

## Diagramme de Hubble et mise en évidence de l'expansion

### I. Mesure de la distance des galaxies

#### Questions préliminaires :

*Question 1.* Flux observé  $F$  en fonction de la luminosité  $L$  et de la distance  $D$ .

$F =$
-------

*Question 2.* Variation de la magnitude apparente avec le flux observé.

$m_2 - m_1 =$
---------------

La source la plus brillante possède la magnitude la plus _____.
-----------------------------------------------------------------

*Question 3.* Variation de la magnitude apparente avec la distance.

$m =$
-------

La magnitude apparente _____ avec la distance.
------------------------------------------------

*Question 4.* Variation de la magnitude apparente avec la distance (suite).

$\Delta m = m_2 - m_1 =$
--------------------------

$D_2/D_1 =$
-------------

*Question 5.* Module de distance.

$\mu = m - M =$
-----------------

$D =$
-------

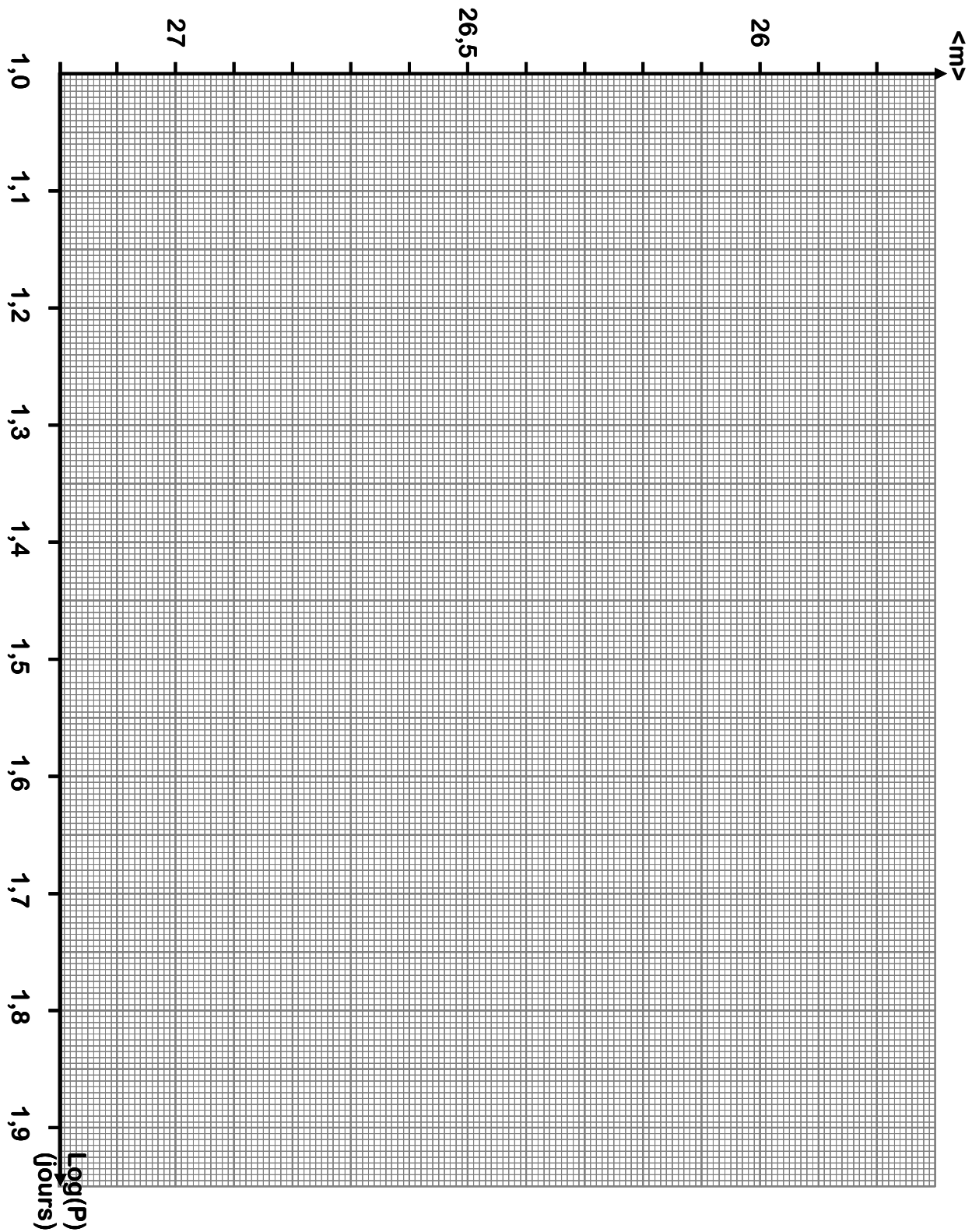
### **A. Grand nuage de Magellan (utilisation du diagramme de Hertzsprung-Russel)**

Point caractéristique du diagramme HR	Mag. absolue $M$ (Voie Lactée)	Mag. apparente $m$ (LMC)	Module de distance $\mu = m - M$	Distance $D$ (en pc)
Point n°1				
Point n°2				
Moyenne				

$D_{LMC} =$
-------------

## B. Galaxies proches (utilisation des étoiles céphéides)

*Relation période-magnitude apparente des céphéides de NGC 1425 :*



Galaxie	Magnitude apparente moyenne $\langle m \rangle$ en fonction de $\log(P)$
LMC	$\langle m \rangle_{\text{LMC}} =$
NGC 1425	$\langle m \rangle_{\text{NGC1425}} =$
Différence de magnitude entre les deux galaxies	$\Delta m = \langle m \rangle_{\text{NGC1425}} - \langle m \rangle_{\text{LMC}} =$
Rapport de distance	$D_{\text{NGC1425}} / D_{\text{LMC}} =$

$D_{\text{NGC1425}} =$
------------------------

Deuxième méthode :

Céphéide	Magnitude apparente moyenne $\langle m \rangle$	Log(P) (jours)	Prédiction de $\langle m \rangle_{\text{LMC}}$	$\Delta m = \langle m \rangle - \langle m \rangle_{\text{LMC}}$
C1	27.18 ± 0.08			
C2	26.85 ± 0.05			
C3	26.67 ± 0.05			
C4	26.72 ± 0.05			
C5	26.42 ± 0.05			
C6	26.05 ± 0.06			
C7	25.79 ± 0.05			
C8	26.00 ± 0.03			
C9	25.80 ± 0.03			
C10	25.72 ± 0.02			
Moyenne				

$D_{\text{NGC1425}} =$
------------------------

### C. Galaxies lointaines (utilisation des supernovae de type Ia)

$M_{\text{SNIa,R}} =$
-----------------------

	Intensité relative $I / I_{\text{ref}}$	Magnitude apparente
Etoile de référence	1	14,5
Etoile A		
Etoile A+SN		
SN2005W		

$\mu_{\text{SN2005W}} =$
$D_{\text{NGC691}} =$

## II. Mesure de la vitesse des galaxies :

### A. NGC691 :

	$\lambda_{\text{obs}}$	$z_{\text{obs}}$
raie 1		
raie 2		
moyenne		

$v_{\text{NGC691}} =$

### B. Quasar QSO 1209+107

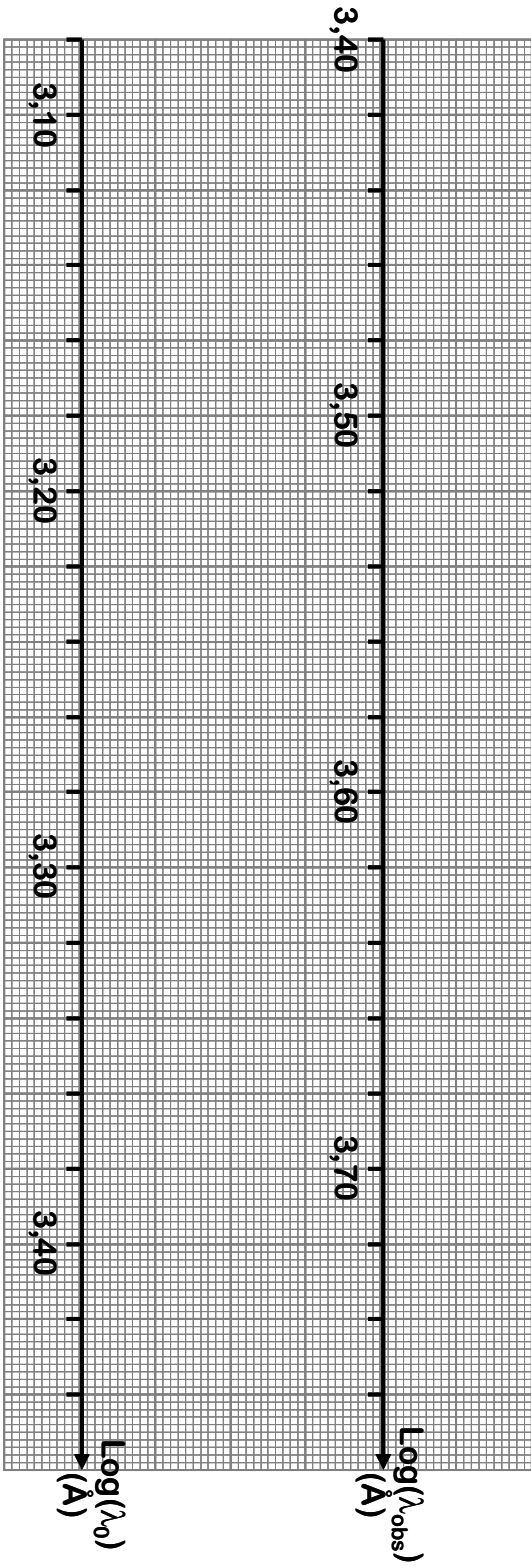
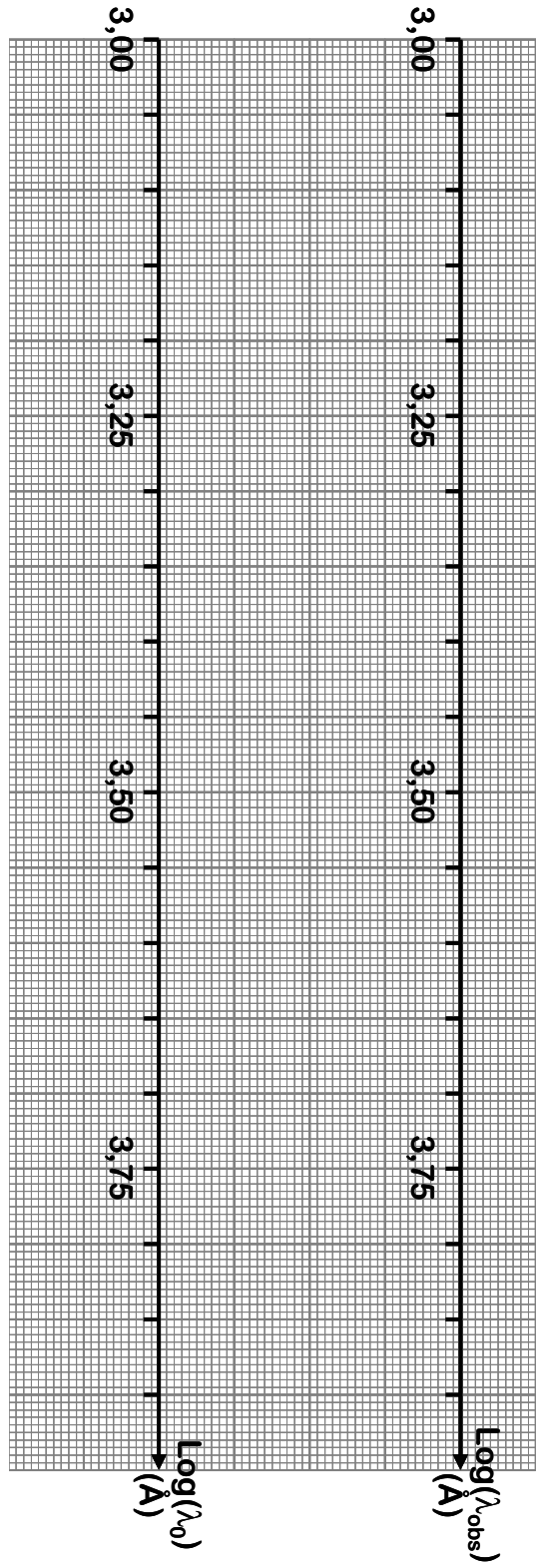
*Raies d'émission :*

Raie	Identification	Décalage spectral z
1		
2		
3		
4		

Décalage spectral de QSO 1209+107       $z =$   
Vitesse radiale       $v =$

*Raies d'absorption : indice = il y a au moins 3 nuages absorbants entre le quasar et nous*

Raie	Identification	Décalage spectral z
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		

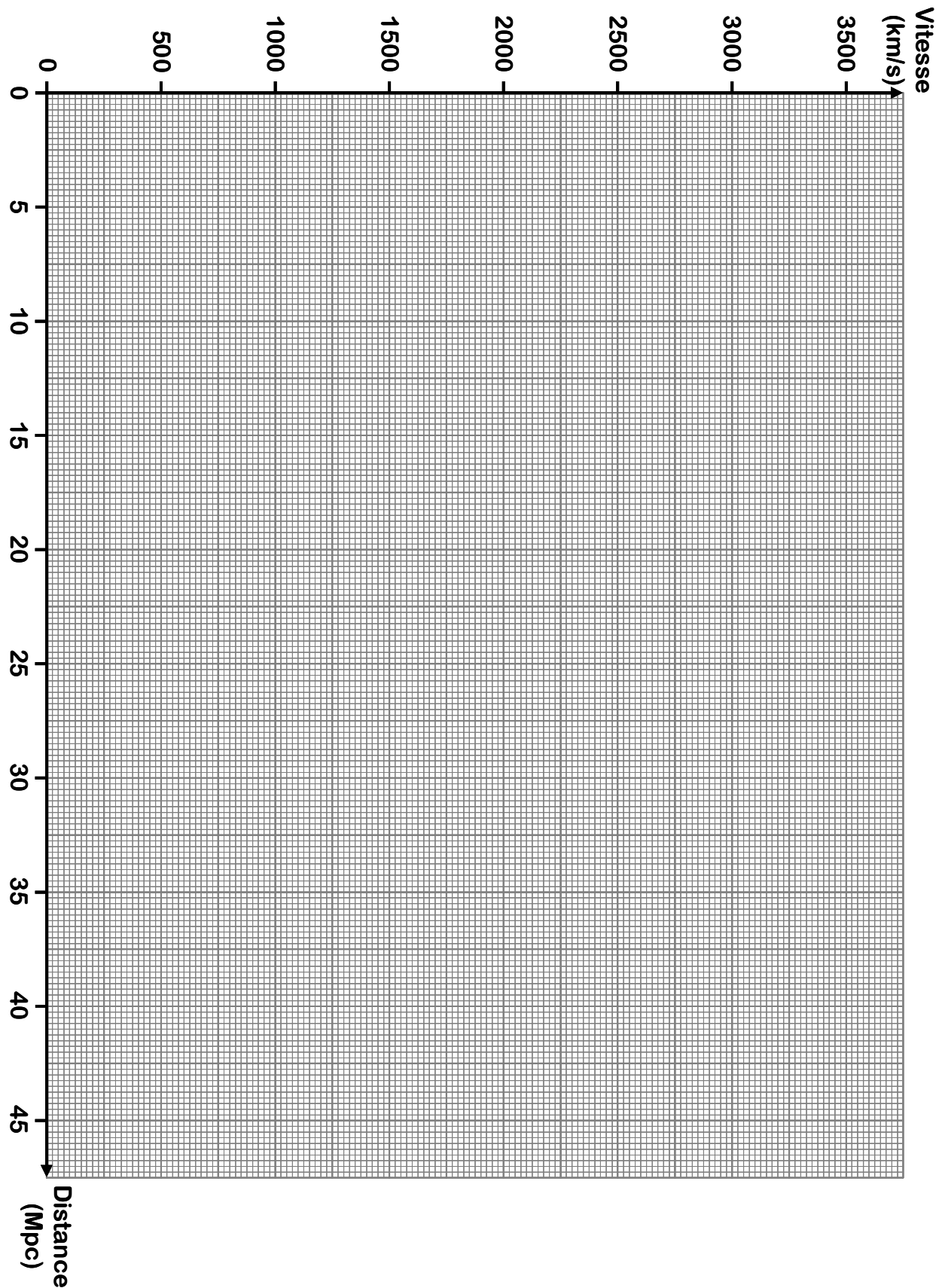


**XVIème Festival d'Astronomie de Fleurance – 12-18 août 2006**

« Diagramme de Hubble et mise en évidence de l'expansion »

Atelier proposé par Frédéric Daigne (Institut d'Astrophysique de Paris-Université Pierre et Marie Curie-Paris 6)

### III. Diagramme de Hubble :



#### **IV. Loi de Hubble :**

La pente mesurée vaut  $H_0 =$

*Avec la valeur de la constante de Hubble publiée en 1929 (500 km/s/Mpc) :*

$1/H_0 =$

*Avec la valeur de la constante de Hubble déterminée ci-dessus :*

$1/H_0 =$

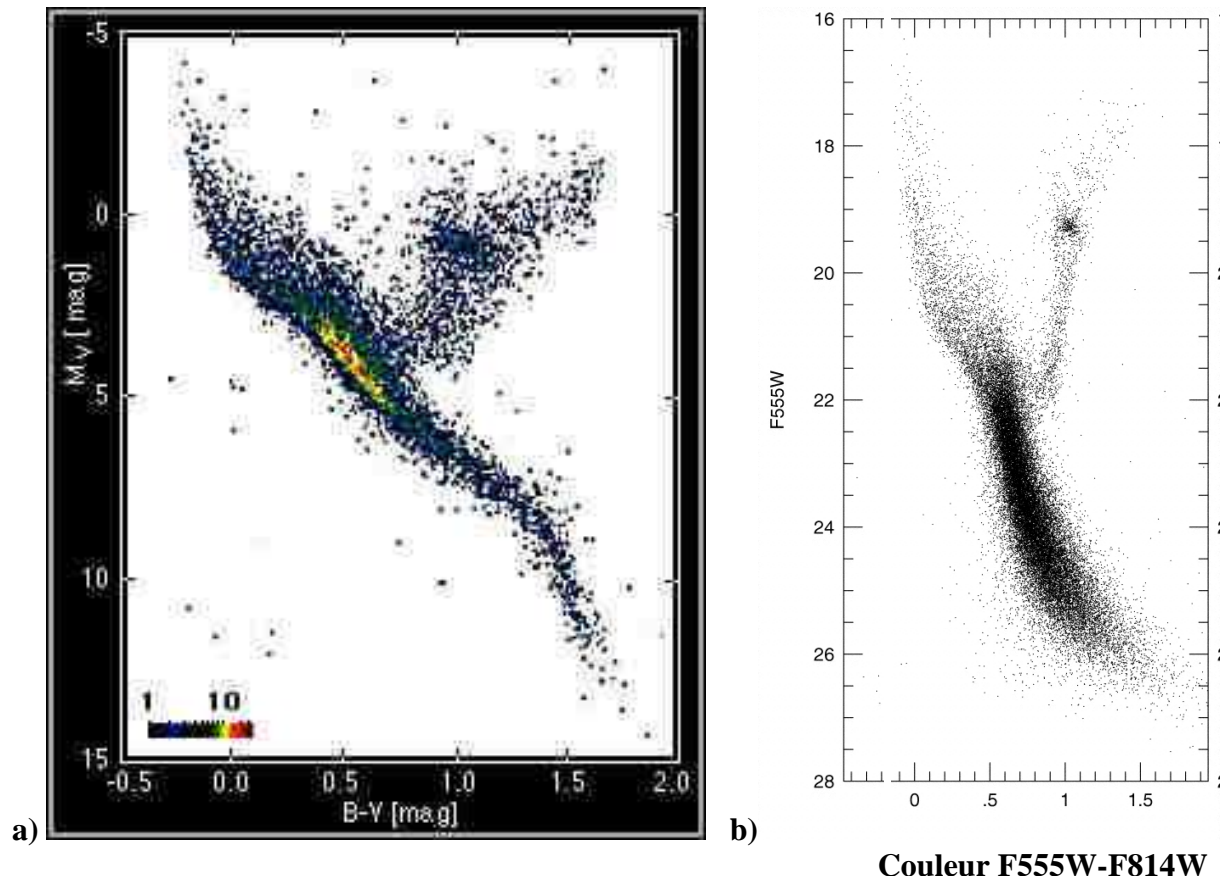


## Annexes : données et figures

<b>Rappels :</b>	parsec :	$1 \text{ pc} = 3,086 \times 10^{16} \text{ m}$
	vitesse de la lumière :	$c = 2,998 \times 10^8 \text{ m/s}$
	Angstroem :	$1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$
	Longueur d'onde au repos	$\lambda_1 = 5265,56 \text{ \AA}$
	du doublet $\text{Ca}^+$ :	$\lambda_2 = 5270,27 \text{ \AA}$

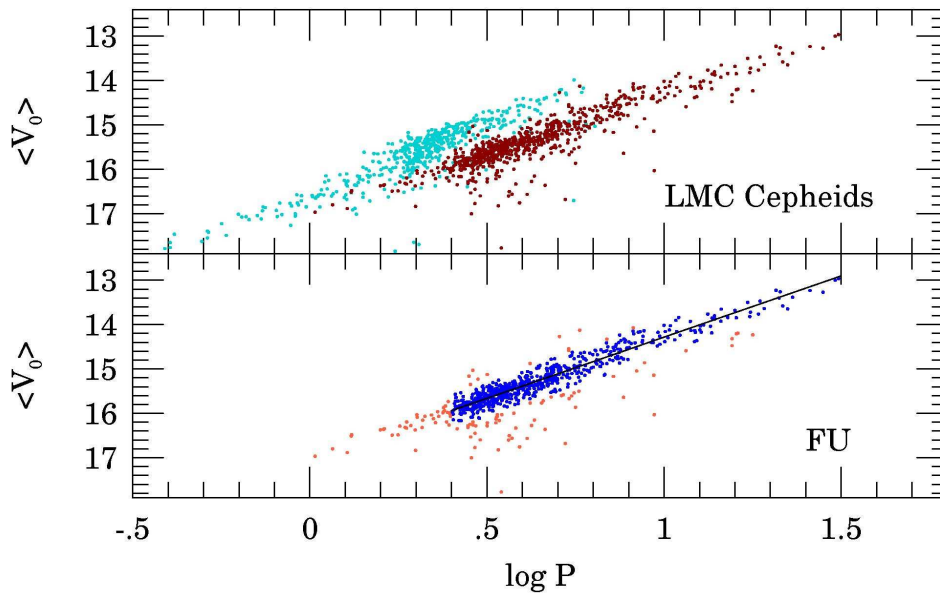
### I. Mesure de la distance

#### A. Grand nuage de Magellan (utilisation du diagramme de Hertzsprung-Russel)



- a) Diagramme couleur-magnitude absolue de la Voie Lactée (*données Hipparcos*)
- b) Diagramme couleur-magnitude apparente d'une région bien localisée du Grand Nuage de Magellan (*données HST*)

## B. Galaxies proches (utilisation des étoiles céphéides)



**Relation Période – Magnitude apparente moyenne des étoiles céphéides du LMC.**  
(Données OGLE)

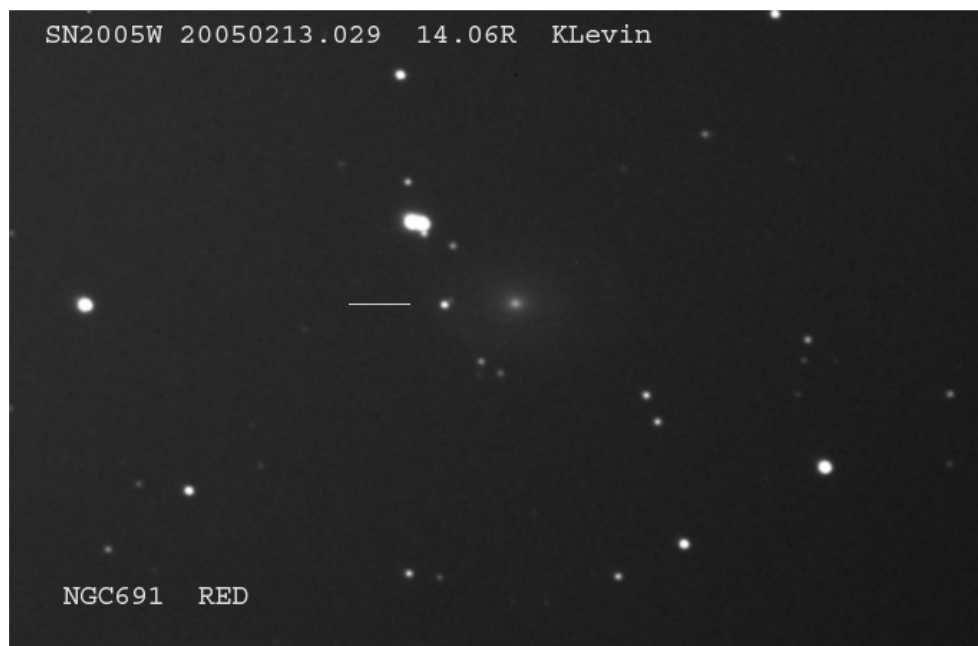
Céphéide	Période P en jours	Magnitude apparente moyenne <m>
C1	14.49	$27.18 \pm 0.08$
C2	18.29	$26.85 \pm 0.05$
C3	19.50	$26.67 \pm 0.05$
C4	21.16	$26.72 \pm 0.05$
C5	28.47	$26.42 \pm 0.05$
C6	31.27	$26.05 \pm 0.06$
C7	39.31	$25.79 \pm 0.05$
C8	42.92	$26.00 \pm 0.03$
C9	44.23	$25.80 \pm 0.03$
C10	47.39	$25.72 \pm 0.02$

**Période et magnitude apparente moyenne de 10 céphéides de la galaxie NGC 1425**  
(Données HST)

### C. Galaxies lointaines (utilisation des supernovae de type Ia)



**Image 1 : Image de NGC691 avant l'apparition de la supernova de type Ia SN2005W.**

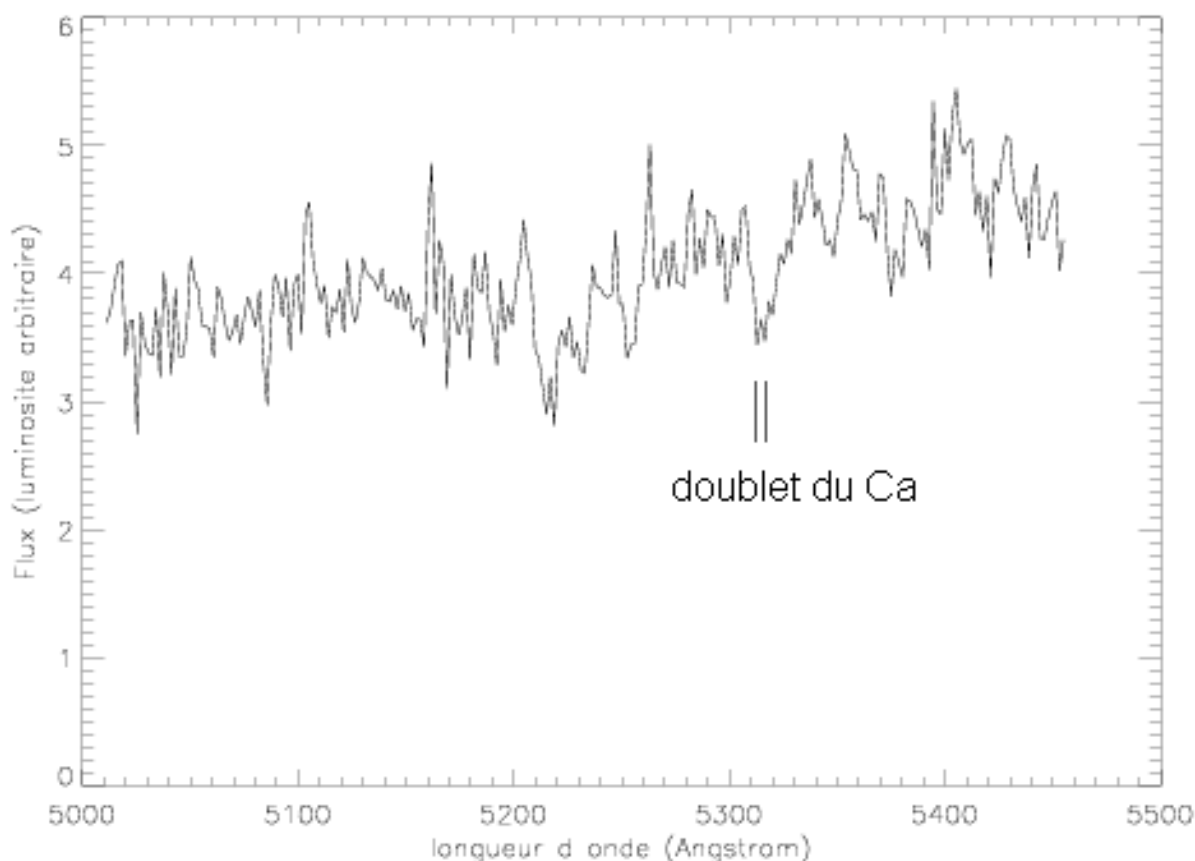


**Image 2 : Image de NGC691 au moment du maximum de SN2005W.**

	Intensité mesurée sur l'image (unités arbitraires)
Etoile de référence (image 1)	189
Etoile A (image 1)	132
Etoile de référence (image 2)	241
Etoile A + SN2005W (image 2)	529

## II. Mesure de la vitesse radiale

### A. Galaxie NGC 691



**Spectre de NGC 691**

Galaxie	Décalage Spectral z	Distance (Mpc)
NGC 1425	0,00470	
NGC 4579	0,00540	21
NGC 3294	0,00523	26,7
NGC 6221	0,00448	20,5
NGC 3310	0,00339	18,7
NGC 1097	0,00420	15

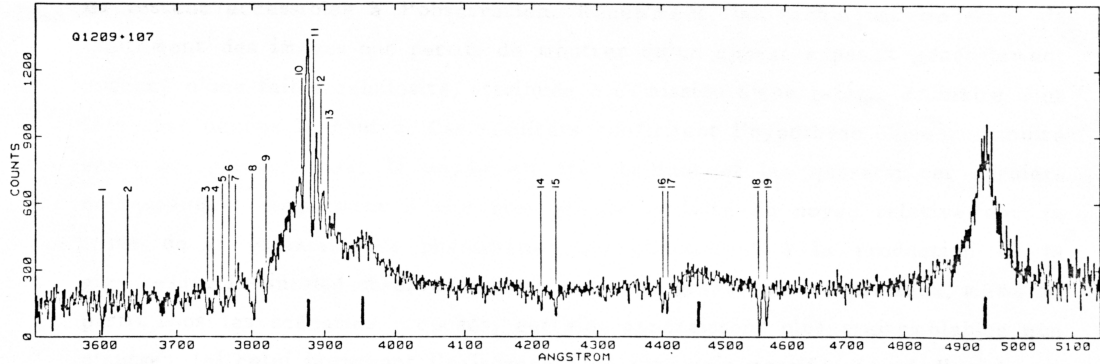
**Décalage spectral de NGC 1425 et de quelques autres galaxies dont la distance a été mesurée par la méthode des céphéides.**

XVIème Festival d'Astronomie de Fleurance – 12-18 août 2006

« Diagramme de Hubble et mise en évidence de l'expansion »

Atelier proposé par Frédéric Daigne (Institut d'Astrophysique de Paris-Université Pierre et Marie Curie-Paris 6)

## B. Quasars Q1209+107



Spectre du quasar Q1209+107

Raies d'émission identifiées dans le spectre :

No	$\lambda$ observée (Å)	No	$\lambda$ observée (Å)
1	3879	3	4459
2	3962	4	4942

Raies d'absorption identifiées dans le spectre :

No	$\lambda$ observée (Å)	No	$\lambda$ observée (Å)	No	$\lambda$ observée (Å)	No	$\lambda$ observée (Å)
1	3604,6	6	3769,4	11	3884,0	16	4402,1
2	3636,5	7	3777,5	12	3895,3	17	4409,3
3	3742,3	8	3802,6	13	3905,1	18	4556,2
4	3748,1	9	3819,8	14	4214,9	19	4568,1
5	3761,6	10	3869,6	15	4237,0		

Principales raies d'émission attendues dans le spectre d'un quasar ( $\lambda$  au repos) :

Espèce	$\lambda_0$ (Å)	Espèce	$\lambda_0$ (Å)	Espèce	$\lambda_0$ (Å)	Espèce	$\lambda_0$ (Å)
H	1215 (Ly $\alpha$ )	C <sup>3+</sup>	1549	H	4861 (H $\beta$ )	H	6562 (H $\alpha$ )
N <sup>4+</sup>	1240	C <sup>2+</sup>	1909	O <sup>2+</sup>	4959		
Si <sup>3+</sup>	1399	Mg <sup>+</sup>	2800	O <sup>2+</sup>	5007		

Principales raies d'absorption attendues dans le spectre d'un quasar ( $\lambda$  au repos) :

Espèce	$\lambda_0$ (Å)	Espèce	$\lambda_0$ (Å)	Espèce	$\lambda_0$ (Å)	Espèce	$\lambda_0$ (Å)
H	1215,7	C <sup>+</sup>	1334,5	Al <sup>+</sup>	1670,8	Fe <sup>+</sup>	2586,6
N <sup>4+</sup>	1238,8	Si <sup>3+</sup>	1393,8	Al <sup>2+</sup>	1854,7	Fe <sup>+</sup>	2600,2
N <sup>4+</sup>	1242,8	Si <sup>3+</sup>	1402,8	Al <sup>2+</sup>	1862,8	Mg <sup>+</sup>	2796,3
Si <sup>+</sup>	1260,4	Si <sup>+</sup>	1526,7	Fe <sup>+</sup>	2344,2	Mg <sup>+</sup>	2803,5
Si <sup>+</sup>	1304,4	C <sup>3+</sup>	1548,2	Fe <sup>+</sup>	2374,5	Mg	2853,0
O	1304,9	C <sup>3+</sup>	1550,8	Fe <sup>+</sup>	2383,8		

Quelques sites web à aller visiter :

- **The Hubble Space Telescope Key Project on the Extragalactic Distance Scale :**  
<http://www.ipac.caltech.edu/H0kp/>
- **Supernova Cosmology Project :** <http://supernova.lbl.gov/>
- **Site grand public de WMAP :**  
[http://map.gsfc.nasa.gov/m\\_uni/uni\\_101ouruni.html](http://map.gsfc.nasa.gov/m_uni/uni_101ouruni.html)

XVIème Festival d'Astronomie de Fleurance – 12-18 août 2006

« Diagramme de Hubble et mise en évidence de l'expansion »

Atelier proposé par Frédéric Daigne (Institut d'Astrophysique de Paris-Université Pierre et Marie Curie-Paris 6)