

Abondance relative de l'azote dans quatre nébuleuses galactiques Impact sur les énergies renouvelables à partir de l'étoile Soleil (NGC 2818, He 2-130, NGC 2346, NGC 3132)

A. Kherous et B. Benyoucef*

Unité de Recherche Matériaux et Energies Renouvelables
Université Abou bakr Belkaid, Tlemcen, Algérie

(reçu le 10 Décembre 2006 – accepté le 25 Mars 2007)

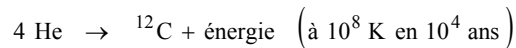
Résumé - La détermination de l'abondance en éléments plus lourds que l'hydrogène que l'on trouve à l'intérieur d'une nébuleuse planétaire (N.P) est essentielle à une meilleure compréhension des processus lui ayant donné naissance. En effet, ces éléments comme l'azote (N), l'oxygène (O), le carbone (C) ont été injectés dans l'enveloppe d'hydrogène de l'étoile progéniteur telle que le soleil lorsque cette dernière se trouvait sur la branche asymptotique des géantes (phase AGB), juste avant l'éjection de la nébuleuse. Cette étude permet de relier l'abondance de certains éléments comme l'azote produite par nucléosynthèse, la masse du progéniteur et la morphologie de la nébuleuse planétaire (Peimbert, 1998; Peimbert et Torrès-Peimbert, 2003). Nous présenterons quelques aspects de cette étude avec NGC 2818, He 2-130, NGC 2346, NGC 3132. L'intérêt d'une telle étude revêt un impact certain dans la vie biologique pour les satellites de ces étoiles. Cette contribution à l'étude des nébuleuses a des conséquences appréciables dans le domaine des énergies renouvelables.

Abstract - The determination of abundance in elements heavier than hydrogen that one finds inside a planetary nebula (N.P) is essential with a better comprehension of the process having given him birth. Indeed, these elements as the nitrogen (N), oxygen (O), carbon (C) were injected into the hydrogen envelope of the star progenitor such as the sun when the latter was on the asymptotic branch of the giants (phase AGB), right before the ejection of nebula. This study makes it possible to connect the abundance of certain elements as the nitrogen produced by nucleosynthesis, the mass of the progenitor and the morphology of planetary nebula (Peimbert, 1998; Peimbert and Torrès-Peimbert, 2003). We will present some aspects of this study with NGC 2818, He 2-130, NGC 2346, NGC 3132. Interest of such a study present an unquestionable impact in the biological life for the satellites of these stars. This contribution to the study of nebulas has appreciable consequences in the field of renewable energies.

Mots clés: Abondance - Raie Ha - Densité électronique - Température - Etoile - Soleil.

1. INTRODUCTION

Les étoiles ayant consommé la majeure partie de l'hydrogène de leur coeur en le transformant en hélium suivant la séquence: $4\text{H} \rightarrow {}^4\text{He} + \text{énergie}$ (en 10^4 ans à 410^6 K) quittent la séquence principale pour devenir des géantes rouges. Il s'en suit alors un phénomène de contraction du cœur sous la pression de gravitation. La température augmente à 10^8 K; alors la fusion de l'hélium commence violemment par le phénomène appelé 'Flash de l'hélium' qui transforme l'hélium en carbone et en azote suivant la séquence:



Le phénomène de nucléosynthèse se poursuit à chaque fois que la majeure partie de l'élément qui fusionne ait été consommée avec des températures et pressions de plus en plus en plus grandes jusqu'à la formation du fer, qui lui, ne peut pas fusionner. Par ces phénomènes de fusions

* b_benyoucef@mail.univ-tlemcen.dz

successives, les restes d'éléments non brûlés, qui forment des couches concentriques autour du cœur, vont être éjectés formant ainsi des nébuleuses planétaires.

2. ABONDANCE RELATIVE DE L'AZOTE

Nous calculerons l'abondance relative de l'azote, à partir des observations réalisées avec l'I.D.S (Image Dissector Scanner) de l'ESO (European South Observatory au Chili) et du I.P.C.S (Image Photon Counting System) du CFHT (Canada France Hawaii Telescop) à Hawaii. Ce calcul nécessite la connaissance de l'intensité des raies de $H\alpha$ et $[NII]\lambda 6584$. En effet, l'intensité de la raie $H\alpha$ peut être calculée à partir de la formule (1):

$$I(H\alpha) = 3,2010^{-21} N_e^2 T_e^{-1} \quad (1)$$

dans laquelle N_e désigne la densité électronique et T_e représente la température électronique de la nébuleuse.

Cette formule a été obtenue par Pottasch à l'aide d'une méthode approchée. De même, on peut calculer l'intensité de la raie $[NII]\lambda 6584$ à partir de la formule (2) établie par R. Louise:

$$I(6584) = 5,1510^{-18} 10^{-95/10^{-4}T_e} T_e^{-1/2} N_e N(N^+) \quad (2)$$

dans laquelle $N(N^+)$ désigne le nombre d'ions N^+ par cm^3 .

L'abondance relative des ions N^+ par rapport aux ions H^+ est alors donnée par la formule (3):

$$x = \frac{N(N^+)}{N_e} = 6,2110^{-4} T_e^{-1/2} 10^{-95/10^{-4}T_e} \frac{I(6584)}{I(H\alpha)} \quad (3)$$

Compte tenu de la relation (3), l'abondance relative de l'azote par rapport à l'hydrogène sera alors déterminée à partir de la relation tirée de l'article de Torrès-Peimbert et Peimbert (1997):

$$\frac{N(N)}{N(H)} = \frac{N(N^+)}{N(H^+)} \times \frac{N(O)}{N(O^+)} \quad (4)$$

dans laquelle $N(O)$, $N(O^+)$ désignent respectivement le nombre d'atomes d'oxygène et d'ions O^+ par cm^3 . Néanmoins, ce calcul reste approximatif.

3. APPLICATIONS

3.1 NGC 2818

Compte tenu d'une température électronique voisine de 14000 K (Pottasch, 1984), l'abondance relative des ions N^+ par rapport aux ions H^+ est calculée à partir de la formule:

$$x = \frac{N(N^+)}{N(N_e)} = 2,499410^{-5} - \frac{I(6584)}{I(H\alpha)} \quad (5)$$

Les résultats sont donnés dans le tableau 1 et la variation de x suivant la direction N-S est représentée sur la figure 1.

La valeur moyenne $\left\langle \frac{N(N^+)}{N_e} \right\rangle$ vaut $5,38 \cdot 10^{-5}$, ce qui est compatible avec les résultats donnés dans l'article de Pottasch *et al.*, 1996.

On peut, en utilisant la méthode décrite précédemment, estimer l'abondance relative de l'azote; en effet, le tableau 2 de l'article de Torrès-Peimbert et Peimbert (1997) donne: $N(O^+) = 6,76 \cdot 10^{-5}$ et $N(O) > 2,13 \cdot 10^{-4}$.

Ceci entraîne $\left\langle \frac{N(N)}{N(H)} \right\rangle > 1,70 \cdot 10^{-4}$ et donc $\log N(N) > 8,23$. Cette valeur est double de la valeur $0,9 \cdot 10^{-4}$ considérée comme valeur moyenne (Pottasch *et al.*).

L'abondance relative de l'azote peut être également calculée partir de la relation:

$$\left\langle \frac{N(N)}{N(H)} \right\rangle > \left\langle \frac{N(N^+)}{N(H^+)} \right\rangle + \left\langle \frac{N(N^{2+})}{N(H^+)} \right\rangle \quad (6)$$

faisant intervenir les états d'oxydation possibles de l'atome d'azote.

Compte tenu de l'égalité $\frac{N(N^{2+})}{N(N^+)} = \frac{N(O^{2+})}{N(O^+)}$ généralement vérifiée (Pottasch *et al.*, 1996); on peut estimer le rapport à 2,130 d'après les valeurs données dans l'article de Torrès-Peimbert et Peimbert (1997).

Ceci donne $\left\langle \frac{N(N)}{N(H)} \right\rangle > 1,68 \cdot 10^{-4}$, résultat compatible avec la valeur trouvée précédemment.

Tableau 1: Calcul de l'abondance de l'ion N^+ à partir du rapport $\frac{I(6584)}{I(H\alpha)}$

suivant la direction N-S de la nébuleuse NGC 2818

$\Delta\alpha$	$\Delta\delta$	Rapport des raies	Abondance relative de l'azote
		$\frac{I(6584)}{I(H\alpha)}$	$x = \frac{N(N^+)}{N_e}$
0"	0"	1,59	$3,98 \cdot 10^{-5}$
0"	+ 4"	2,33	$5,84 \cdot 10^{-5}$
0"	+ 8"	3,09	$7,73 \cdot 10^{-5}$
0"	+ 12"	3,42	$8,54 \cdot 10^{-5}$
0"	- 4"	0,92	$2,30 \cdot 10^{-5}$
0"	- 8"	1,92	$4,80 \cdot 10^{-5}$
0"	- 12"	2,50	$6,25 \cdot 10^{-5}$
0"	- 16"	1,45	$3,63 \cdot 10^{-5}$

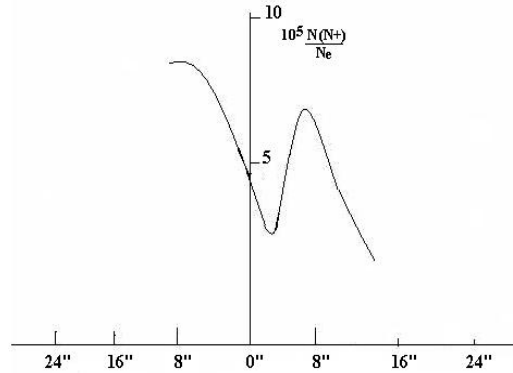


Fig. 1: Variation de la quantité $\frac{N(N^+)}{N_e}$ suivant la direction N-S de la nébuleuse NGC 2818

NGC 2818 est considérée de type I par Peimbert et Torrès-Peimbert (1983), elle est surabondante en hélium et en azote comme nous venons de le vérifier. La quantité $\frac{N(\text{He})}{N(\text{H})}$ vaut 0,143. En effet, 0,143 est supérieur à la valeur 0,125 généralement admise comme limite des N.P. de type I.

D'ailleurs nous trouvons $\log \frac{N(\text{N})}{N(\text{O})} = -0,09$; ce qui est compatible avec la valeur - 0,06 donnée dans l'article de Peimbert et Torrès-Peimbert (1983). Cette valeur appartient nettement au domaine $\log \frac{N(\text{N})}{N(\text{O})} \geq -0,3$, caractéristique des N.P. de type I.

Peimbert (1978) relie ce type I aux nébuleuses de type B de Greig (1971); la bipolarité de NGC 2818 ne fait en effet aucun doute ainsi que nous l'avons constaté dans l'étude morphologique; de même, nous y avons noté l'aspect filamentaire de la nébuleuse. Peimbert et Torrès-Peimbert (1983) indiquent que la masse du progéniteur, compte tenu de l'abondance relative de l'azote, ne peut être inférieure à $2,4 M_{\odot}$ (masse solaire) et expliquent cet aspect filamentaire comme le résultat de l'onde de choc engendrée par l'éjection de matière de plus grande densité dans un milieu de plus faible densité créé au début de l'éjection.

3.2 He 2-130

L'abondance relative des ions N^+ par rapport aux ions H^+ a été calculée à partir de la formule:

$$x = \frac{N(N^+)}{N_e} = 2,925410^{-5} \frac{I(6584)}{I(H\alpha)} \quad (7)$$

Les résultats sont donnés dans le **tableau 2**, la figure 2 en représente la variation suivant la direction W-E. La valeur moyenne $\left\langle \frac{N(N^+)}{N_e} \right\rangle$ vaut $6,11 10^{-5}$, ce qui est compatible avec les travaux de Torrès-Peimbert et Peimbert (1997).

Tableau 2: Calcul de l'abondance de l'ion N^+ à partir du rapport $\frac{I(6584)}{I(H\alpha)}$ suivant la direction W-E de la nébuleuse He 2-130

$\Delta \alpha$	$\Delta \delta$	Rapport des raies	Abondance relative de l'azote
		$\frac{I(6584)}{I(H\alpha)}$	$x = \frac{N(N^+)}{N_e}$
0"	0"	0,85	$2,51 10^{-5}$
- 4"	0"	1,60	$4,70 10^{-5}$
- 8"	0"	2,48	$7,25 10^{-5}$
- 12"	0"	2,77	$7,83 10^{-5}$
- 16"	0"	2,35	$6,88 10^{-5}$
+ 4"	0"	0,78	$2,28 10^{-5}$
+ 8"	0"	2,21	$6,46 10^{-5}$
+ 12"	0"	3,45	$10,10 10^{-5}$
+ 16"	0"	2,88	$8,44 10^{-5}$
+ 20"	0"	1,58	$4,63 10^{-5}$

On remarquera dans le tableau 2 que le rapport $\frac{I(6584)}{I(H\alpha)}$ atteint la valeur 3, ce qui classe cette nébuleuse dans le type I (Peimbert, 1997). La bipolarité de He 2-130 est à noter, ainsi que l'aspect filamentaire; cette nébuleuse en effet, est considérée de type BT.

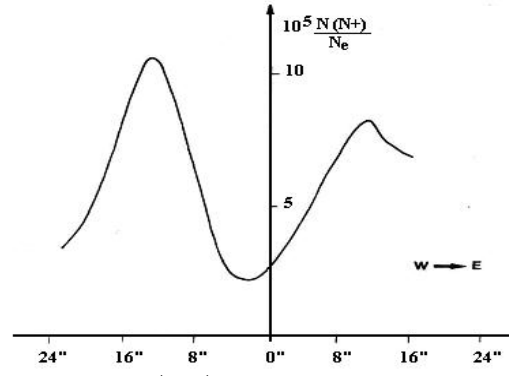
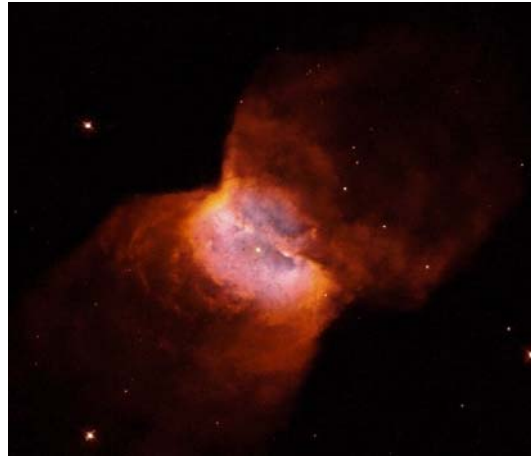


Fig. 2: Variation de la quantité $\frac{N(N^+)}{N_e}$ suivant la direction W-E de la nébuleuse He 2-130

3.3 NGC 2346

La température électronique de cette nébuleuse est voisine de 13000 K (Pottasch, 1984); l'abondance relative des N^+ par rapport aux ions H^+ est alors donnée par la formule (8):

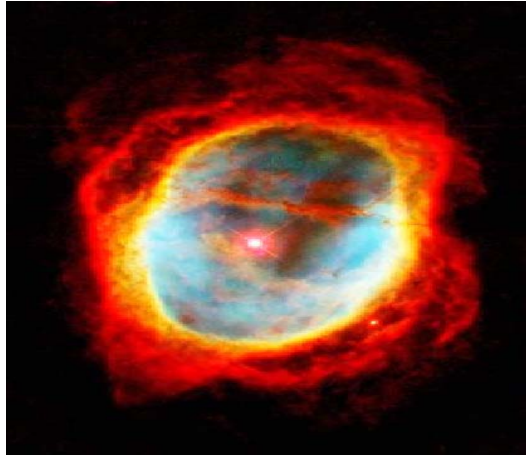
$$x = \frac{N(N^+)}{N_e} = 2,9254 \cdot 10^{-5} \frac{I(6584)}{I(H\alpha)} \quad (8)$$



Photographie de la nébuleuse NGC 2346 (Document Space Telescop et NASA/E.S.A, 2005)

Nous avons présenté les résultats dans le tableau 3, leur variation suivant la direction W-E est donnée sur la figure 3. La valeur moyenne $\left\langle \frac{N(N^+)}{N_e} \right\rangle$ vaut $6,11 \cdot 10^{-5}$; NGC 2346 est considéré de type I car riche en azote ainsi que l'indiquent les travaux de Peimbert et Torrès-Peimbert (1997) qui donnent $\log \frac{N(N)}{N(O)} \geq -0,3$ et $\frac{N(He)}{N(H)} = 0,130$ pour l'abondance en azote et en hélium.

NGC 2346 est de type BI dans la classification de Greig (1971) et est considérée de masse relativement élevée (Peimbert et Torrès-Peimbert, 1993).



Photographie de la nébuleuse NGC 3132 (E.S.O. La Silla, Chili)

Tableau 3: Calcul de l'abondance de l'ion N^+ à partir du rapport $\frac{I(6584)}{I(H\alpha)}$ suivant la direction W-E de la nébuleuse NGC 2346

$\Delta \alpha$	$\Delta \delta$	Rapport des raies $\frac{I(6584)}{I(H\alpha)}$	Abondance relative de l'azote $x = \frac{N(N^+)}{N_e}$
0"	0"	0,931	$2,72 \cdot 10^{-5}$
- 4"	0"	2,29	$6,71 \cdot 10^{-5}$
- 8"	0"	2,28	$6,61 \cdot 10^{-5}$
- 12"	0"	1,04	$3,04 \cdot 10^{-5}$
+ 4"	0"	1,99	$5,83 \cdot 10^{-5}$
+ 8"	0"	2,17	$6,35 \cdot 10^{-5}$

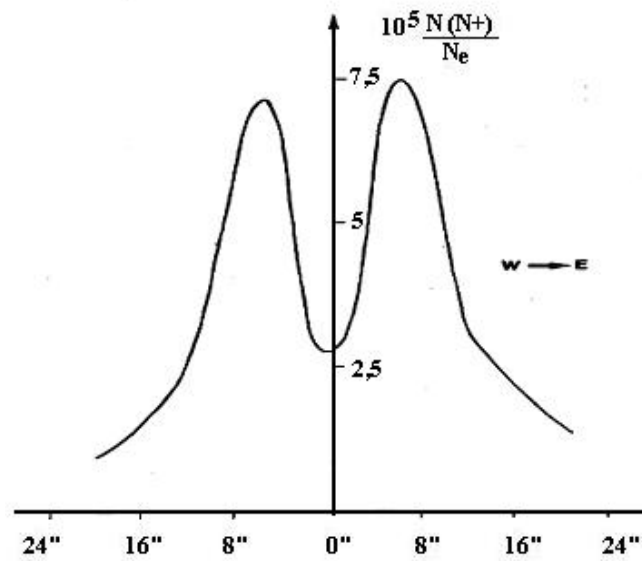


Fig. 3: Variation de l'abondance de N^+ suivant la direction W-E de NGC 2346

3.4 NGC 3132

La température électronique de NGC 3132 est voisine de 9500 K (Pottasch, 1984). L'abondance relative des ions N^+ par rapport aux ions H^+ est calculée à partir de la formule:

$$x = \frac{N(N^+)}{N_e} = 6,3610 \cdot 10^{-5} \frac{I(6584)}{I(H\alpha)} \quad (9)$$

Tableau 3: Calcul de l'abondance de l'ion N^+ à partir du rapport $\frac{I(6584)}{I(H\alpha)}$ suivant la direction N-S de la nébuleuse NGC 3132

$\Delta \alpha$	$\Delta \delta$	Rapport des raies $\frac{I(6584)}{I(H\alpha)}$	Abondance relative de l'azote $x = \frac{N(N^+)}{N_e}$
0"	0"	0,85	$5,37 \cdot 10^{-5}$
0"	+ 8"	1,04	$6,64 \cdot 10^{-5}$
0"	+ 12"	2,36	$15,05 \cdot 10^{-5}$
0"	+ 16"	3,26	$20,75 \cdot 10^{-5}$
0"	+ 20"	3,02	$19,21 \cdot 10^{-5}$
0"	+ 24"	2,91	$18,50 \cdot 10^{-5}$
0"	+ 28"	2,18	$13,87 \cdot 10^{-5}$
0"	+ 32"	1,65	$10,49 \cdot 10^{-5}$
0"	+ 36"	2,02	$12,84 \cdot 10^{-5}$
0"	- 4"	0,91	$5,79 \cdot 10^{-5}$
0"	- 8"	1,51	$9,6 \cdot 10^{-5}$
0"	- 12"	2,18	$13,87 \cdot 10^{-5}$
0"	16"	2,88	$18,34 \cdot 10^{-5}$
0"	- 20"	3,92	$24,93 \cdot 10^{-5}$
0"	28"	2,36	$15,00 \cdot 10^{-5}$
0"	0"	-	-

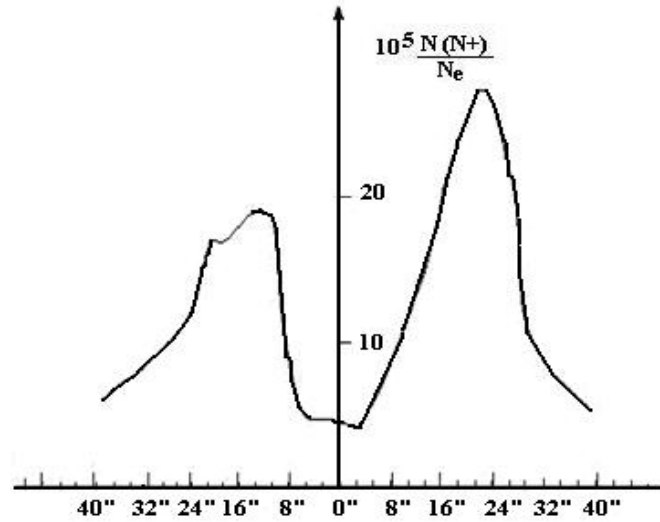


Fig. 4: Variation de la quantité $\frac{N(N^+)}{N_e}$ suivant la direction N-S de la nébuleuse NGC 3132

Les résultats sont présentés dans le tableau 4, leur variation suivant la direction N-S est donnée à la figure 4. La valeur moyenne $\left\langle \frac{N(N^+)}{N_e} \right\rangle$ vaut $12,91 \cdot 10^{-5}$, ce qui est compatible avec les travaux de Torrès-Peimbert et Peimbert (1997) qui indiquent la valeur de $15,84 \cdot 10^{-5}$. On notera que cette valeur est élevée comparativement aux résultats donnés dans l'article de Pottasch *et al.* (1986) pour d'autres nébuleuses candidates au type I de Peimbert.

Les valeurs données par Torrès-Peimbert et Peimbert (1997) pour $\log N(O)$ et $\log N(O^+)$ nous permettent d'estimer le rapport $N(O)/N(O^+)$ à 2,8678; l'abondance relative $\left\langle \frac{N(N)}{N(H)} \right\rangle$ calculée à partir de la relation (9) vaut alors $3,70 \cdot 10^{-4}$, ce qui est élevé, compte tenu de la valeur moyenne $0,9 \cdot 10^{-4}$ (Pottasch *et al.*, 1986) généralement admise. $\log N(N)$ vaut alors 8,56; ce qui est compatible avec la valeur 8,68 donnée par Torrès-Peimbert et Peimbert (1997). Ces résultats confirment la classification de NGC 3132 dans les N.P. de type I (Peimbert, 1997). Cette surabondance en azote ne peut être interprétée que dans le cadre de réactions nucléaires au sein d'un progéniteur de masse élevée, supérieure à $2.4 M_{\odot}$ ainsi que nous l'avons déjà indiqué pour NGC 2346 et NGC 2818. Cette nébuleuse est bipolaire. Ceci confirme une fois de plus la relation entre le type I suivant Peimbert et le type morphologique B proposé par Greig (1971) afin de décrire certaines nébuleuses.

4. CONCLUSION

Cette étude nous a permis de corréler l'abondance relative de certains éléments comme l'azote et donc la classification proposée Peimbert (1997) avec la morphologie des N.P. et par la même, la classification proposée par Greig (1971). Cette corrélation est vérifiée pour les quatre nébuleuses de type B que nous avons étudiées; toutes les quatre appartiennent au type I de Peimbert. On remarquera, d'ailleurs, comme le font Peimbert et Torrès-Peimbert (1993) que la morphologie des nébuleuses NGC 2818 et He 2-130 étudiées, en fait de bons candidats pour l'appartenance à ce type I. En effet, la bipolarité ainsi que l'aspect filamentaire de ces nébuleuses ne font aucun doute; toutes deux ont en effet classées dans le type BNz de la classification de Greig.

REFERENCES

- [1] C.T. Hua, 'High Spatial Resolution Observation of a Small Planetary Nebulae (Canada -France - Hawaii - Telescope - Corporation)', Astronomy and Astrophysics, Marsch 2003.
- [2] R. Louise, 'Observation of Tree Planetary Nebulae in Austral Sky (E.S.O Chile)', Astronomy and Astrophysics, June 2001.
R. Weinberger, 'A Catalogue of Expansion Velocities of Galactic Planetary Nebulae', Astronomy and astrophysics, suppl.1989.
- [3] B. Balik, 'The Evolution of Planetary Nebulae. Structures, Ionisation and Morphological Sequences', Astronomical Journal, Sep. 2001.
- [4] W.J. Maciel and R.S. Pottasch, 'Distances of Planetary Nebulae', Astronomy and Astrophysics, Vol. 88, pp. 1 - 7.
- [5] J.L. Vidal, 'Photométrie Photoélectrique de Nébuleuses Gazeuses Diffuses dans la Raie H α 391-457
- [6] V.A. Okorokov, B.M. Shutov, A.V. Tukutov and H.W. Yorke, 'Numerical Models of Nebulae Evolution', Astronomy and Astrophysics, Vol. 142, pp. 441 - 450.
- [7] R. Leyland, 'Aquila Part Two Observer's Org/Reports', 9 Août 2002.
- [8] Torres and S.T. Peimbert, 'Nitrogen Density in Planetary Nebulae', Astronomical Journal, pp. 157 - 195, 1997.
- [9] S.R. Pottasch, 'Planetary Nebulae', Reidel Publishing Company, 1984.
- [10] R. Leyland, 'Aquila Part Tree Observer's Org/Reports', 10 Septembre 2002.
- [11] S. Rhap and H.J. Augensen, 'Mass Distribution and Evolutionary Scheme for Central Stars of Planetary Nebulae', Juillet 1986.
- [12] D.E. Osterbrock, 'Electron Density in Planetary Nebulae', 1960.