicutt (1992) dans l’espace des composantes spectrales principales des spectres (voir Sect. 2.5). Ici, l’ajustement par moindres-carrés des scénarios des différents types du modèle PÉGASE.2 fournit, lorsqu’on utilise la valeur mesurée du décalage vers le rouge “spectroscopique”, le meilleur ajustement de spectre synthétique, et par conséquent le type spectral au sein du modèle. Le panneau de gauche de la Fig. 4.6 montre les types ZPEG ainsi obtenus (et notés “types spectro-photométriques”) en comparaison avec les types spectraux provenant de la classification spectrale.

On observe dans ce graphe une grande dispersion de la mesure des types, en particulier pour les types spectraux Sbc et Sc, même si leur type ZPEG moyen est proche du type spectral, comme indiqué par la ligne pointillée. En outre, des déviations systématiques sont visibles dans les valeurs moyennes, les plus marquantes apparaissant pour les types spectraux Sa et Sb : les type ZPEG de ces objets sont plus précoces. On remarque aussi une forte asymétrie (rendue visible par un décalage important entre les courbes des types ZPEG moyens et médians) pour les types spectraux Sc, Sd et Sm, qui s’accompagne d’un étalement des types ZPEG jusqu’aux types spiraux les plus précoces (Sa). Cela implique que les distributions d’énergie spectrale obtenues par la photométrie du relevé ESO-Sculpteur sont plus rouges, et plus bleues que celles obtenues par spectroscopie pour les galaxies de types Sa-Sb, et Sc-Sd resp.

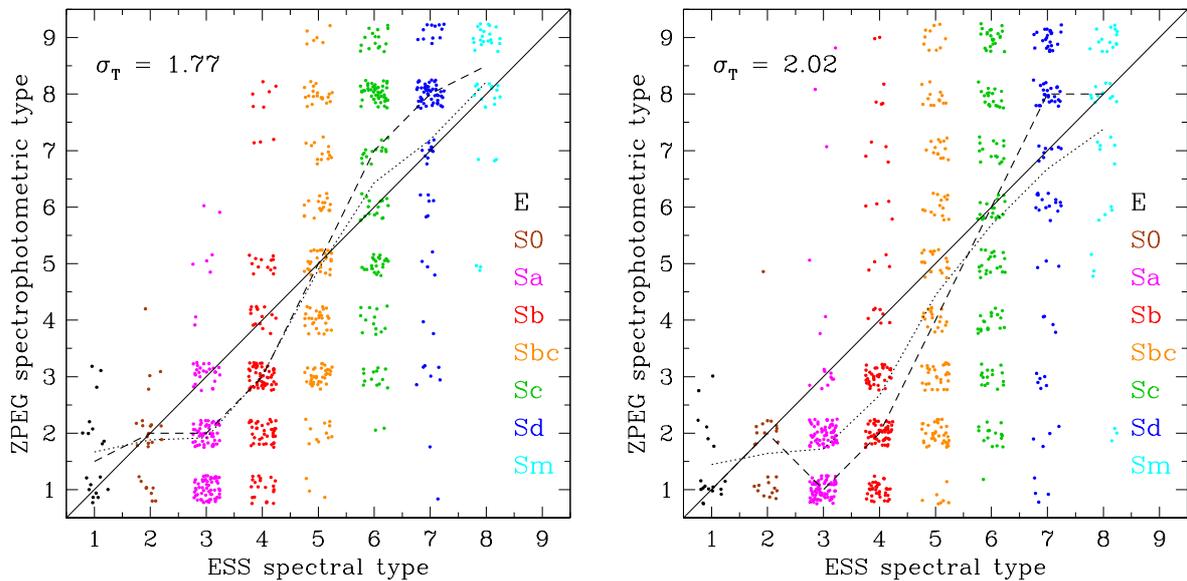


FIG. 4.6 – A gauche, la comparaison des types spectraux du relevé ESO-Sculpteur (notés ESS) avec les types spectro-photométriques mesurés par ZPEG à partir de la photométrie B_J V_J et R_c et des décalages vers le rouge spectroscopiques. A droite, la même chose en n’utilisant pas la connaissance a priori des décalages spectroscopiques. Dans les deux panneaux, la ligne pointillée montre le type spectro-photométrique moyen mesuré pour chaque type spectral, et la ligne pointillée le type médian. Les valeurs entières des types sont dispersées afin de faire apparaître la densité de points.

Le panneau de droite de la Fig. 4.6 montre que lorsque l’on n’utilise pas la connaissance des décalages

vers le rouge spectroscopiques pour l'ajustement par ZPEG, on obtient des types spectro-photométriques un peu plus dispersés, et avec des déviations systématiques plus importantes, notamment pour les types spectraux Sa, Sb et Sbc. Mais l'effet dominant demeure la différence entre les distributions en énergie spectrale obtenues à partir de la photométrie et de la spectroscopie, comme le montre la comparaison avec le panneau de gauche.

Les origines de ces différences sont diverses. D'une part, la dispersion et les effets systématiques sur la calibration en flux des spectres de fentes intervient. En outre, on montre dans la Sect. 3.3 de la Partie II que l'orientation variable des galaxies conduit à un rougissement et à une dispersion importante des types spectro-photométriques. Ces effets affectent forcément la spectroscopie de fente des objets, qui souffre de surcroît de biais d'ouverture: les objets qui ont des composantes de bulbe et de disque aux couleurs (et donc spectres) différents, produisent des spectres variables selon l'orientation de la fente par rapport au grand axe de la galaxie.

Nous avons vu dans la Sect. 2.5 qu'il y a un rougissement des couleurs synthétiques calculées à partir des spectres par rapport à la photométrie $B_J V_J R_c$ du relevé (en partie expliqué par le défaut de sensibilité des CCD dans le bleu, en partie par la réfraction atmosphérique différentielle). Un rougissement des spectres devrait conduire à des types spectraux plus précoces, donc inversement on s'attend à ce que les types spectro-photométrique par ZPEG soient plus tardifs que les types spectraux. On observe cela uniquement pour les types tardifs. Pour les types précoces, l'effet est inversé.

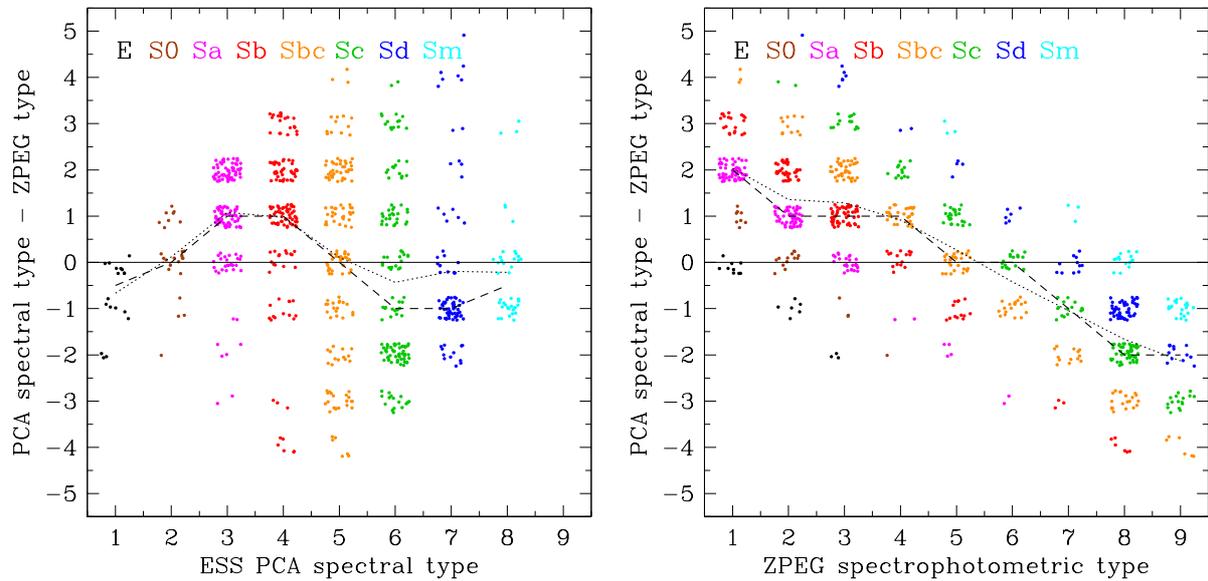


FIG. 4.7 – La différence entre le type spectral du relevé ESO-Sculpteur (noté ESS), et le type spectro-photométrique dérivé avec ZPEG à partir de la photométrie $B_J V_J$ et R_c et des décalages vers le rouge spectroscopiques, en fonction, à gauche, du type spectral, et à droite, du type ZPEG. Dans les deux panneaux, la ligne pointillée montre la moyenne des différences de types, pour chaque type (spectral ou spectro-photométrique), et la ligne pointillée le type médian. Les valeurs entières des types sont dispersées afin de faire apparaître la densité de points.

La différence entre les deux classifications (spectrale et spectro-photométrique) est montrée dans la Fig. 4.7, en fonction de l'une ou l'autre classification (selon le panneau). Ces deux graphes illustrent la complexité des divers biais intervenant dans une classification spectrale. L'effet systématique le plus marqué se produit lorsqu'on examine la différence de type en fonction du type spectro-photométrique, avec une dépendance presque linéaire entre la différence moyenne de type et le type ZPEG. Il est possible qu'un décalage entre les échelles de classification spectrale et spectro-photométrique conduise à des valeurs de différence de classe alternativement positives et négatives. Une véritable interprétation me semble cependant difficile sans avoir recours à des simulations.

4.5 Effets dus à l'orientation des fentes

Nous avons vu dans la Sect. 2.5 que les effets de réfraction différentielle peuvent expliquer que les couleurs synthétiques calculées à partir des spectres soient plus rouges que la photométrie $B_J V_J R_c$ du relevé. L'on doit aussi prendre en compte les biais d'ouverture résultant de la spectroscopie de fente pour le relevé ESO-Sculpteur. Celle-ci fut obtenue en centrant des fentes longues de 1.2 à 1.8 seconde d'arc de large sur les objets. Comme les fentes échantillonnent une proportion plus faible des parties externes d'une galaxie, on peut s'attendre à ce que les gradients de couleur des galaxies affectent la spectroscopie. Ceux-ci se matérialisent par des couleurs plus bleues de quelques dixièmes de magnitude en allant vers l'extérieur des galaxies (voir aussi Sect. 3.5 de la Partie III), et pour tous les types de galaxies (Segalovitz 1975; Boroson & Thompson 1987; Vader et al. 1988; Balcells & Peletier 1994). Cet effet va aussi dans le sens d'un rougissement des spectres de fentes, et par conséquent d'une classification plus précoce des spectres par rapport aux distributions d'énergie spectrale intégrées sur tout le profil des objets.

Un effet de second ordre est celui de l'orientation de chaque fente par rapport au grand axe de la galaxie observée. Pour examiner si un tel effet existe dans le relevé ESO-Sculpteur, j'ai utilisé SExtractor et le paramètre "THETAWIN_J2000" pour mesurer l'angle de position du grand axe des ellipses ajustées au profil des objets, dans les trois filtres B_J , V_J et R_c du relevé. Les mesures en B_J étant affectées par un niveau de bruit important, je ne les prends pas en compte dans cette analyse. J'ai ensuite comparé cet angle avec l'angle d'orientation des fentes que j'avais stocké dans la base de données, et j'en ai déduit un angle relatif entre le grand axe et la fente compris entre -90° et 90° . Le panneau de gauche de la Fig. 4.8 indique un bon accord entre les mesures d'angle des grands axes pour un même objet dans les filtres V_J et R_c .

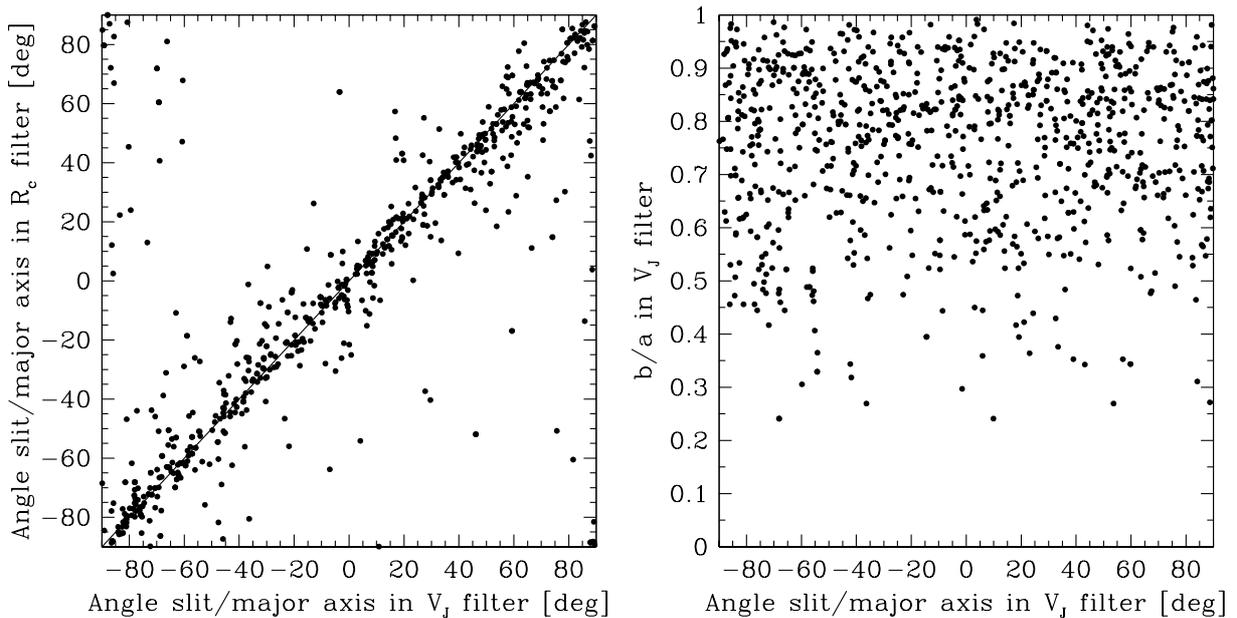


FIG. 4.8 – A gauche, la comparaison des angles relatifs entre le grand axe des galaxies et la fente utilisée pour la spectroscopie. A droite, la distribution des rapports d'axes en fonction de l'angle relatif entre le grand axe des galaxies et la fente utilisée pour la spectroscopie.

La Fig. 4.9 montre pour trois intervalles de la différence entre l'angle de la fente (noté θ_{slit}) et l'angle du grand axe des galaxies (noté PA_{gal}), la fraction de galaxies réparties selon trois intervalles de différence entre le type spectral et le type spectro-photométrique. On montre les résultats dans les filtres R_c et V_J , et pour la moitié brillante et faible de chaque échantillon, définie par $R_c = 20$ et $V_J = 21$ resp. Chaque histogramme montré contient entre 70 et 150 galaxies, et les barres d'erreur ne prennent en compte que l'incertitude de Poisson liées à ces nombres d'objets. Par ailleurs, on ne considère dans les graphes que

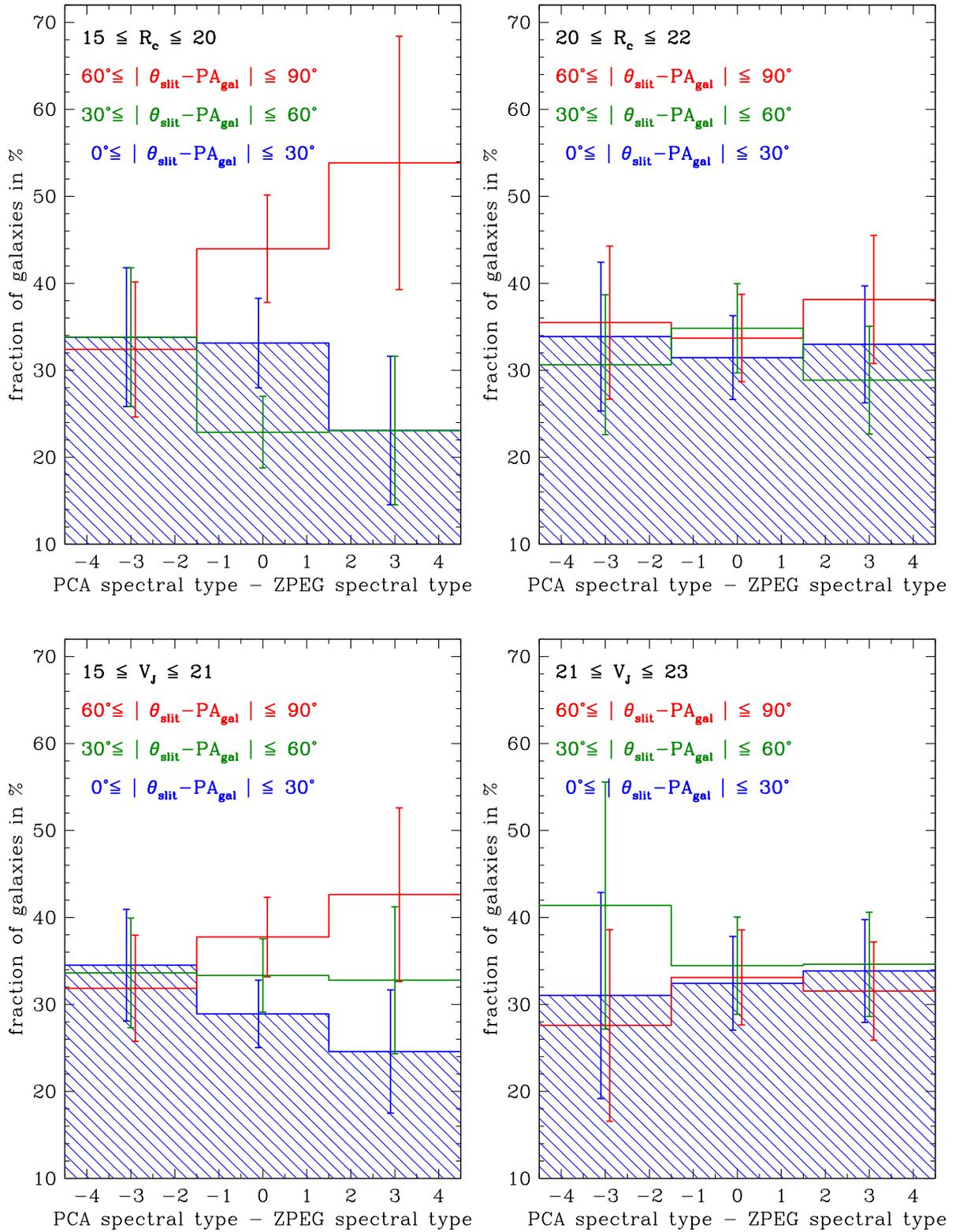


FIG. 4.9 – La fraction des galaxies du relevé ESO-Sculpteur observées en spectroscopie avec différentes orientations de fente (θ_{slit}) relativement au grand axe de l'objet (PA_{gal}), ceci en fonction de la différence entre les types spectraux et spectro-photométriques. En haut, en utilisant les orientations des galaxies dans le filtre R_c en bas, dans le filtre V_j . A gauche on examine environ la moitié des galaxies les plus brillantes de l'échantillon, à droite la moitié la plus faible.

les galaxies ayant un rapport d'axe $b/a \leq 0.9$, car les angles d'orientation des galaxies avec des rapports d'axes proches de l'unité sont affectés par de grandes incertitudes, et n'ont pas d'intérêt dans l'analyse effectuée ici. On constate dans le panneau de droite de la Fig. 4.8 qu'un grand éventail de rapports d'axes b/a et d'angles entre la fente et le grand axe des objets sont disponibles pour le relevé ESO-Sculpteur.

On remarque dans les panneaux de gauche de la Fig. 4.9 un effet à 2σ concernant les sous-échantillons de galaxies brillantes, c'est à dire les plus grandes angulairement : les fentes orientées perpendiculairement au grand axe des galaxies observées (à $\pm 30^\circ$) conduisent préférentiellement à un type spectral plus tardif, c'est-à-dire plus bleu, alors qu'il y a un déficit d'objets dans ce même intervalle d'écart de type lorsque les fentes sont alignées avec le grand axe (à $\pm 30^\circ$). J'interprète cet effet comme un résultat lié aux gradients de couleur, mais affectant préférentiellement les galaxies spirales : pour une galaxie spirale inclinée, une fente placée perpendiculairement au grand axe échantillonnera une fraction comparativement plus faible du bulbe et plus grande du disque qu'une fente alignée avec le grand axe. Le disque étant plus bleu que les bulbes (voir Sect. 3.5 de la Partie II), il en résulte un type spectral plus tardif. On ne peut malheureusement pas examiner l'effet pour les galaxies spirales uniquement, le nombre d'objets étant trop faible. Cet effet est présent dans les deux filtres R_c et V_J (avec un effet plus marqué en R_c), attestant d'un signal réel. En revanche, l'effet n'est pas présent dans les intervalles de magnitude plus faible, et ceci dans les deux filtres R_c et V_J . Les galaxies de magnitude $\gtrsim 20 - 21$ sont ainsi trop petites angulairement pour être affectés par ces biais d'ouverture.

Cette analyse fournit une illustration supplémentaire des biais affectant la cohérence dans la détermination des types spectraux des galaxies lointaines. On montre dans la Sect. 3.4 de la Partie II que selon le mode de séparation par type spectral utilisé, on obtient des fonctions de luminosité variables, et toutes distinctes des fonctions génériques par type morphologique.