



LES NÉBULEUSES AUTOUR D'ÉTOILES WOLF-RAYET

ÉTOILES WR MASSIVES

Des étoiles massives en fin de vie passent du stade de supergéante rouge (RSG) ou de variable bleue lumineuse (LBV) pour devenir le siège de « vents » violents, entraînant une perte de masse importante. Ces étoiles de type Wolf-Rayet (WR) ont des propriétés particulières :

- leur spectre est caractérisé par de larges raies d'émission ;
- elles sont entourées d'une grande enveloppe. Ces larges enveloppes sont souvent appelées « Ring nebula » quoique leur morphologie ne soit que rarement en forme d'anneau. Peu d'observations de ces enveloppes étendues sont disponibles.

LES CLASSES SPECTRALES DES ÉTOILES WR

Selon son degré d'évolution dans la phase WR, l'étoile va présenter différentes raies, définissant sa classe spectrale :

- classe WN : l'étoile a expulsé ses couches externes d'hydrogène et présente des raies d'émission de l'azote et de l'hélium (produits du cycle CNO) ;
- classe WC : les produits de fusion de l'hélium deviennent visibles et l'étoile présente des raies d'émission du carbone ;
- classe WO : classe plus rare, l'étoile présente des raies d'émission de l'oxygène.

Selon la température de l'étoile, son spectre présentera des raies d'éléments plus ou moins faciles à exciter/ioniser :

- étoiles WC 7, 8, 9, 10 = à température relativement basse, donc seules les raies du carbone sont ionisées/excitées et le spectre apparaît riche en raies de C d'où le nom WC ;
- étoiles WO 2, 3, 4 = à température élevée, donc les raies de l'oxygène (plus difficile à ioniser/exciter) apparaissent, d'où le nom WO.

LES ÉTOILES WOLF-RAYET AU CENTRE DES NÉBULEUSES PLANÉTAIRES

Le phénomène WR n'est pas réservé aux

étoiles massives. On distingue deux populations, les WR massives de Population I (> 20 masses solaires) et les [WR] de faibles masses de Population II (< 8 masses solaires, typiquement noyaux de NP), notées entre crochets. Les WR massives ont de bonnes chances de finir en supernova, tandis que les [WR] finiront plutôt en naine blanche. Sur le plan spectral, rien ne différencie *a priori* les deux populations. Seule la luminosité de l'étoile permet de statuer sur sa masse (en connaissant sa distance). Les étoiles centrales de NP (ECNP) ont une température élevée et présentent souvent un spectre continu (type O). Mais le spectre de certaines ECNP montre de larges raies d'émission : ces étoiles sont de type [WR]. Sur les 2 400 NP recensées, je compte 350 étoiles centrales connues, dont seulement 14 % présentent le phénomène WR, soit ~70 [WR] connues.

La morphologie des nébuleuses

Des différences notables sont à mettre en évidence dans la morphologie des petites

nébuleuses générées par des étoiles [WC], et celles plus grandes liées aux noyaux [WO].

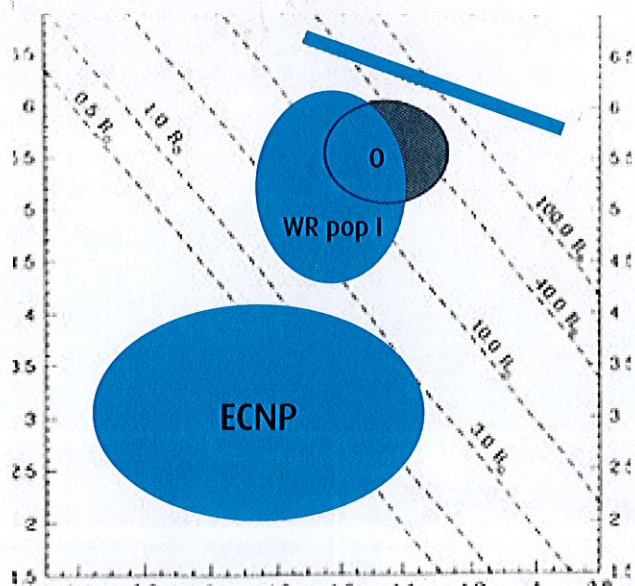
Les nébuleuses à noyau [WC] sont généralement de très petites dimensions (début d'expansion de la nébuleuse, avec une étoile centrale encore de température modérée). Les détails du cœur de ces nébuleuses sont donc très difficiles d'accès aux amateurs, mais de merveilleuses images du *HST* sont disponibles :

NGC 1501, NGC 6369, NGC 2452, Cn 1-5, Hb 4.

Ces NP peuvent toutefois être entourées d'un vaste halo – sans doute résidu de l'étape AGB (ex. : Cn 1-5), halo qui est accessible aux instruments amateurs de haut niveau. Pour la plupart de ces NP, il n'existe à l'heure actuelle aucune image à grand champ permettant de mettre en évidence une telle structure externe.

PROJET COLLABORATIF AMATEURS-PROFESSIONNELS

Un projet est actuellement en cours pour tenter de réaliser une campagne d'observation de ces NP, le but étant dans un premier temps de sélectionner parmi les 70 NP à noyau [WR] connues celles qui pourraient présenter un halo. Les images dans l'infrarouge moyen peuvent donner quelques indications, mais l'idéal serait de réaliser une campagne complète d'observation pour tenter d'obtenir une valeur statistique.

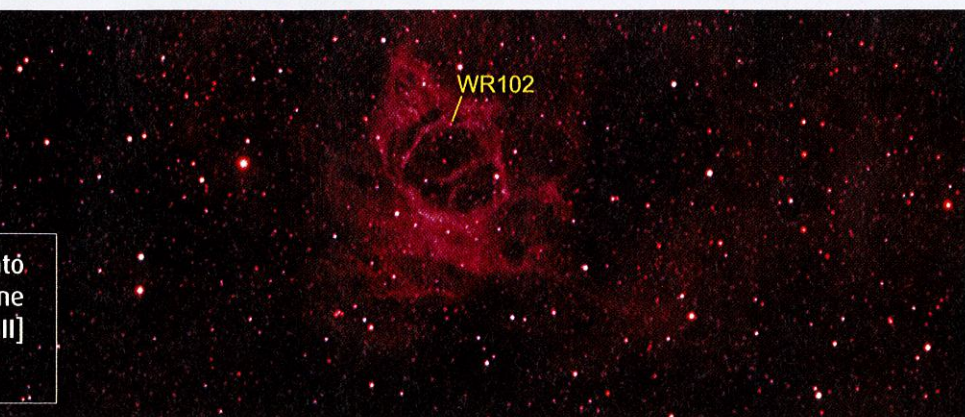
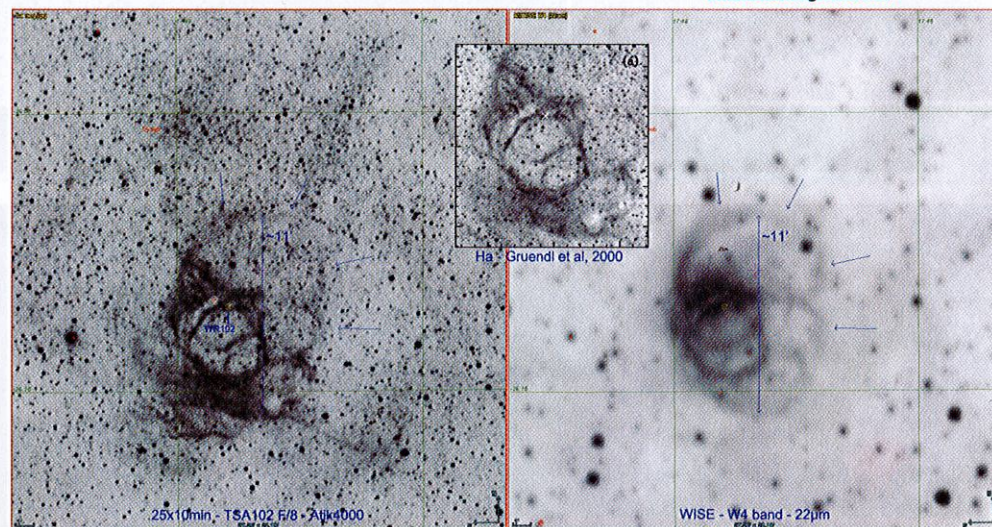


Position des 2 types d'étoiles WR sur le diagramme HR. (Yves Grosdidier)

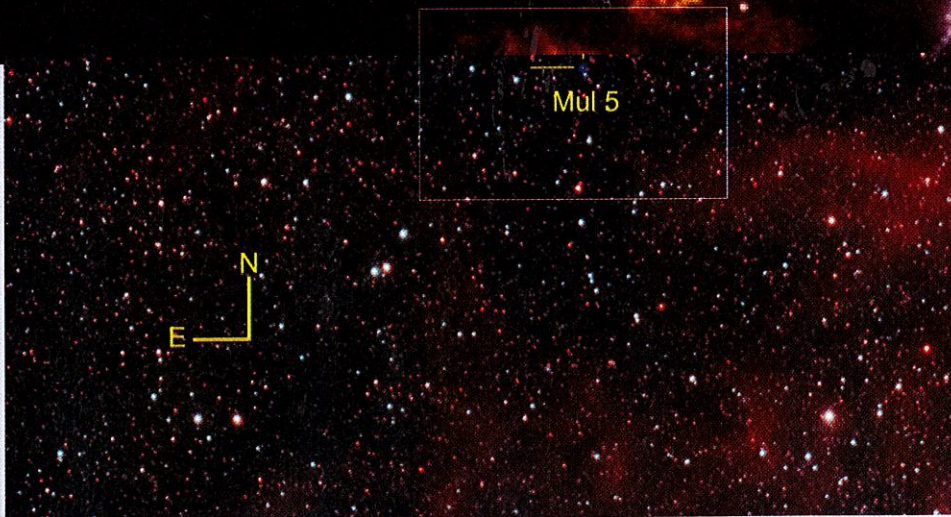
Nébuleuses observées par Lionel Mulato autour des WR

L. Mulato | astronome amateur

WR102 Ring Nebula WR102 est une des rares étoiles WO massives connues. La nébuleuse qu'elle génère a d'abord été identifiée comme rémanent de supernova (G2.4+1.4). La structure de la bulle est complexe et se propage dans un milieu très dense. Sur l'image Halpha, l'extension nord-ouest de la nébuleuse semble bien liée à WR102, comme le suggère l'image dans l'IR moyen (bande W4 de WISE, 22 μ m). La bulle est décrite comme une sorte de cloque sur un nuage dense (« G2.4+1.4 : an extraordinary mass-loss bubble driven by an extreme WO star », Dopita *et al.*, 1991).

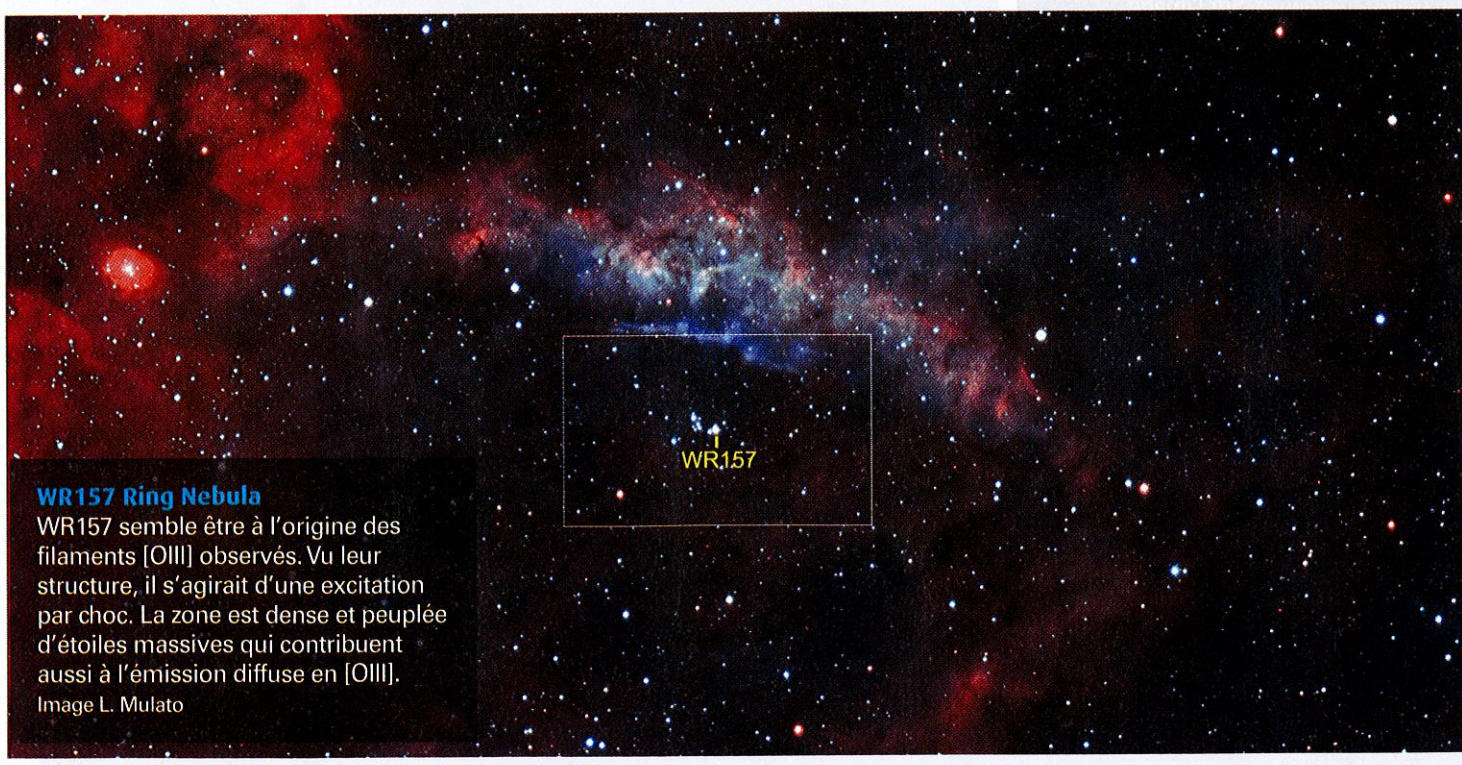
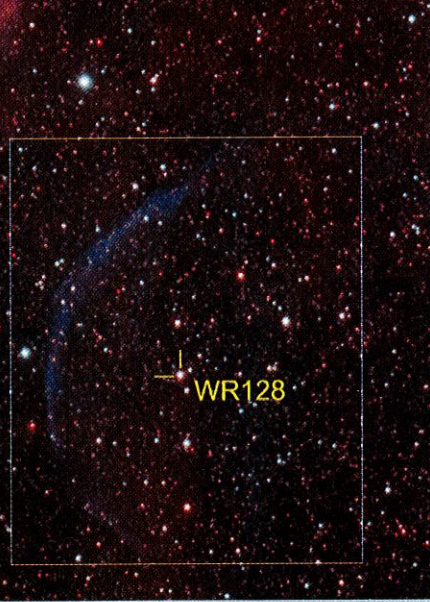
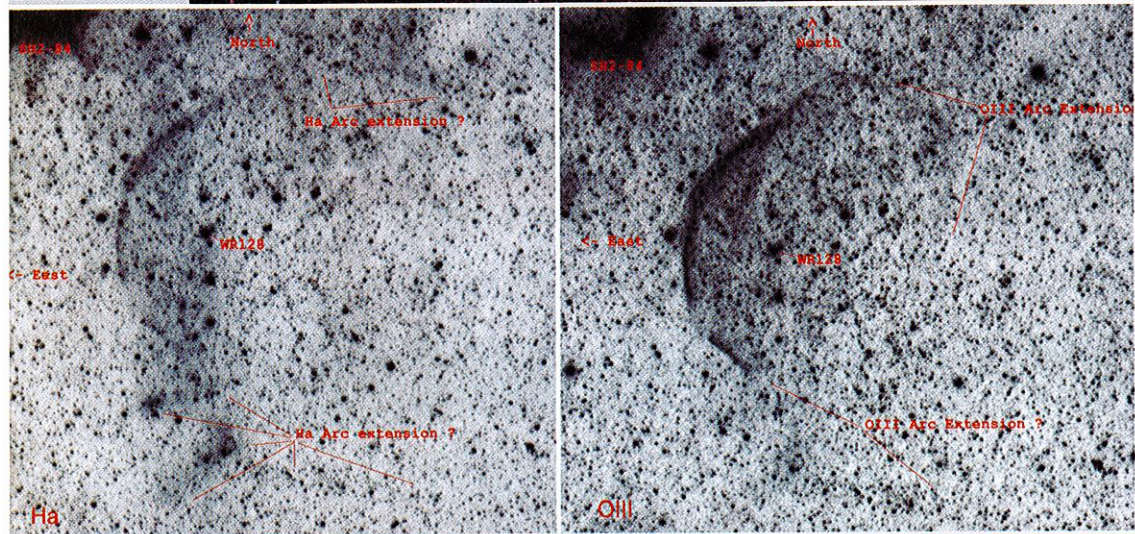


Les images ont été acquises par L. Mulato avec une Takahashi TSA 102 mm F/8, une CCD ATIK 4000, des filtres Halpha et [OIII] de 5 nm.



WR128 Ring Nebula

L'étoile WR128 génère un arc d'[OIII] sur sa partie est. Par rapport à la seule image professionnelle disponible de cet objet (visible dans l'article « A new survey of nebulae around galactic Wolf-Rayet stars in the northern sky », G. J. Miller *et al.*, 1992), cette image grand champ permet de mettre en évidence de probables extensions de la nébuleuse au nord au sud et à l'ouest de l'étoile. Image L. Mulato



WR157 Ring Nebula

WR157 semble être à l'origine des filaments [OIII] observés. Vu leur structure, il s'agirait d'une excitation par choc. La zone est dense et peuplée d'étoiles massives qui contribuent aussi à l'émission diffuse en [OIII].
Image L. Mulato



WR130

WR130 Ring Nebula

L'association de l'anneau avec l'étoile WR130 est confirmée par une étude dans le domaine radio (« A DRAO and VLA Investigation of the Environment of WR 130 » S. Cichowolski, 2001). Aucune émission [OIII] n'est détectée. WR130 n'occupe pas la place centrale de l'anneau, ce qui peut s'expliquer par plusieurs raisons: effet de perspective, mouvement propre de l'étoile par rapport à la nébuleuse, propagation de la nébuleuse dans un milieu non homogène. Image L. Mulato

WR134 Ring Nebula

WR134 est entourée d'un bel arc en [OIII] au nord et à l'ouest de l'étoile. Des filaments [OIII] sont aussi perceptibles à l'est et au sud, formant ainsi une véritable bulle autour de l'étoile. Notons que cette image de WR134 a conduit à la découverte d'une toute petite nébuleuse nichée tout près de WR134. Baptisée Mul 4 (image du NOAO ci-contre), cette petite nébuleuse correspondrait plutôt à une région HII qu'à une nébuleuse planétaire. Image L. Mulato



Mul 4

WR134

WR152 Ring Nebula

WR152 et WR153 nichent dans un milieu très dense (SH2-132). L'émission [OIII] autour de WR152 ne semble pas être issue d'une véritable Ring Nebula. Il s'agirait plutôt d'un nuage moléculaire excité par le rayonnement UV de WR152 et de quelques autres étoiles de type O. WR153 est aussi entourée de nébulosités ne présentant pas de structure filamenteuse en [OIII]. ImageL. Mulato



Découverte d'une nouvelle nébuleuse planétaire : Mul 5

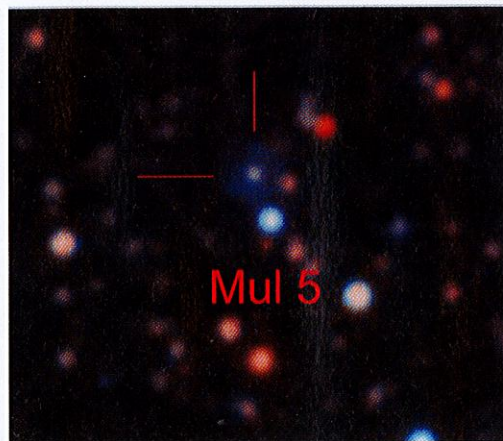
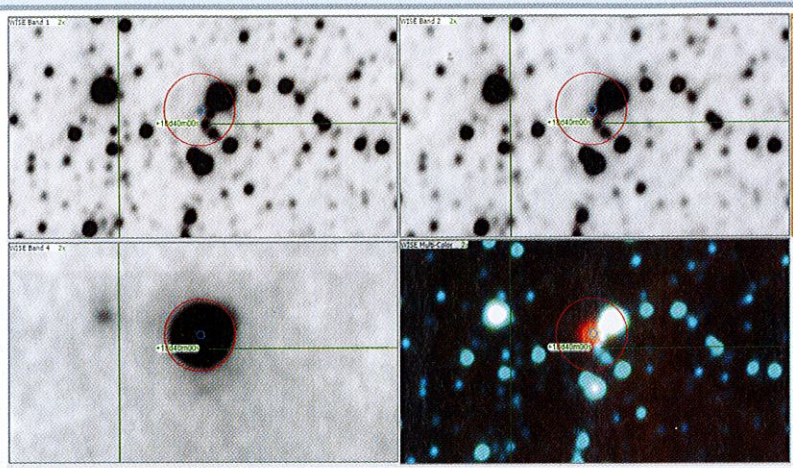
Découverte de Mul 5 : tout en haut en bordure de champ de l'image de WR 128, se trouve une petite gemme bleue, émettant principalement dans [OIII] et présentant une étoile centrale. Des images dans les diverses bandes de WISE confirment la découverte par Lionel Mulato.

Mul 5 : 19 49 53,70 – 18 40 15,1 (J2000)

TSA 102 mm F/8 - ATIK4000

H α 5 nm : 8 x 20 min bin 1 x 1

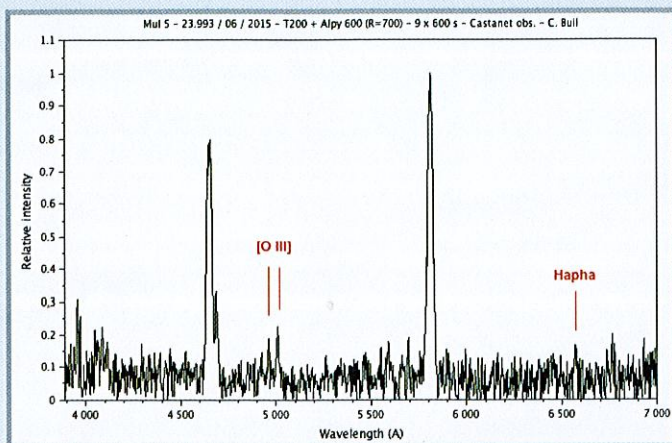
OIII 5 nm : 9 x 20 min bin 1 x 1



Le spectre de Mul 5 a été obtenu par Christian Buil avec un Alpy 600 monté sur un Newton de 200 mm f/5.



WO	FWHM	O VIII	O VII	O VI	O VI	O V	C IV	C IV	C IV	He II	He II	Other
	C IV	6068	5666	5290	3822	5590	7060	4650	5470	5412	4686	lines
WO1	33 ± 5	20 ± 8	>25	>80	>1400	-	35 ± 20	300 ± 100	35 ± 5	45 ± 15	500 ± 200	O v-6740 present
WO2	32 ± 3	6 ± 1	10;	48 ± 2	1000 ± 200	-	18 ± 4	270 ± 60	23 ± 2	20 ± 4	300 ± 30	for all [WO] types
WO3	37 ± 6	2 ± 1	8 ± 6	20 ± 5	250 ± 40	27 ± 5	15 ± 4	140 ± 60	14 ± 2	15 ± 4	130 ± 30	(rel.int. 2 to 5);
WO4	52 ± 6	-	1	3 ± 1	10 ± 6	9 ± 5	3.5 ± .5	55 ± 10	4 ± 2	4 ± 2	25 ± 15	5696 (<1) for [WO4]
WO4pec	80 ± 2	-	1.5 ± 1	3 ± 1	10 ± 6	4 ± 1	3 ± 1	35 ± 10	4 ± 2	3 ± 2	30 ± 20	and [WO4pec]



Le spectre montre les brillantes raies stellaires de CIV à 4 650 et 5 806 Å – avec une contribution de HeII à 4 686 Å.

Agnès Acker classe l'étoile comme étant de type [WO 4] avec une température d'environ 70 000 K (d'après les critères qu'elle a définis dans l'article paru en 2003, *Astronomy & Astrophysics* 403, p. 659–673, extrait du tableau joint pour les classes [WO] avec l'intensité de la raie CIV-5806 = 100).

POUR EN SAVOIR PLUS

- « A morphological diagnostic for dynamical evolution of Wolf-Rayet bubbles », R. A. Gruendl *et al*, 2000.
- « The VIII catalogue of galactic Wolf-Rayet stars », Karel Van der Hucht, 2000.
- « Quantitative classification of WR nuclei of planetary nebulae », Agnès Acker et Coralie Neiner, 2003.