

## VÉRIFICATION EN AMATEURS DE LA LOI DE LEMAÎTRE-HUBBLE

D. Antao<sup>1</sup>, D. Bregou<sup>1</sup>, G. Arlic<sup>2</sup> and A. Belmonte<sup>1</sup>

**Abstract.** Nous avons voulu vérifier la loi linéaire d'expansion de l'univers en utilisant des moyens d'amateurs. La sélection de 23 galaxies observées au T60 du Pic du Midi a permis de mesurer leurs vitesses radiales avec une précision suffisante pour en déduire la constante de Hubble, en utilisant toutefois des distances publiées.

Keywords: spectroscopy, amateur, expansion of the universe, redshifts, quasars

### 1 Objectifs

Pour cette étude concernant la loi d'expansion de l'univers, découverte par Lemaître (1927) puis vérifiée avec des meilleures données par Hubble (1929) et V. Slipher\*, nous avons deux objectifs majeurs:

1. Appréhender l'expansion de l'Univers à travers des outils d'amateurs, pour juger du potentiel des spectroscopes auxquels nous avons ont accès;
2. Montrer le savoir-faire des amateurs aux professionnels pour favoriser des collaborations.

### 2 Méthodes

Les travaux préparatoires ont consisté dans un premier temps dans la sélection des galaxies, avec trois critères principaux: (1) distribution angulaire, (2) répartition en distance, et (3) visibilité lors de la mission (semaine 48 de 2016). Ensuite des tests de faisabilité ont été réalisés en plaine. 23 galaxies furent ainsi sélectionnées.

Au T60 ( $D = 0.6$  m,  $f/D = 3.5$ ), nous avons utilisé le spectroscopie *Alpy600* avec un grism de 600 traits/mm, ce qui donne une résolution spectrale  $R \sim 600$  à 650 nm. Le CCD d'acquisition était un *Atik 314L+*. On a réalisé 2 poses de 3600 s par objet, sauf pour les galaxies brillantes où on s'est contentés d'une seule pose de 3600 s. On a également réalisé des poses de calibration en prenant le spectre d'une étoile de référence à chaque changement de galaxies.

Les observations se sont déroulées de 18h du soir jusqu'à 7h du matin durant 6 nuits de suite. Une mission exceptionnelle !

#### 2.1 Le traitement et la mesure des vitesses radiales

Le traitement réalisé avec le logiciel ISIS de C. Buil<sup>†</sup> a été délicat. Nous avons également utilisé le logiciel *Visual Spec* de V. Desnoux<sup>‡</sup>.

Ensuite les spectres ont été découpés entre 400 et 680 nm. Ils ont été divisés par leur propre continuum pour les rendre plats. Afin de les comparer à un spectre d'une étoile de type K2 III de référence, nous avons utilisé la base spectrale *Miles* (Sánchez-Blázquez et al. 2006)<sup>§</sup>.

<sup>1</sup> Club astro Apam, 81360 Montredon-Labessonnié

<sup>2</sup> Club AG33, 33650 Saucats

\*Pour une étude historique sur la controverse de cette découverte, voir Kragh & Smith (2003).

<sup>†</sup><http://www.astrosurf.com/buil/isis-software.html>

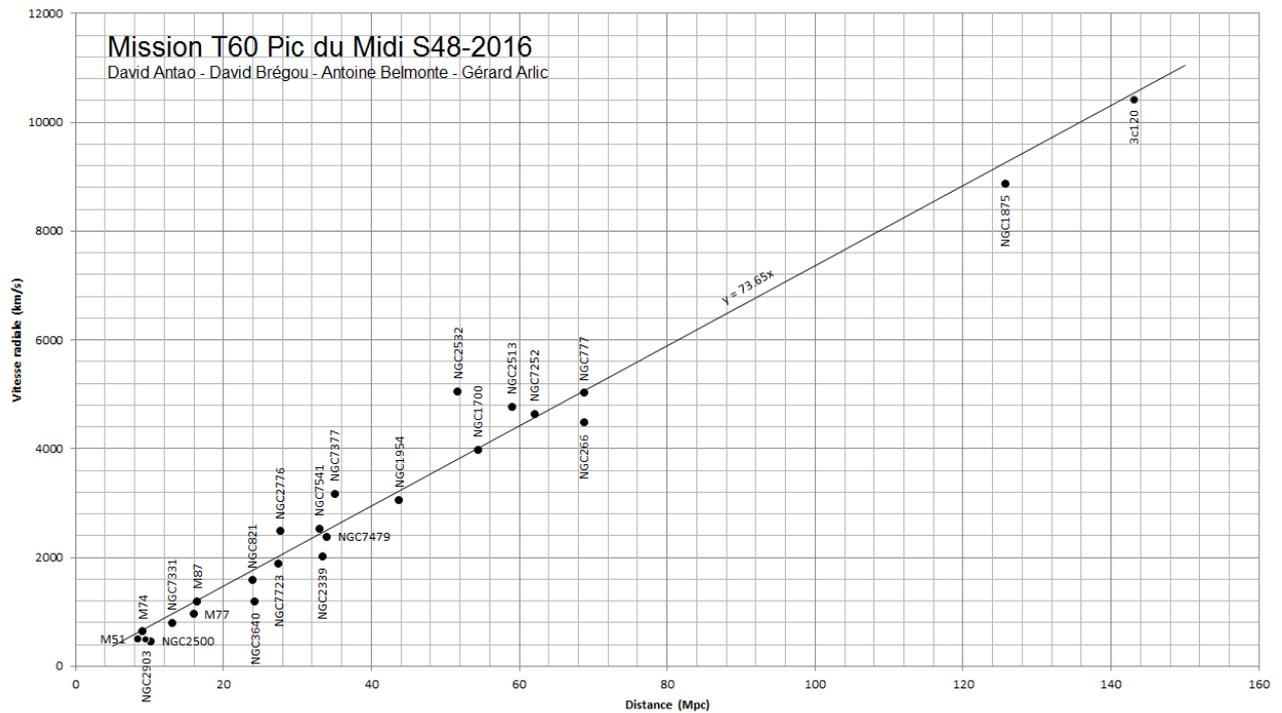
<sup>‡</sup><http://www.astrosurf.com/vdesnoux>

<sup>§</sup><http://vizier.u-strasbg.fr/viz-bin/VizieR?-source=J/MNRAS/371/703>

## 2.2 Résultats

Les vitesses radiales ont été obtenues par corrélation croisée avec cette étoile de référence, méthode intégrée dans ISIS. Nous n'avons pas encore estimé les erreurs à partir de la dispersion du pic de la corrélation croisée.

Une fois corrigées dans le système de référence héliocentrique, les vitesses obtenues ont été comparées aux distances publiées de chacune des galaxies. La Figure 1 montre la relation entre les vitesses radiales obtenues et les distances. Cette relation, linéaire, est la fameuse loi de Lemaître-Hubble, dont la pente donne la constante de Hubble qui mesure le taux d'expansion de l'univers. Notre estimation préliminaire donne  $H_0 \sim 73 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$  en excellent accord avec les valeurs des professionnels.

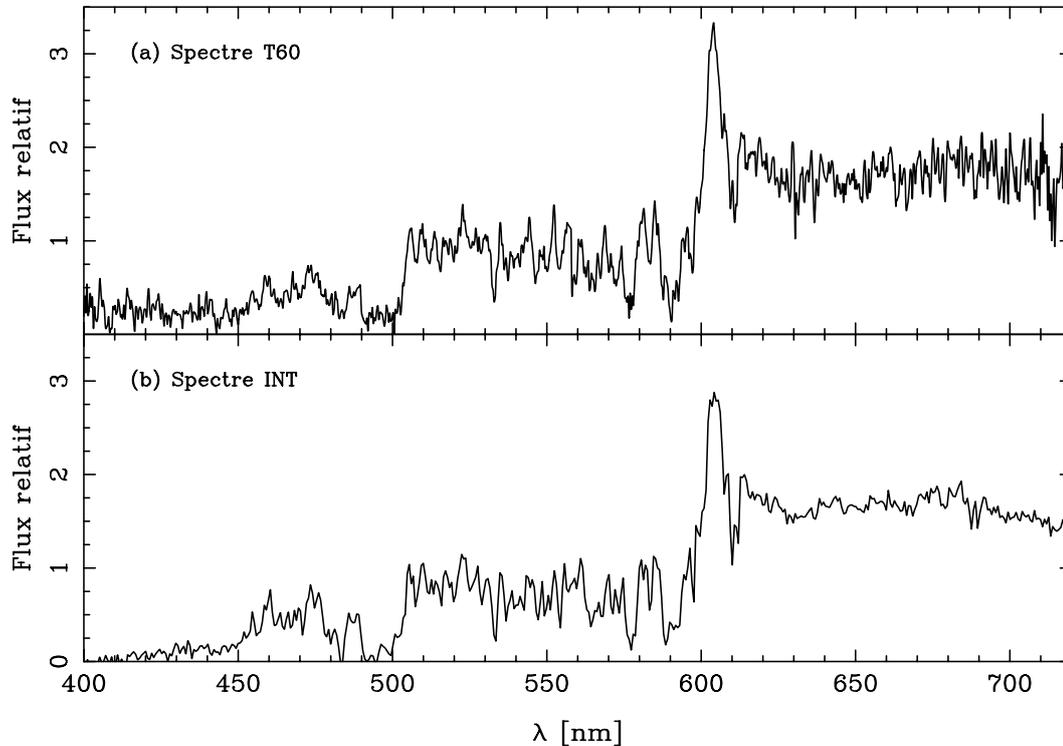


**Fig. 1.** Relation obtenue entre les vitesses radiales des galaxies obtenues par nos moyens d'amateur et les distances publiées, obtenues avec des moyens professionnels. La ligne droite est la relation linéaire de la loi de Lemaître-Hubble. La pente que nous obtenons de cette droite, la constante de Hubble, est de  $73 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ .

## 3 Spectres de quasars

Nous avons également observé 3 quasars. Parmi eux, APM 08279+5255, qui a un redshift de  $z = 3.87$ , découvert par Ibata et al. (1998). La Figure 2 compare notre spectre obtenu au T60 à celui obtenu par les professionnels en 2002. Nous notons que le rapport signal sur bruit ( $S/B$ ) est semblable, alors que notre temps de pose était de 7200 secondes. Le spectre professionnel a été obtenu en 200 secondes au télescope de 2.5 mètres de diamètre Isaac Newton aux Canaries. Le rapport des temps d'exposition ( $7200/200 = 36$ ) serait sensiblement égal au rapport des surfaces collectrices, soit  $250^2/60^2 \sim 17$ . La différence provient d'une part de la plus basse résolution spectrale du spectre professionnel (IDS avec un grism R150V donnant une résolution de  $6.5 \text{ \AA}$  par pixel seulement), qui augmente le  $S/B$  pour une pose donnée. D'autre part l'efficacité des spectrographes est aussi différente, mais il faut noter que notre spectre a un rapport  $S/B$  sensiblement meilleur. Il est donc très

encourageant de constater que des moyens d'amateur permettent d'accéder aux résultats des professionnels dans l'univers profond.



**Fig. 2.** Comparaison des spectres du quasar à grand redshift ( $z = 3.87$ ) APM 08279+5255. (Haut) notre spectre amateur obtenu au T60. (Bas) spectre professionnel, publié par Benn et al. (2002), obtenu au télescope Isaac Newton de 2.5 m de diamètre.

#### 4 Conclusions

Cette étude, dont l'apport à la science reste limité et incomplet car nous n'avons pas déterminé les distances, avait pour but de valider la faisabilité avec des moyens d'amateurs (matériel, connaissances) sur des mesures de vitesses radiales d'objets diffus. Retrouver la loi linéaire d'expansion de l'univers nous a énormément fait progresser. En effet, la réduction des données a été très différente de ce que nous avons l'habitude de faire jusqu'à présent. Au-delà de la mesure des vitesses radiales, la richesse des spectres obtenus demande une étude plus approfondie. De nombreuses informations sont encore contenues dans ceux-ci, ainsi que dans ceux des quasars. Ces résultats sont une partie de la moisson obtenue lors de la mission S48-2016 au T60 du Pic du Midi.

#### References

- Benn, C.R. et al., 2002, MNRAS, 329, 221  
 Hubble, E.P., 1929, PNAS, 15, 168  
 Ibata, R. et al., 1998, ApJ, 505, 529  
 Kragh, H., Smith, R.W., 2003, Hist. Sci., 41, 141  
 Lemaître, G., 1927, Annales Soc. Scientifique de Bruxelles, A47, 49  
 Sánchez-Blázquez, P. et al., 2006, MNRAS, 371, 703