



Du gaz et de la poussière dans les galaxies hôtes des quasars à grand décalage spectral

Alexandre Beelen

Alexandre.Beelen@ias.fr

Institut d'Astrophysique Spatial - Orsay



Plan

Du gaz et de la poussière dans les galaxies hôtes des quasars à grand z

- Introduction
- Des nouvelles de Pss 2322+1944
- Formation stellaire dans les quasars à grand z
- Du carburant pour une formation stellaire très efficace
- Comparaison avec d'autres sources à grand z
- Contraindre la température des quasars, enfin !
- Conclusions & Perspectives



Plan

Du gaz et de la poussière dans les galaxies hôtes des quasars à grand z

- Introduction
 - Questions ?
 - Petit Rappels...
- Des nouvelles de Pss 2322+1944
- Formation stellaire dans les quasars à grand z
- Du carburant pour une formation stellaire très efficace
- Comparaison avec d'autres sources à grand z
- Contraindre la température des quasars, enfin !
- Conclusions & Perspectives



Plan

Du gaz et de la poussière dans les galaxies hôtes des quasars à grand z

- Introduction
- Des nouvelles de Pss 2322+1944
- Formation stellaire dans les quasars à grand z
 - De la poussière à grand z ?!
 - Du noyau actif à la galaxie hôte
- Du carburant pour une formation stellaire très efficace
- Comparaison avec d'autres sources à grand z
- Contraindre la température des quasars, enfin !
- Conclusions & Perspectives



Plan

Du gaz et de la poussière dans les galaxies hôtes des quasars à grand z

- Introduction
- Des nouvelles de Pss 2322+1944
- Formation stellaire dans les quasars à grand z
- Du carburant pour une formation stellaire très efficace
 - Comment détecter du gaz dans un quasar à grand z
 - L'exemple de J1409+5628
- Comparaison avec d'autres sources à grand z
- Contraindre la température des quasars, enfin !
- Conclusions & Perspectives



Plan

Du gaz et de la poussière dans les galaxies hôtes des quasars à grand z

- Introduction
- Des nouvelles de Pss 2322+1944
- Formation stellaire dans les quasars à grand z
- Du carburant pour une formation stellaire très efficace
- Comparaison avec d'autres sources à grand z
 - Bibliographie
 - Efficacité de formation stellaire ?
- Contraindre la température des quasars, enfin !
- Conclusions & Perspectives



Plan

Du gaz et de la poussière dans les galaxies hôtes des quasars à grand z

- Introduction
- Des nouvelles de Pss 2322+1944
- Formation stellaire dans les quasars à grand z
- Du carburant pour une formation stellaire très efficace
- Comparaison avec d'autres sources à grand z
- Contraindre la température des quasars, enfin !
 - Quelques mots sur la température
 - Après 4 ans, 2 beaux jours
- Conclusions & Perspectives



Plan

Du gaz et de la poussière dans les galaxies hôtes des quasars à grand z

- Introduction
- Des nouvelles de Pss 2322+1944
- Formation stellaire dans les quasars à grand z
- Du carburant pour une formation stellaire très efficace
- Comparaison avec d'autres sources à grand z
- Contraindre la température des quasars, enfin !
- Conclusions & Perspectives



Introduction

Questions :

- Comment se sont formées les galaxies ?
- Quelle est l'histoire de la formation stellaire de l'Univers ?
- Y a-t-il une relation entre la formation stellaire et les trous noirs massifs ?
- Quels sont les conditions du gaz dans l'univers lointain ?

Approches :

- Relevés profonds
- Observations pointées



Introduction - Rappel

- Quasars



courtesy of G.F Lewis



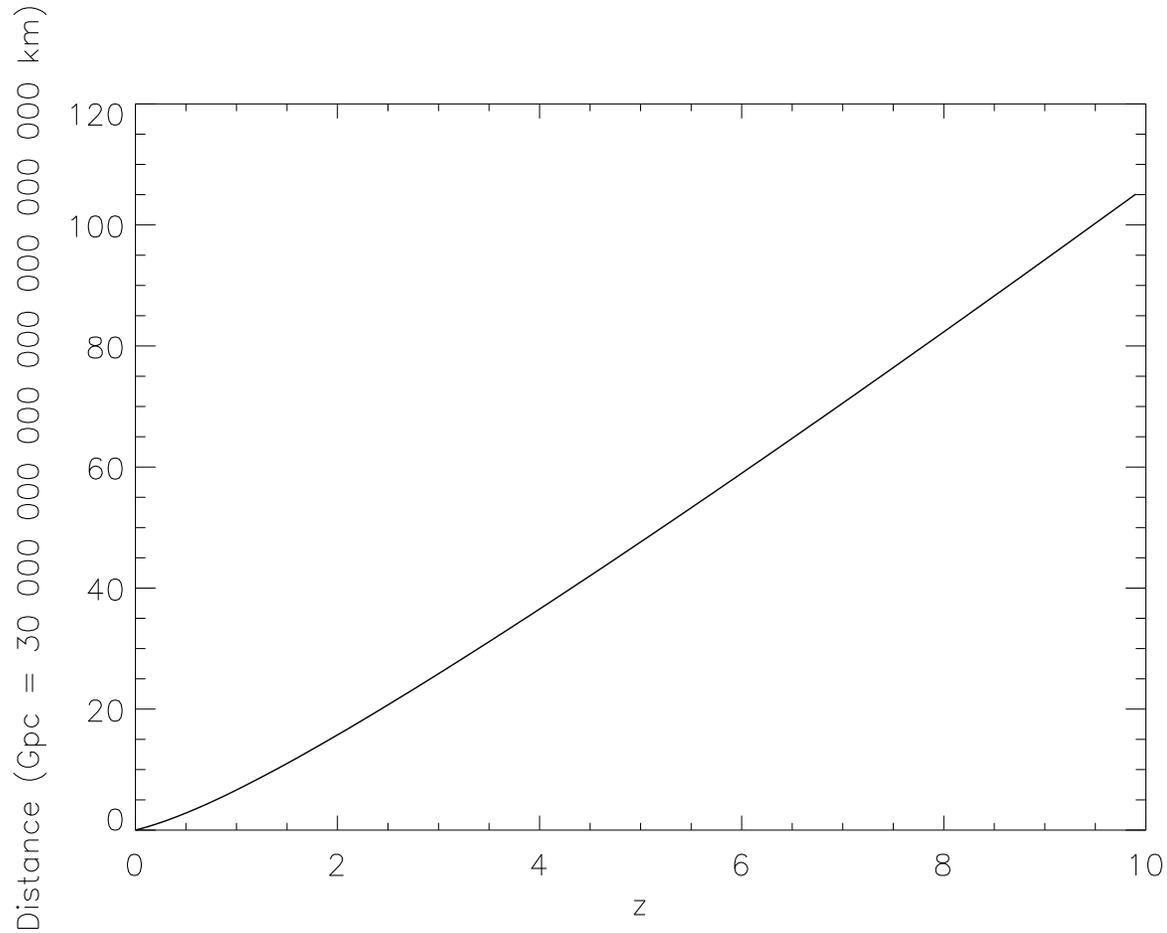
Introduction - Rappel

- Quasars
- Décalage spectral vers le rouge z
 - “Effet Doppler”
 - Mesure de distance et de temps



Introduction - Rappel

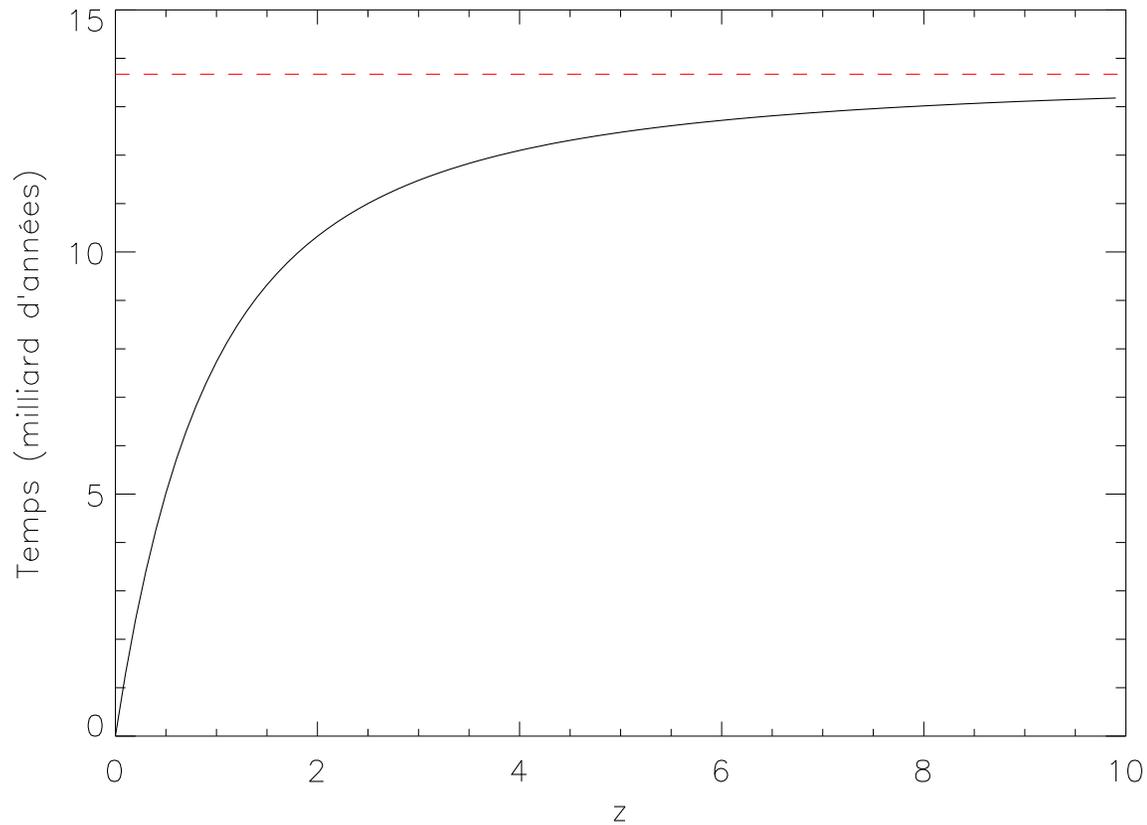
- Quasars
- Décalage spectral vers le rouge z





Introduction - Rappel

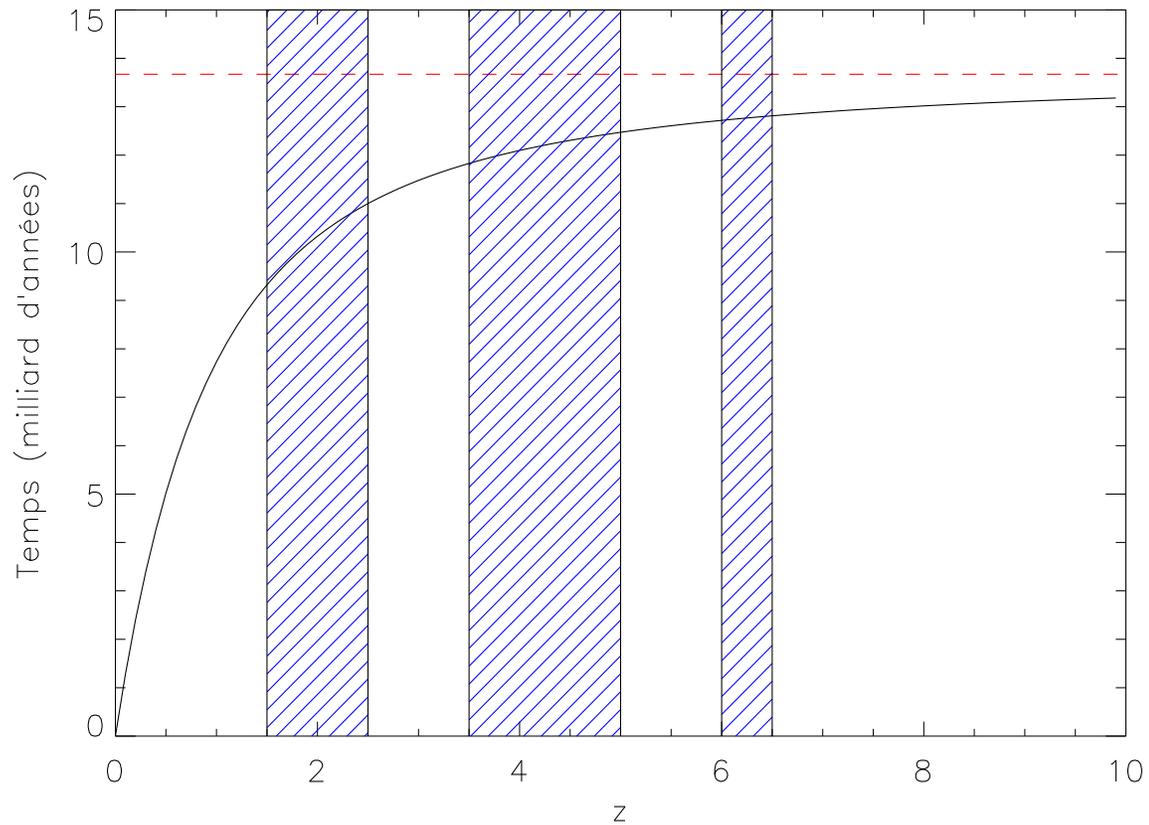
- Quasars
- Décalage spectral vers le rouge z





Introduction - Rappel

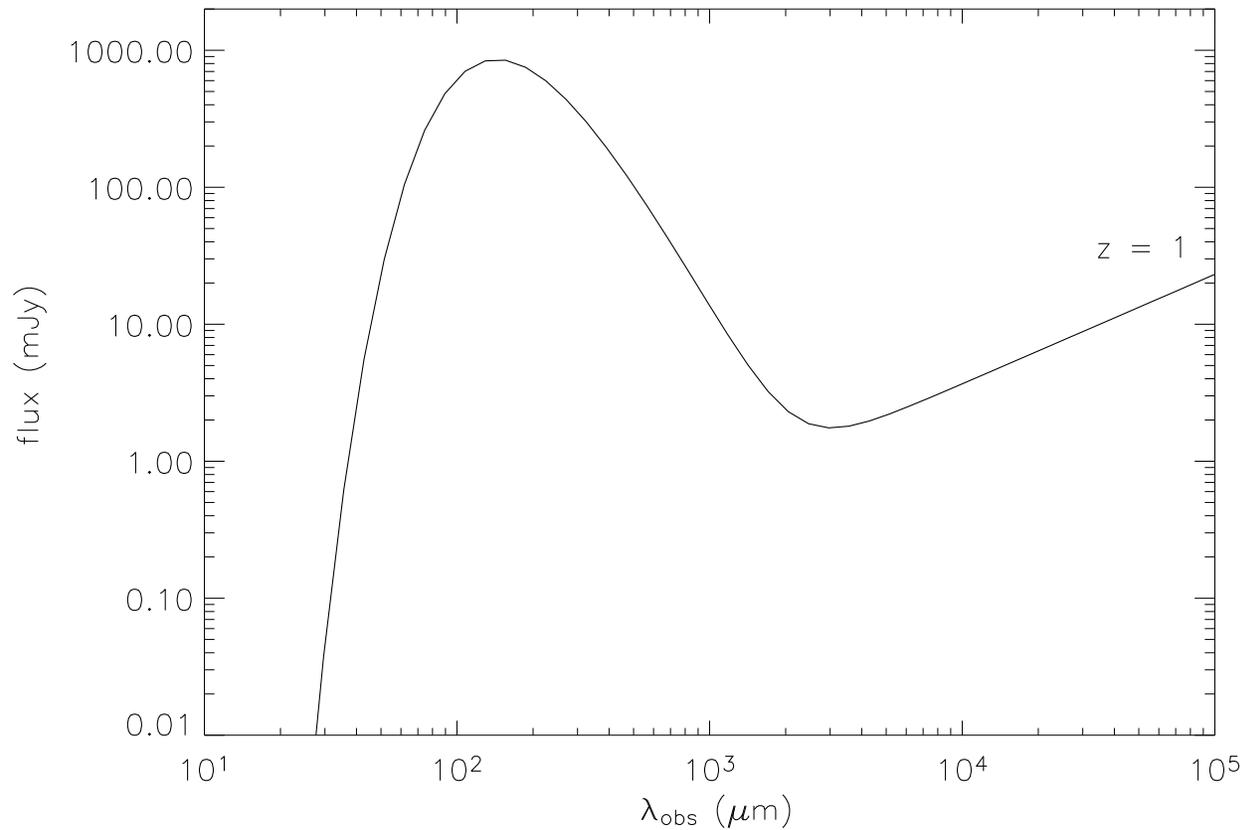
- Quasars
- Décalage spectral vers le rouge z





Introduction - Rappel

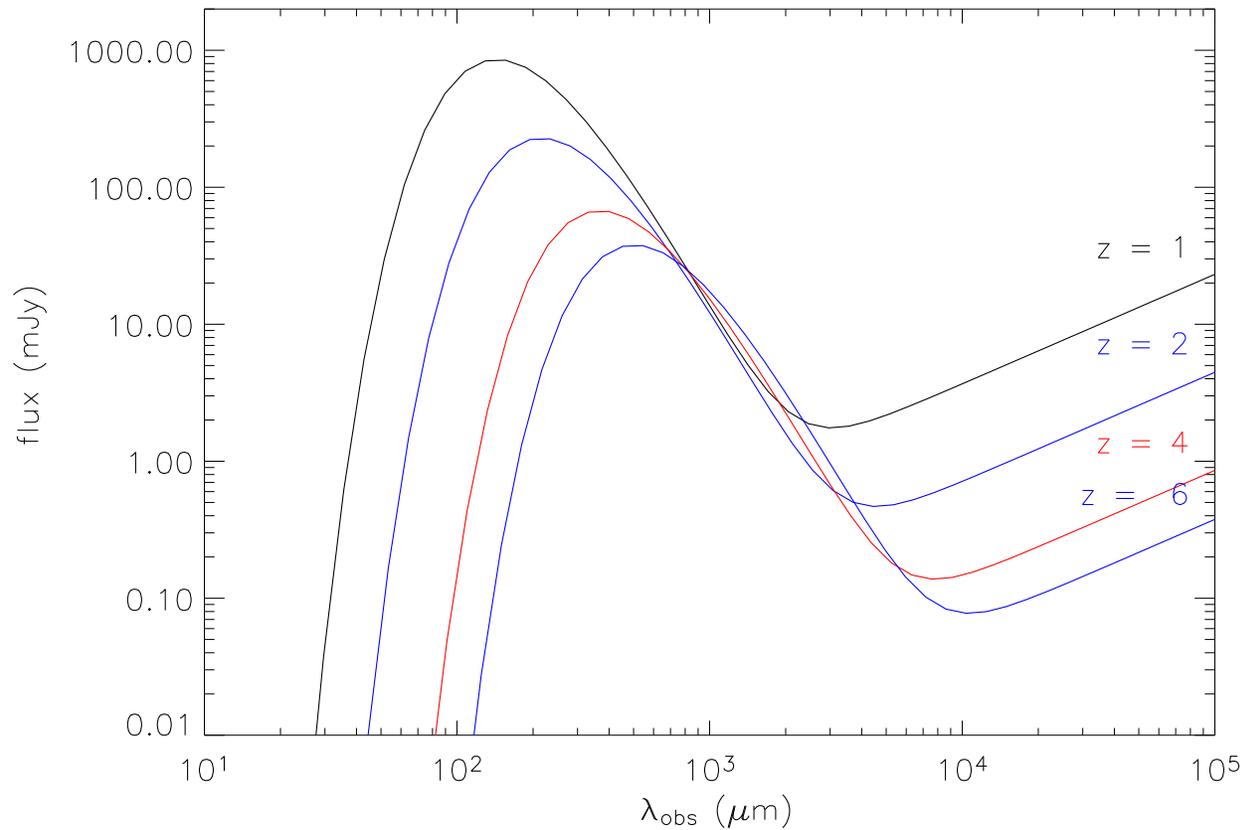
- Quasars
- Décalage spectral vers le rouge z
- Correction K inverse





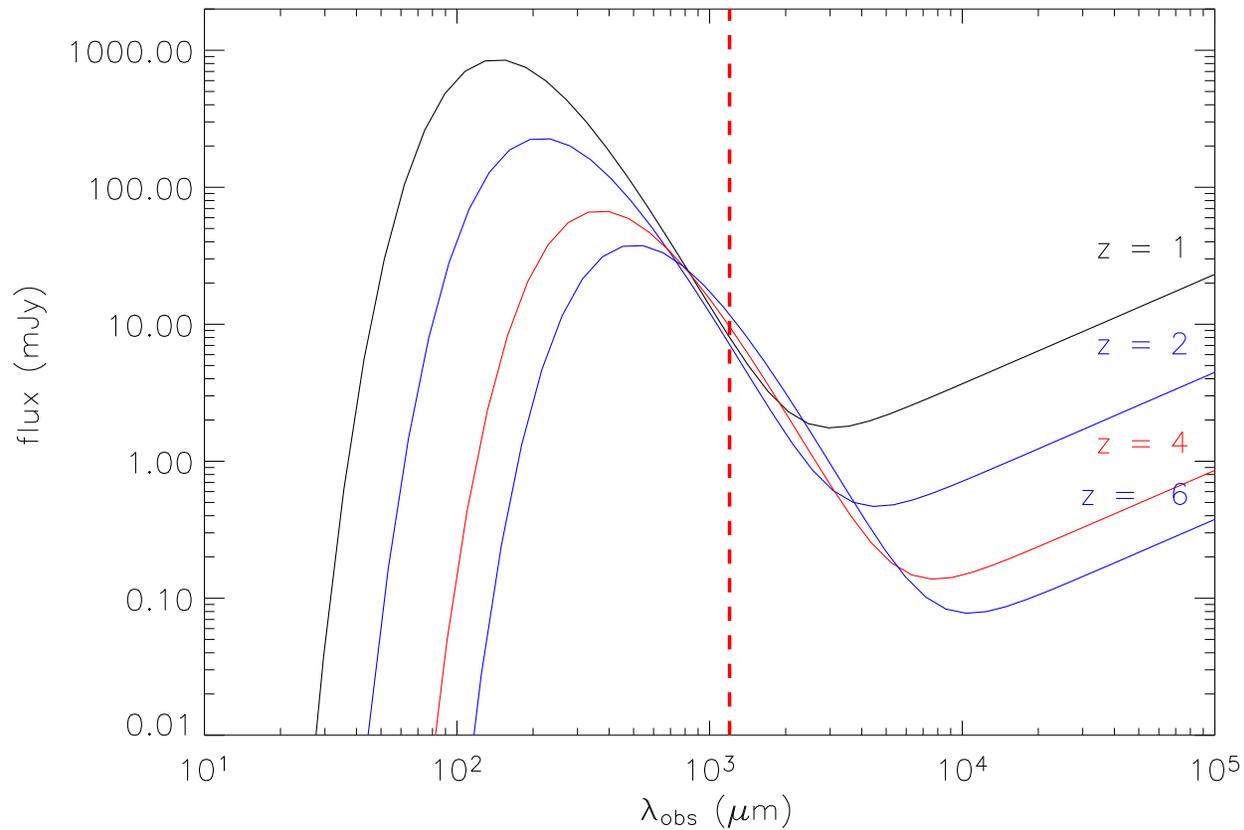
Introduction - Rappel

- Quasars
- Décalage spectral vers le rouge z
- Correction K inverse



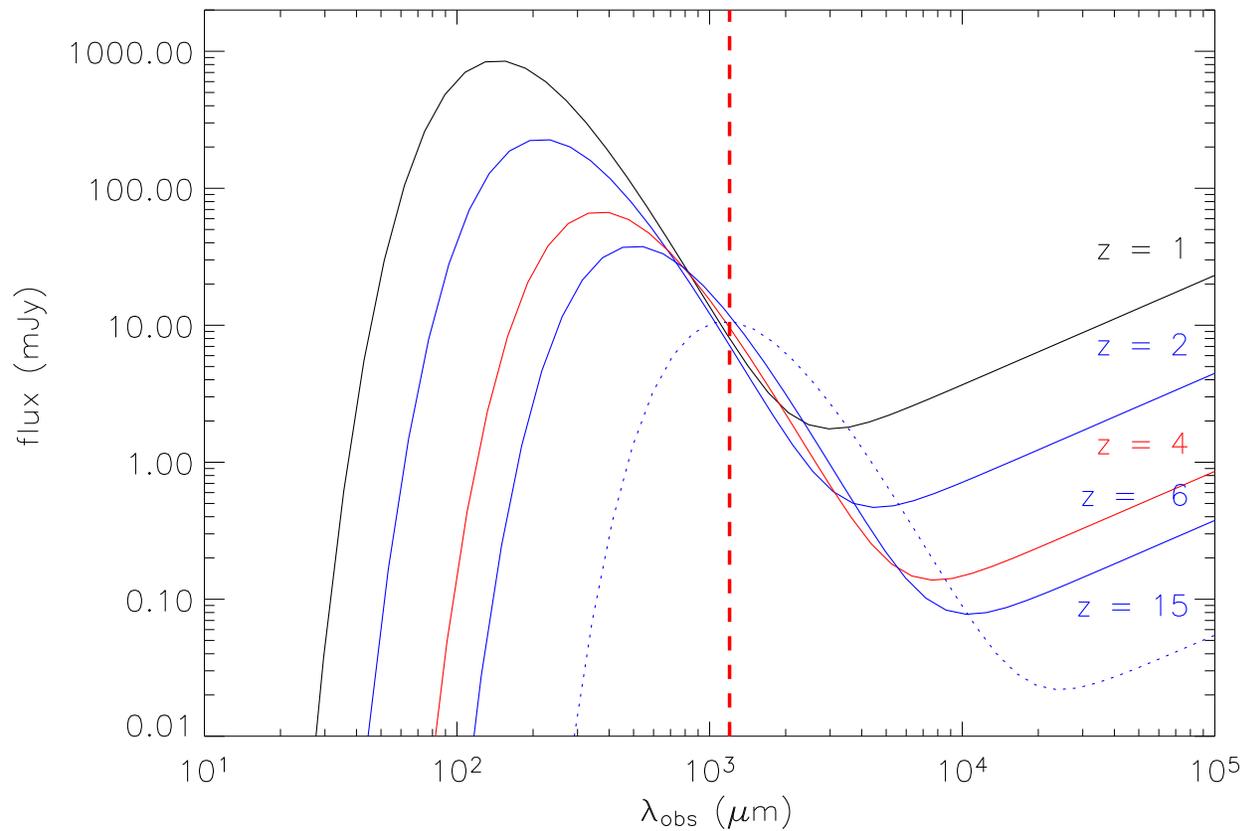
Introduction - Rappel

- Quasars
- Décalage spectral vers le rouge z
- Correction K inverse



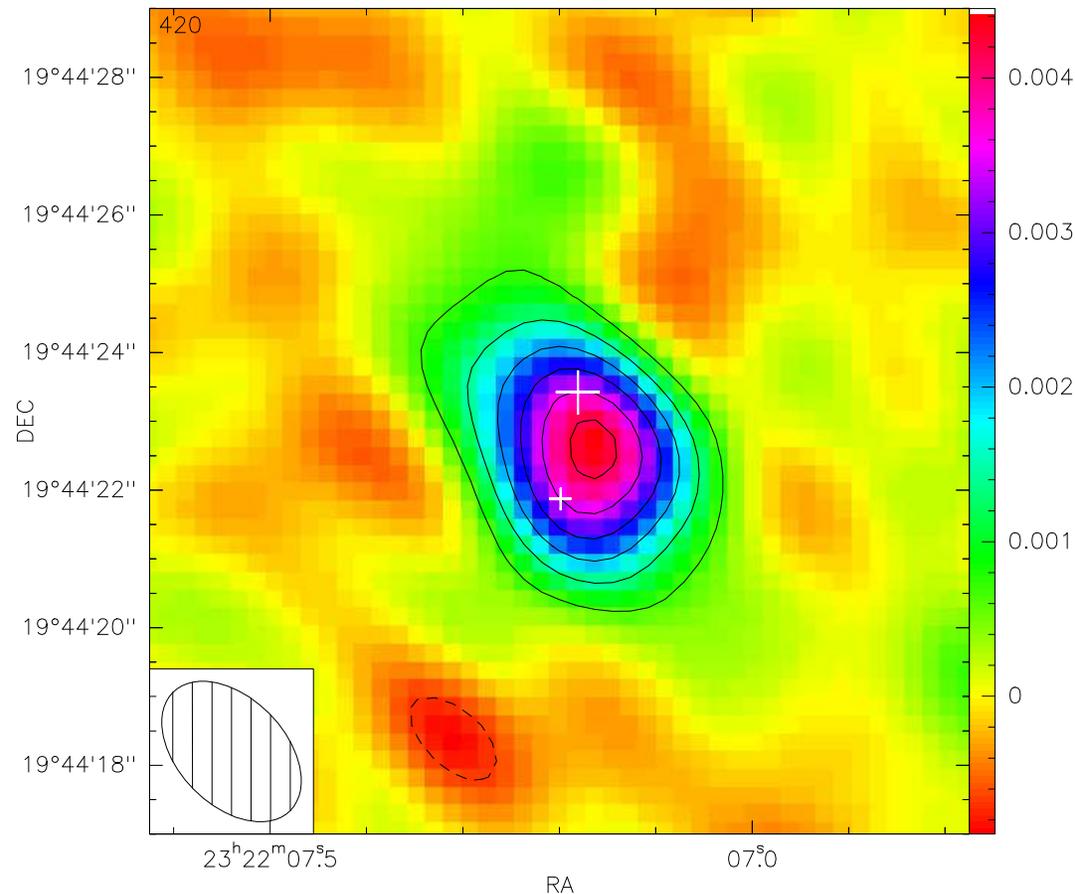
Introduction - Rappel

- Quasars
- Décalage spectral vers le rouge z
- Correction K inverse



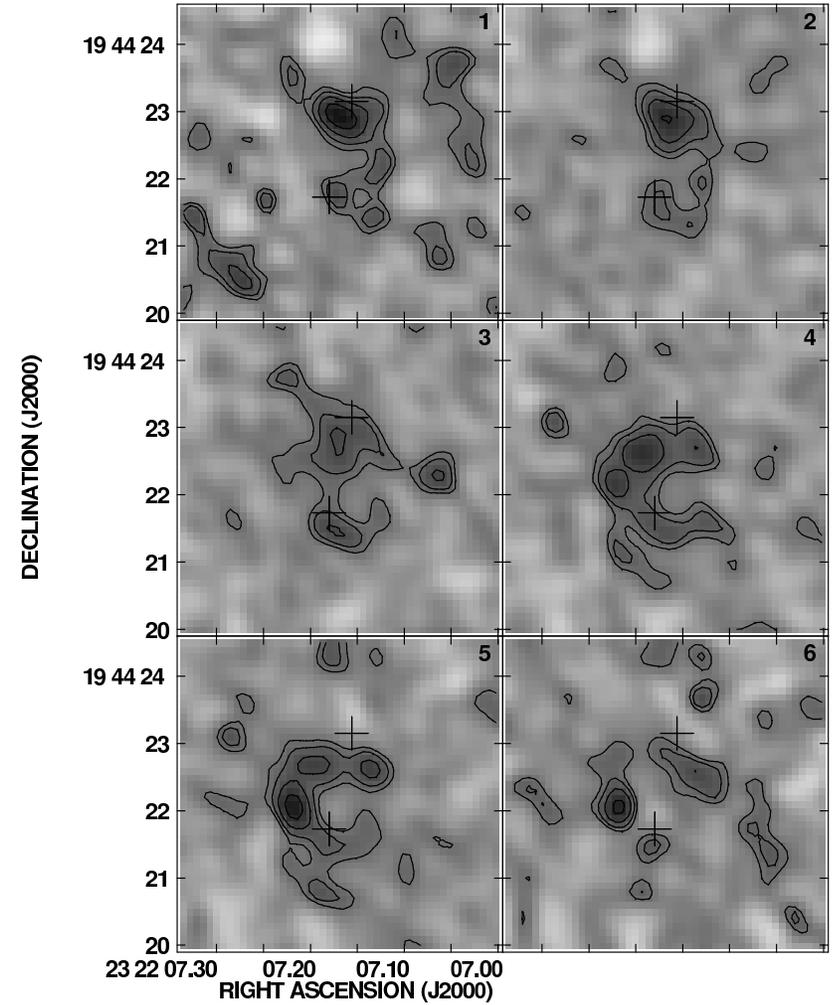
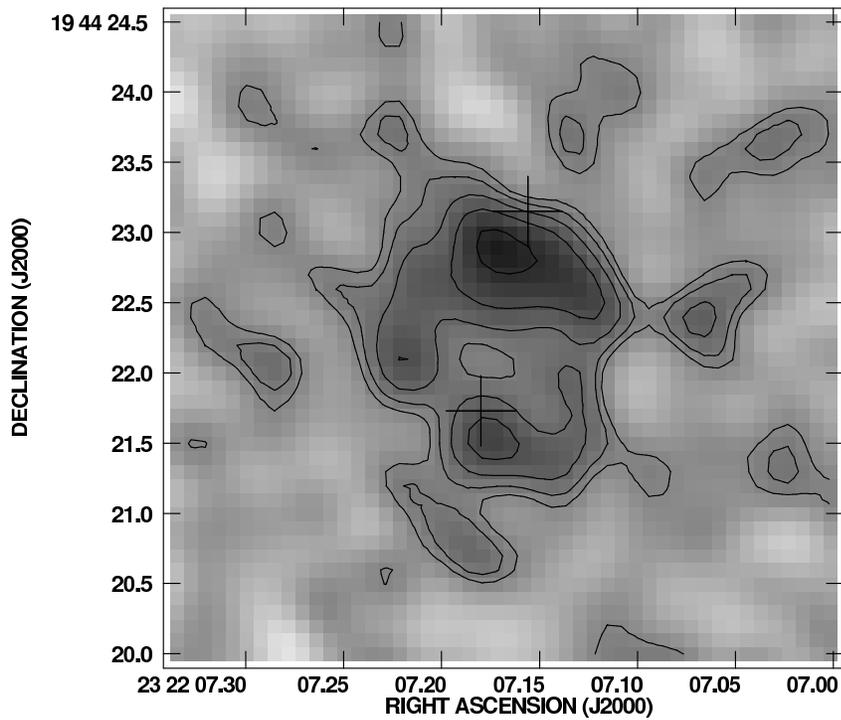
Des nouvelles de Pss 2322+1944

- Quasar à $z = 4.11$
- *Extension de la source vers le sud-ouest*
- *Source résolue*
- *Extension compatible avec Carilli et al.*



Des nouvelles de Pss 2322+1944

Carilli et al. (2003)

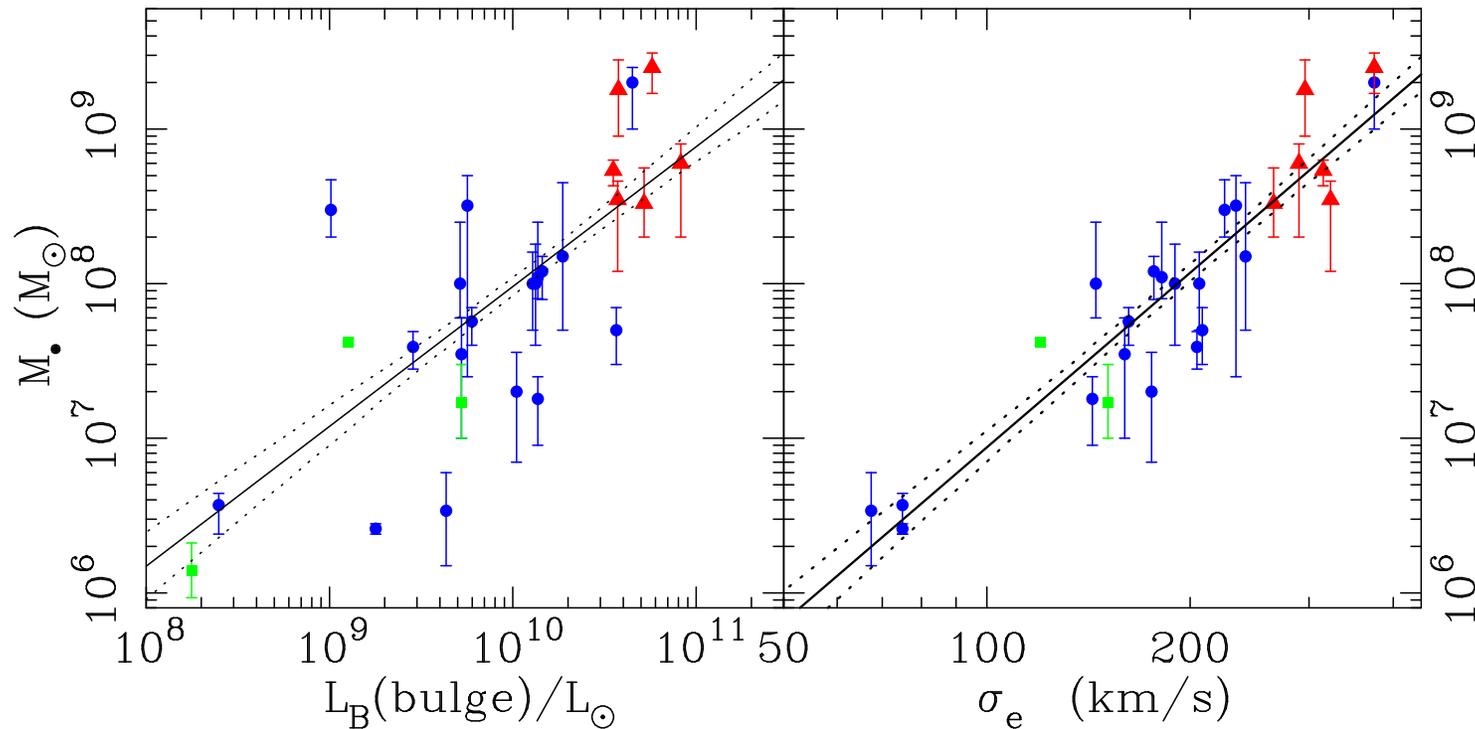




Formation stellaire à grand décalage spectral

Univers Local

- Galaxies sphéroïdales locales & trous noirs massifs



(Gebhardt et al. 2000)

- Les quasars ont des trous noirs avec $M_{\text{BH}} > 10^9 M_{\odot}$



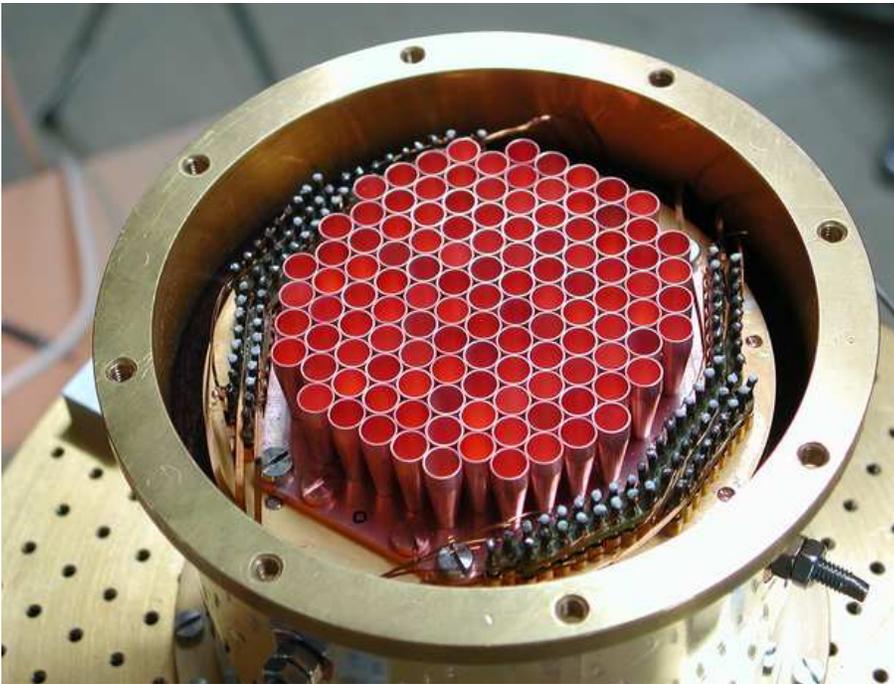
Relevés MAMBO au 30-m de l'IRAM

- Etude de l'émission de la poussière à grand z
 - A $z = 4$, Omont et al. (2001); Carilli et al. (2001)
 - A $z = 2$, *Omont et al. (2003)*
 - A $z = 6.4$, Bertoldi et al. (2003)

Relevés MAMBo au 30-m de l'IRAM

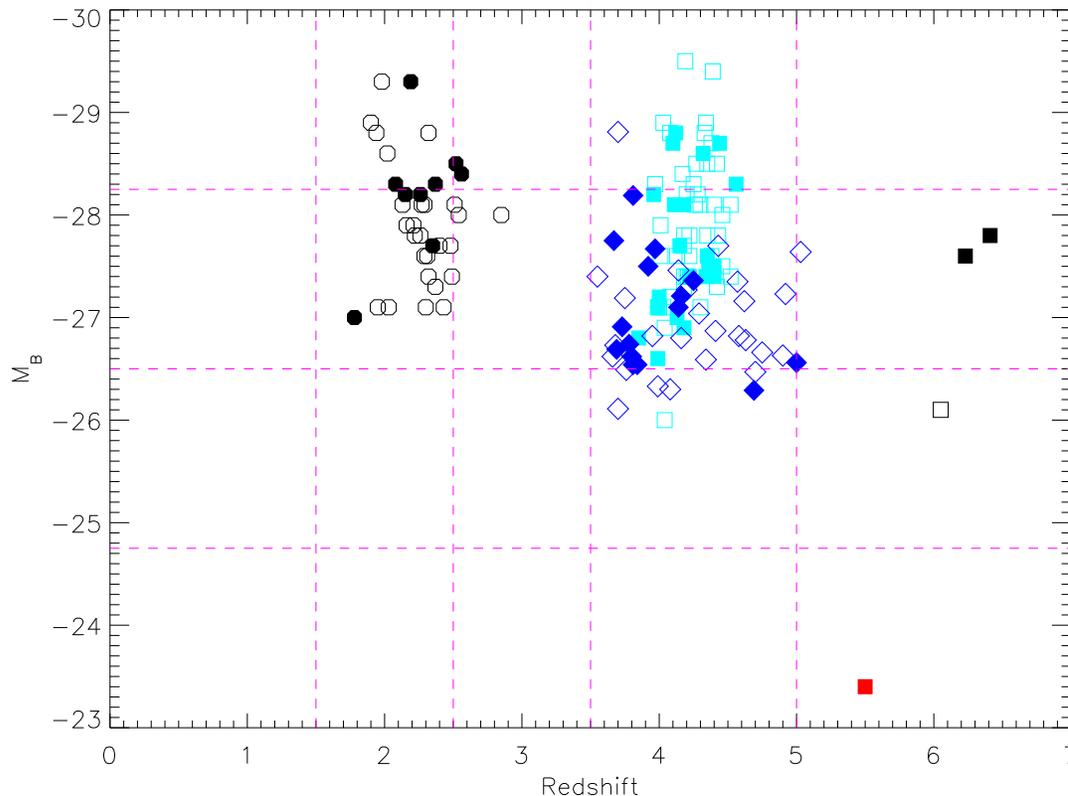
- Etude de l'émission de la poussière à grand z
- MAX PLANCK MILLIMETER BOLOMETER ARRAY @ IRAM 30m

117 ch. @ 250 GHz (1.2 mm)



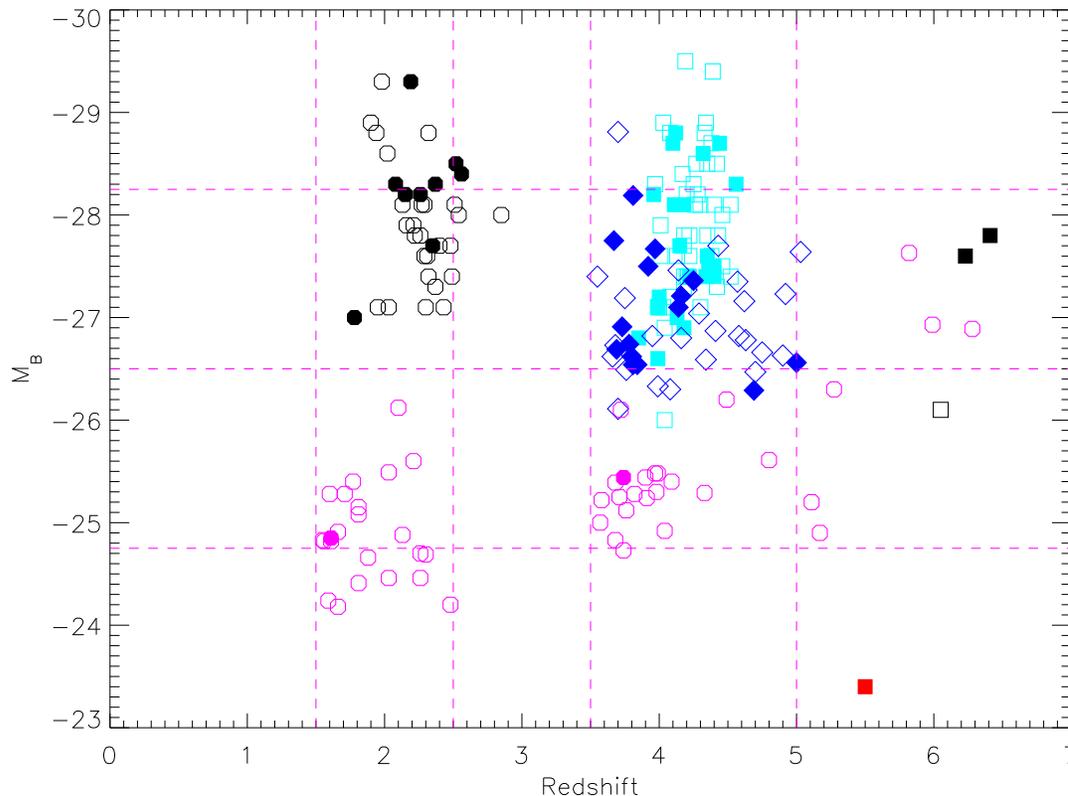
Relevés MAMBO au 30-m de l'IRAM

- Etude de l'émission de la poussière à grand z
- MAX PLANCK MILLIMETER BOLOMETER ARRAY @ IRAM 30m
- Sélection de Quasars lumineux en optique
 - PSS, Véron-Cetty & Véron, SDSS



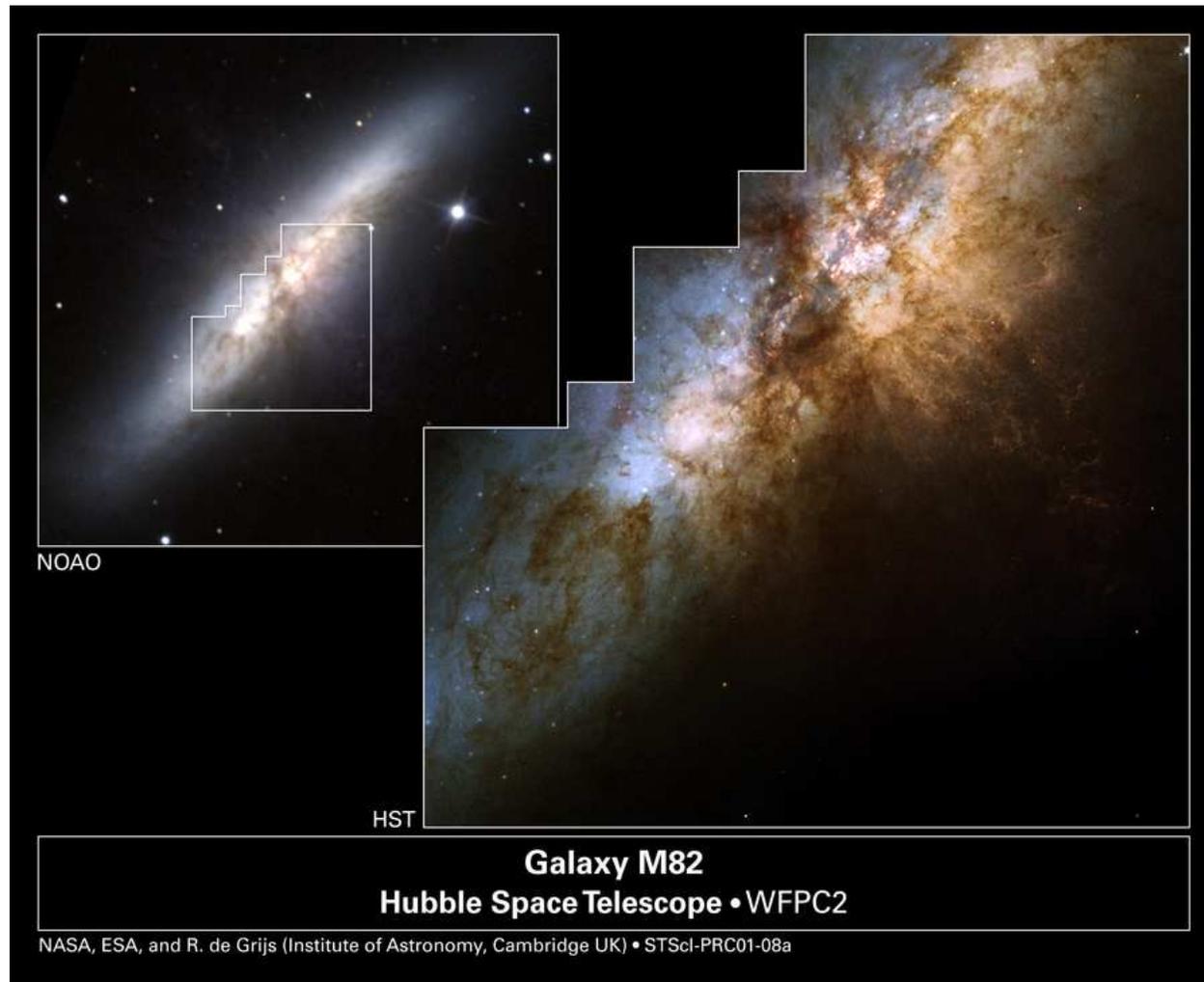
Relevés MAMBO au 30-m de l'IRAM

- Etude de l'émission de la poussière à grand z
- MAX PLANCK MILLIMETER BOLOMETER ARRAY @ IRAM 30m
- Sélection de Quasars lumineux en optique
 - PSS, Véron-Cetty & Véron, SDSS



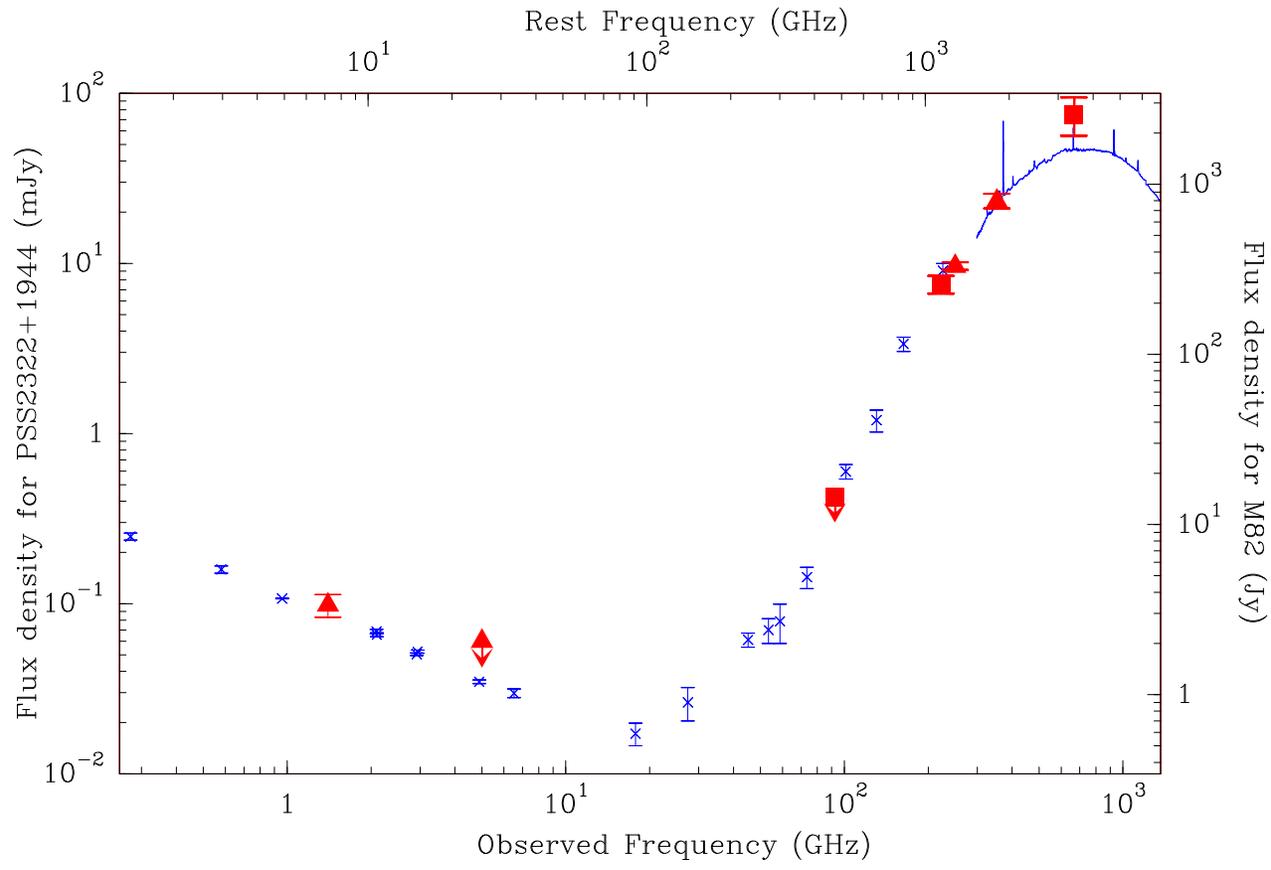
Poussière à grand z

- Messier 82 comme étalon



Poussière à grand z

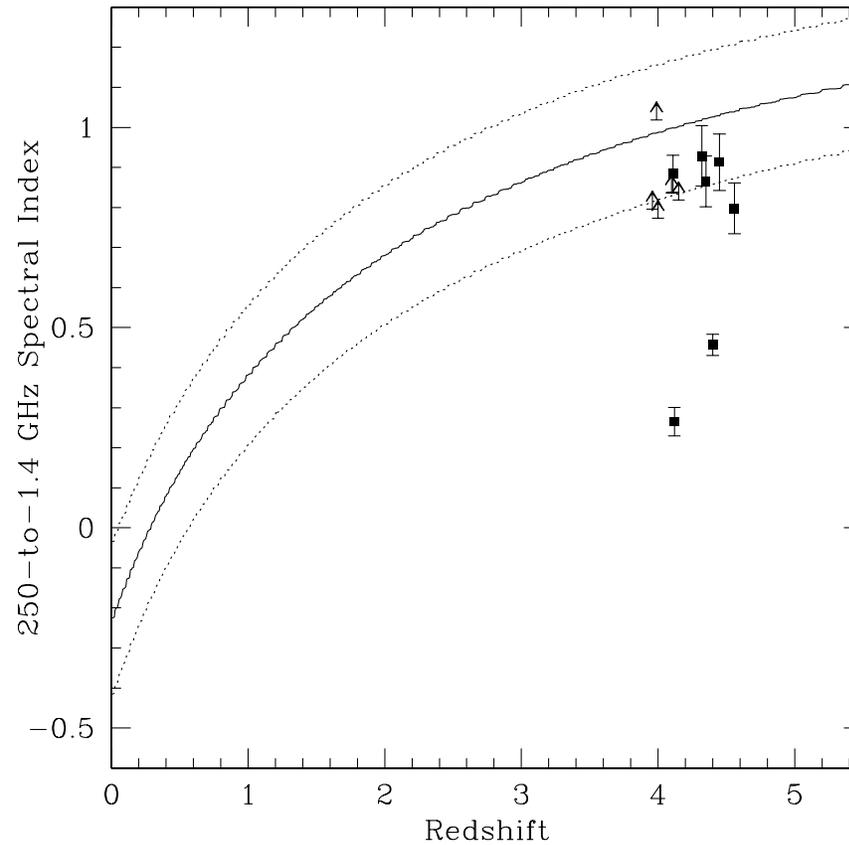
- Messier 82 comme étalon



(Cox et al. 2002)

Poussière à grand z

- Messier 82 comme étalon
- L'indice spectral radio-millimétrique



(Carilli et al. 2001)



Poussière à grand z

- Messier 82 comme étalon
- L'indice spectral radio-millimétrique

- Nous pouvons voir de la poussière à grand z
- Probablement chauffée par des flambées de formation stellaire



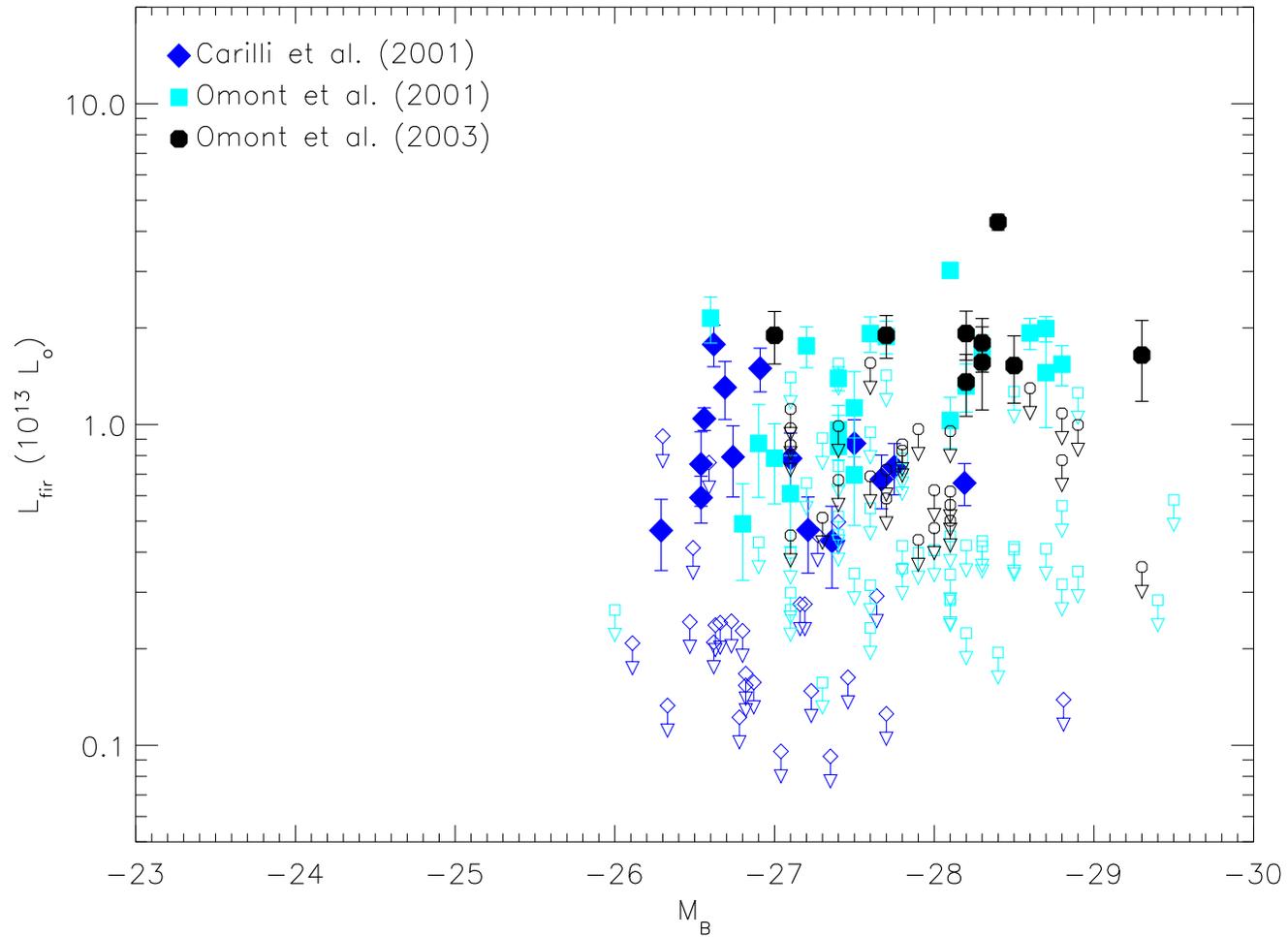
Poussière à grand z

- Messier 82 comme étalon
- L'indice spectral radio-millimétrique

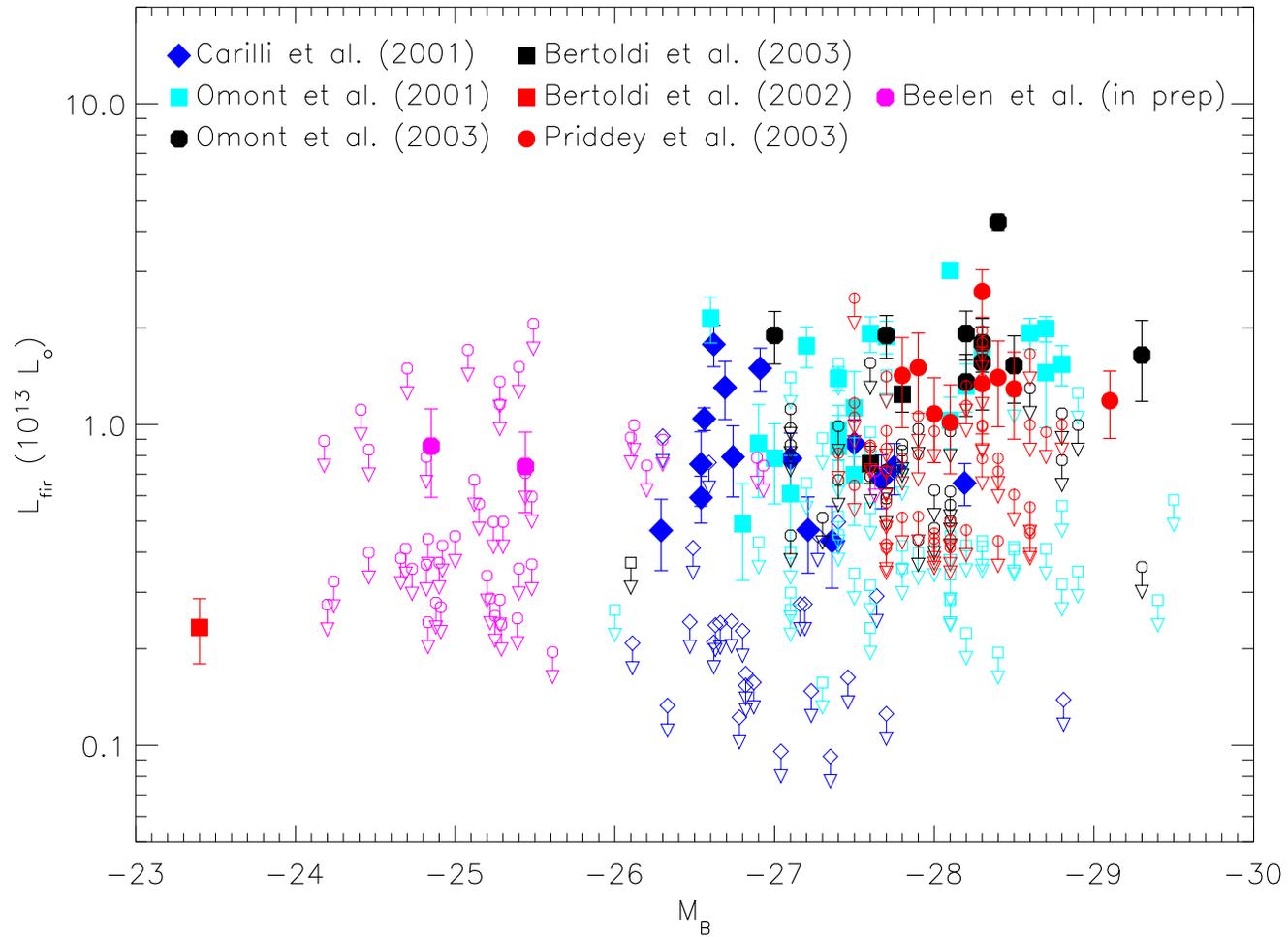
- Nous pouvons voir de la poussière à grand z
- Probablement chauffée par des flambées de formation stellaire

- Luminosité infrarouge lointaine $\approx 10^{13} L_{\odot}$
- Masse de poussière $\approx 10^8 M_{\odot}$
- Taux de formation stellaire $\approx 1000 M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$

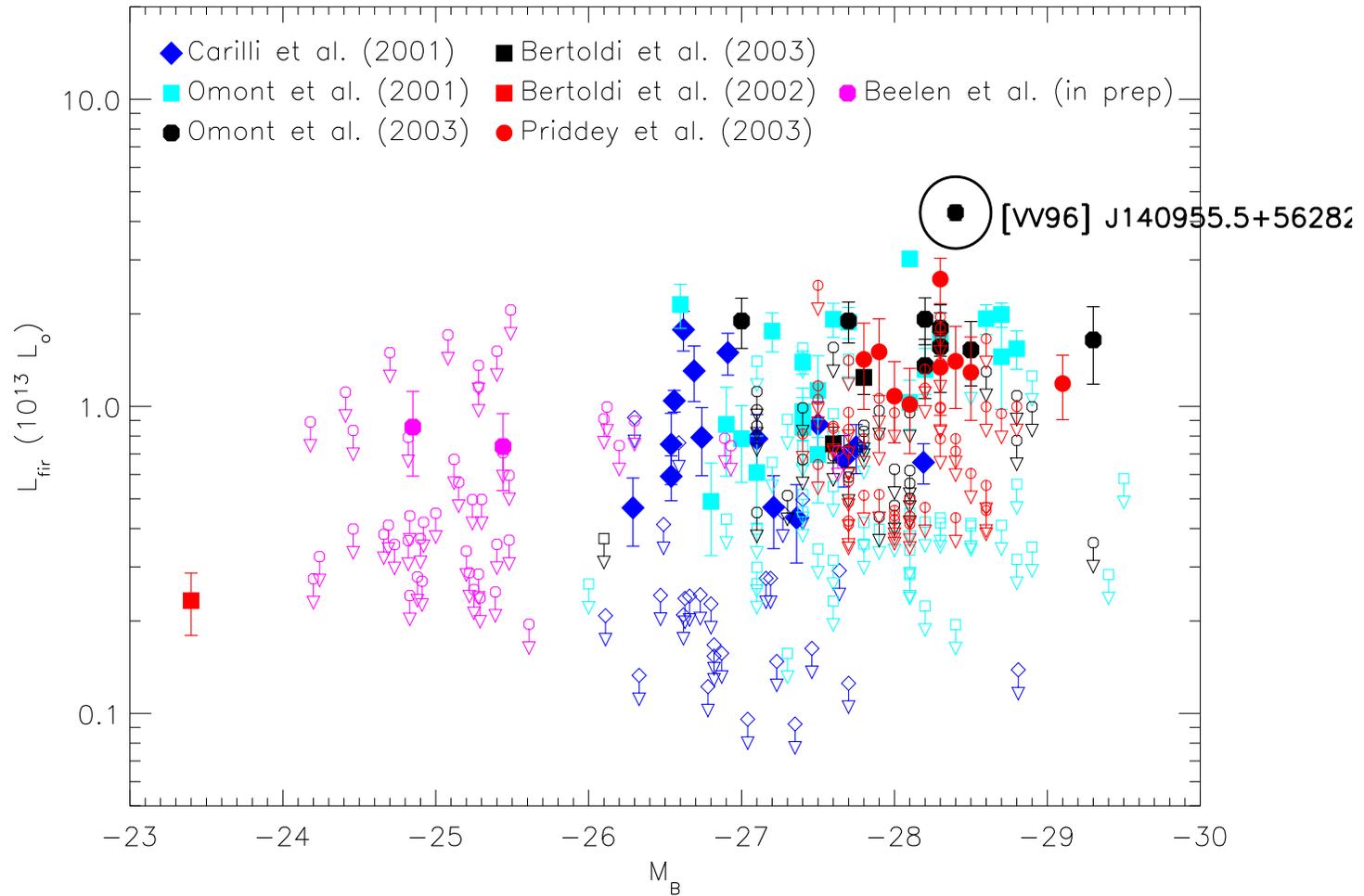
Chaînon Manquant ?



Chaînon Manquant ?



Chaînon Manquant ?





De larges réservoirs de gaz

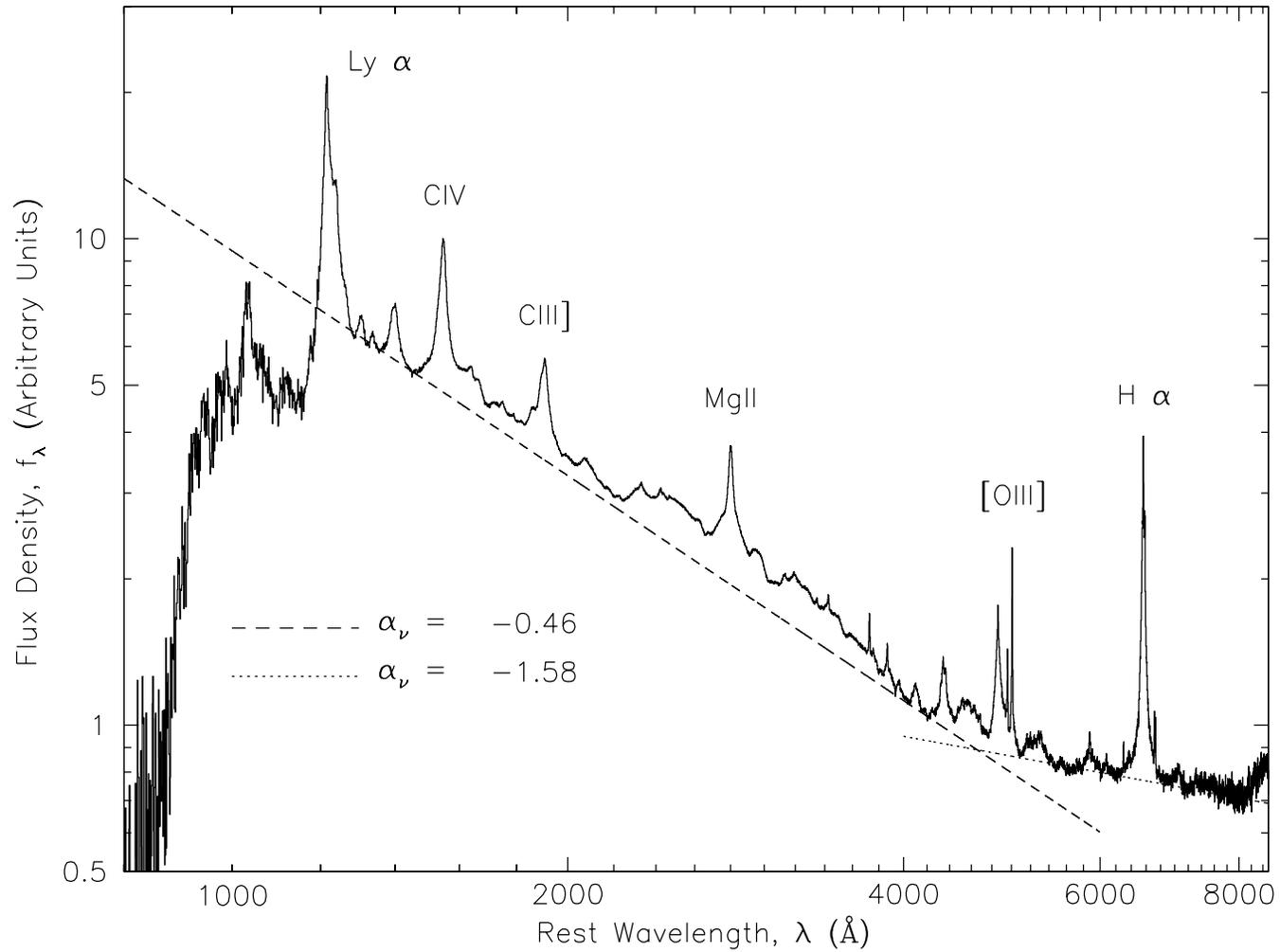


Detecter du gaz à grand z

Recette :

- Sélectionner un quasar très lumineux en infrarouge
- Estimer son décalage spectral
 - spectre optique ou infrarouge
- L'observer avec un instrument sensible
 - à la bonne fréquence
- Laisser *chauffer* les recepteurs
- Dépouiller à point
- Servir avec les conditions d'excitations du gaz

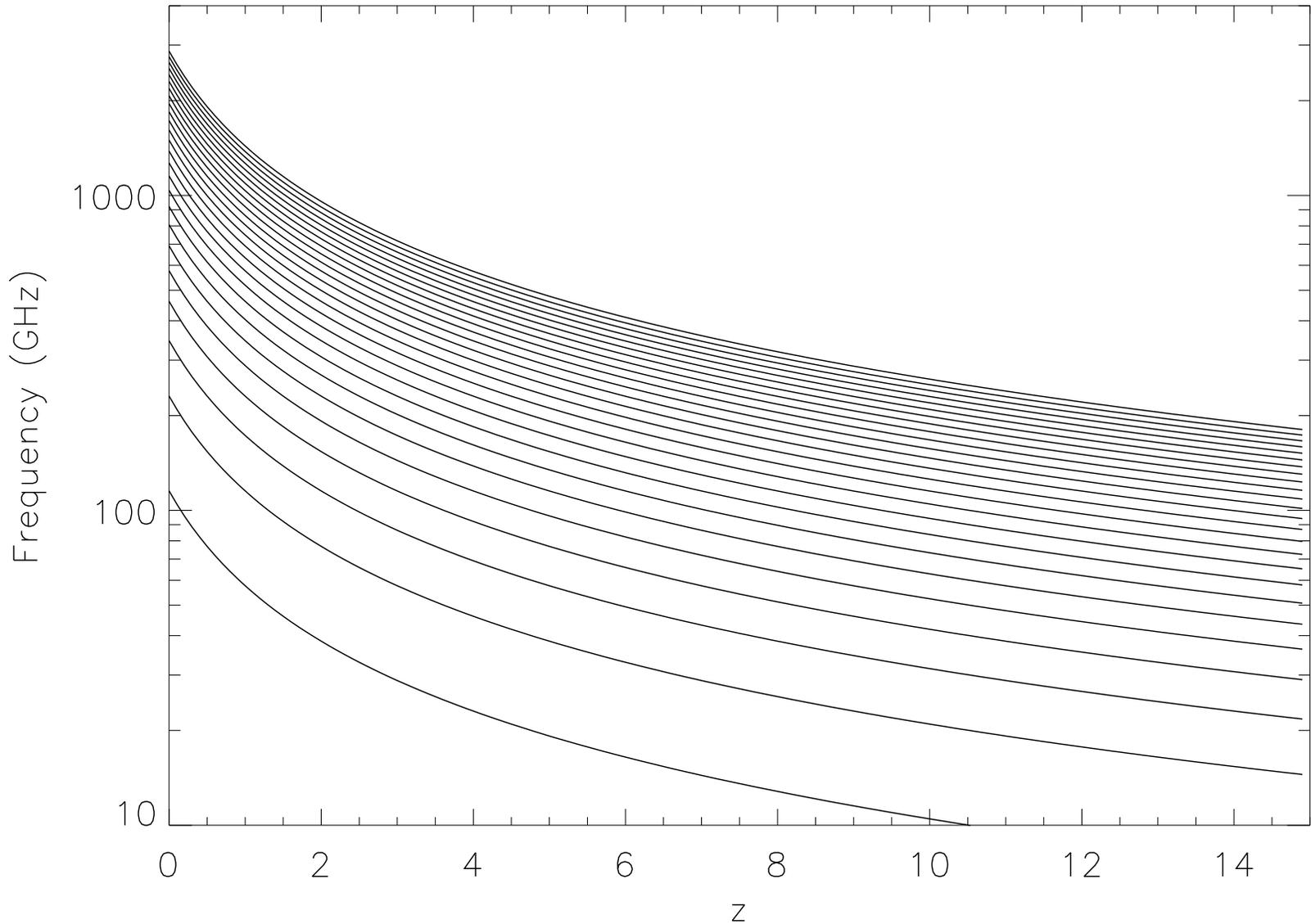
Estimer le décalage spectral



Vanden Berk et al. (2001)

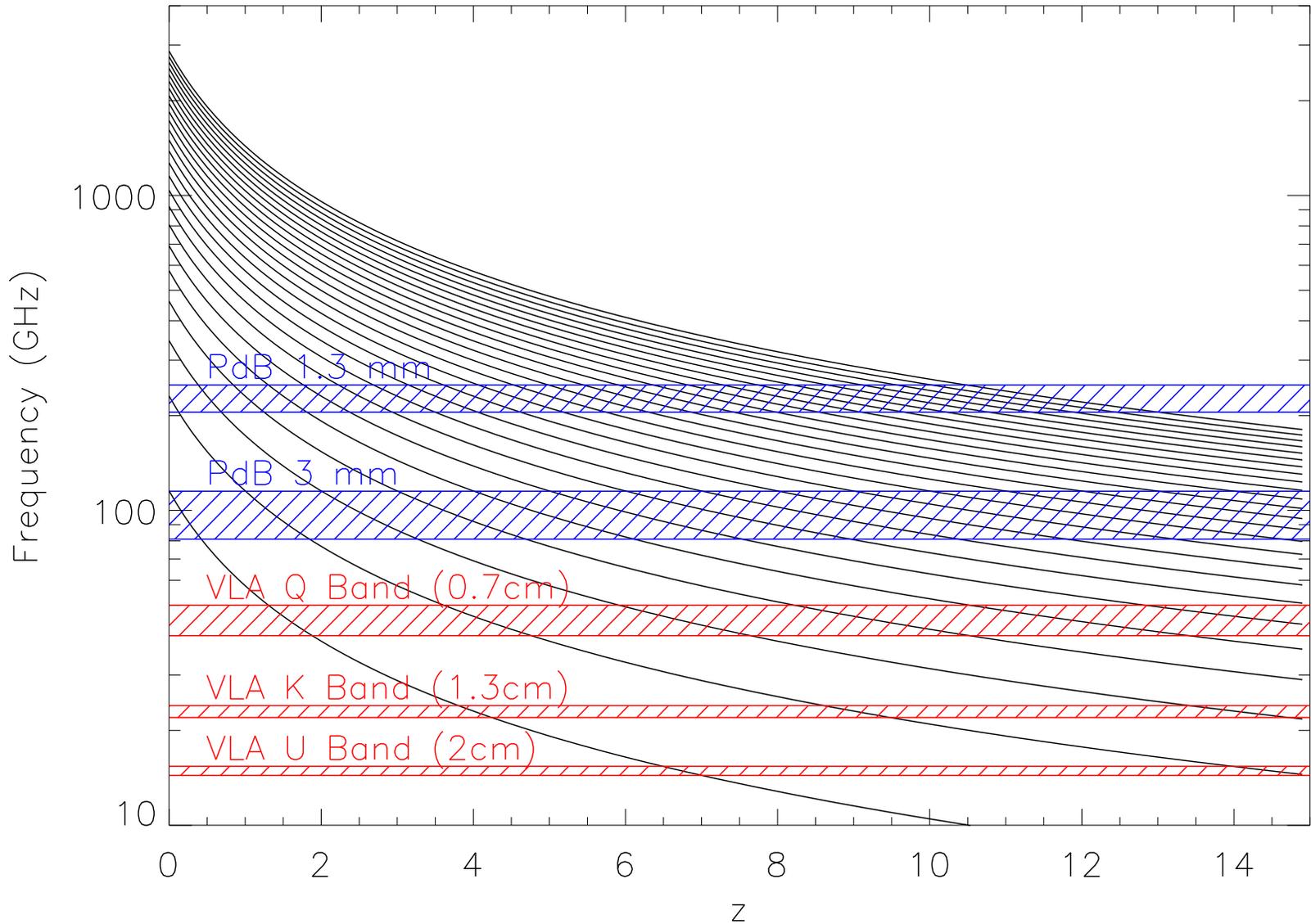


Observer à la bonne fréquence



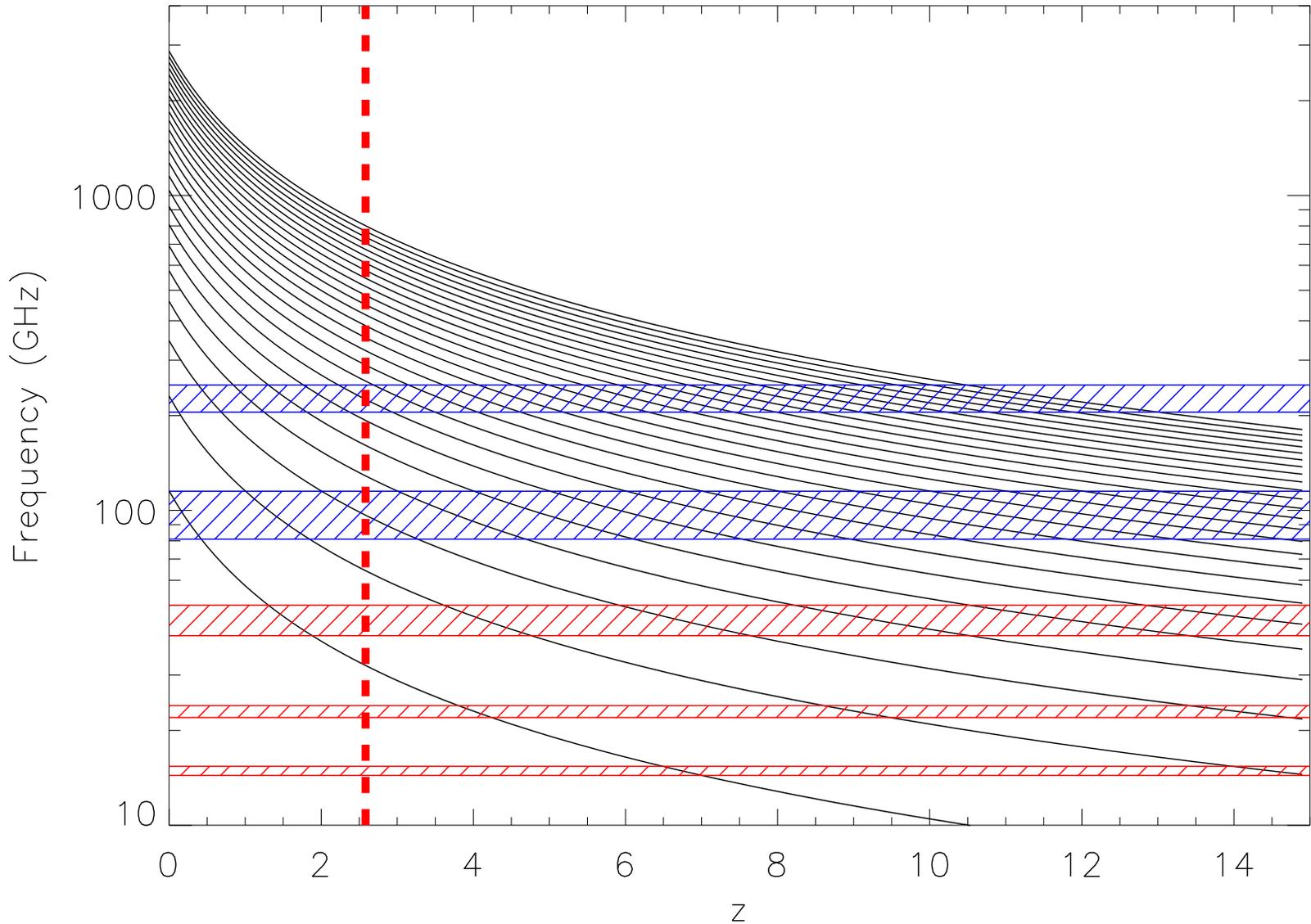


Observer à la bonne fréquence





Observer à la bonne fréquence



avec un instrument sensible

- PLATEAU DE BURE INTERFEROMETER





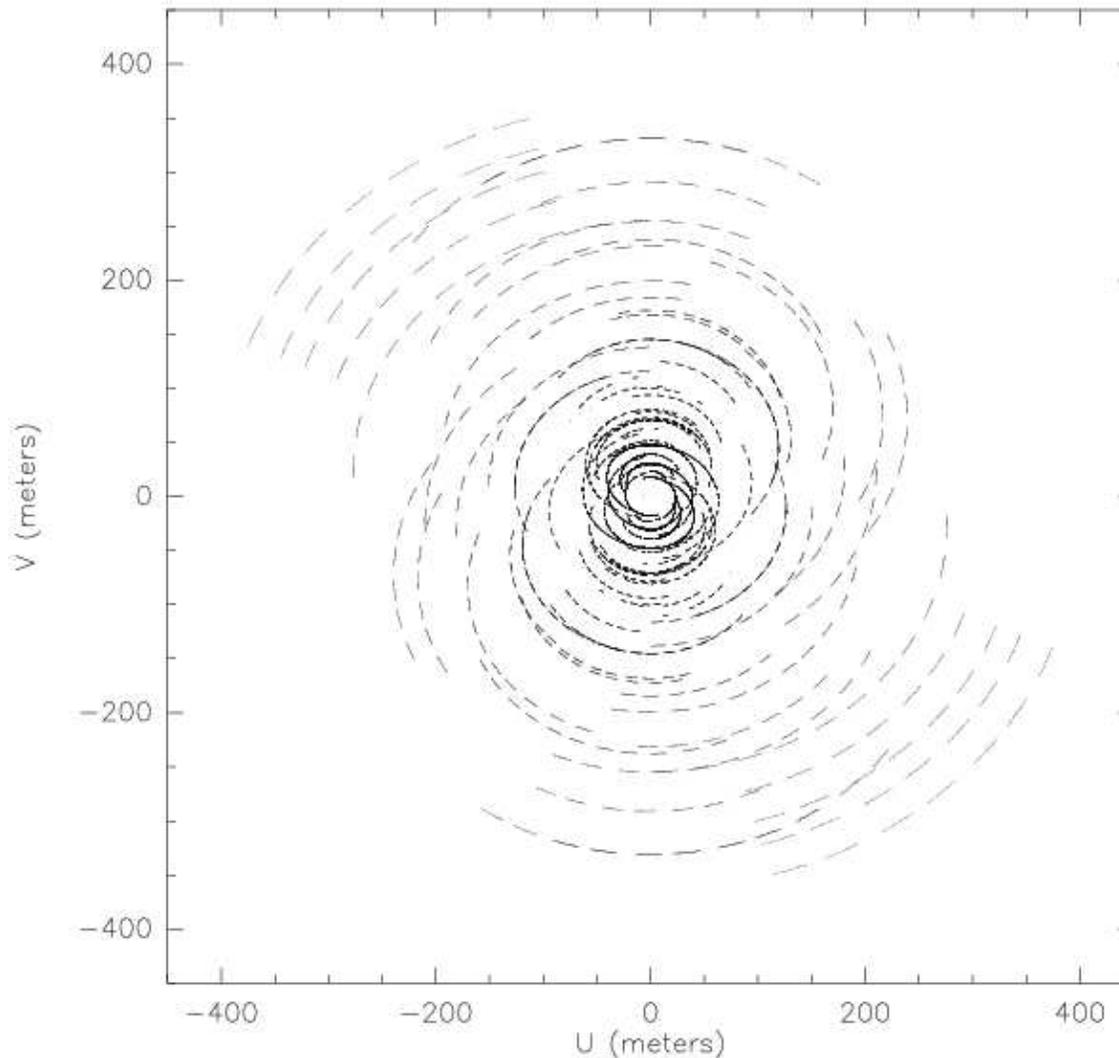
avec un instrument sensible

● VERY LARGE ARRAY



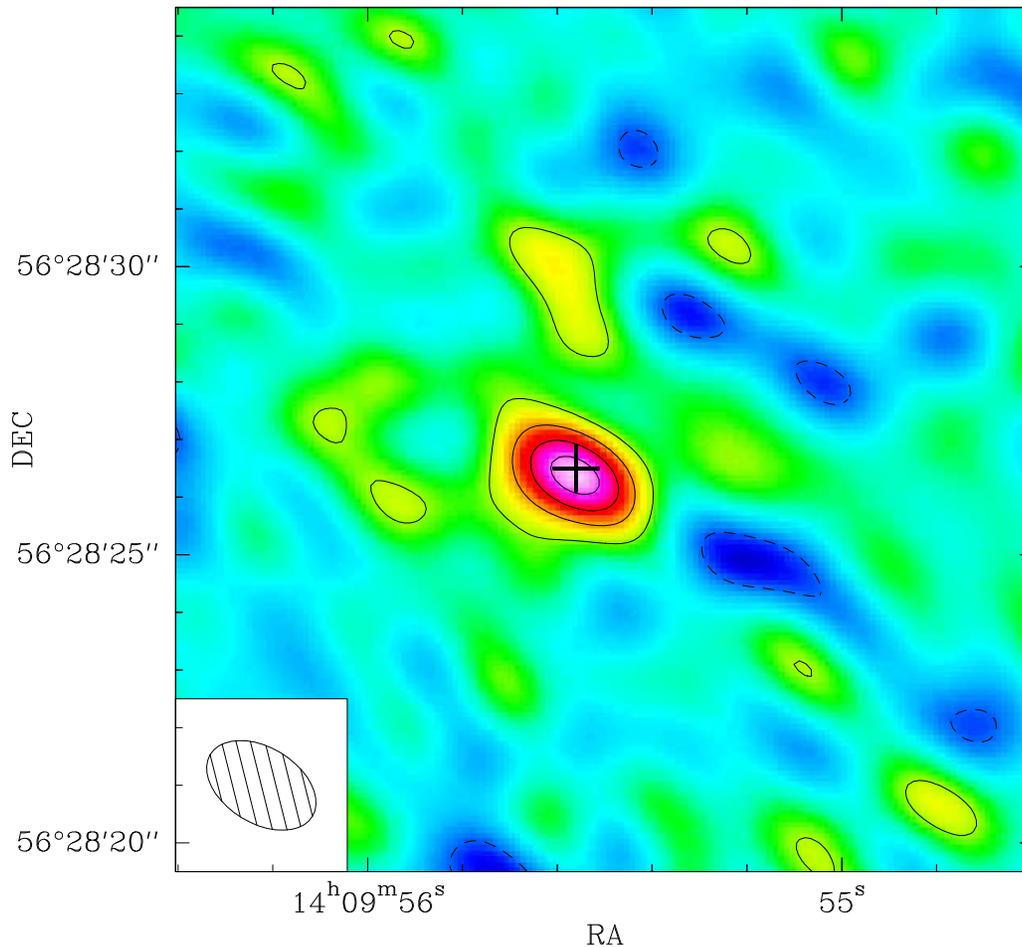
Observer avec un interféromètre

- On observe des **visibilités** dans le plan de Fourier



Observer avec un interferomètre

- On observe des **visibilités** dans le plan de Fourier
- Calibration & Transformée de Fourier inverse



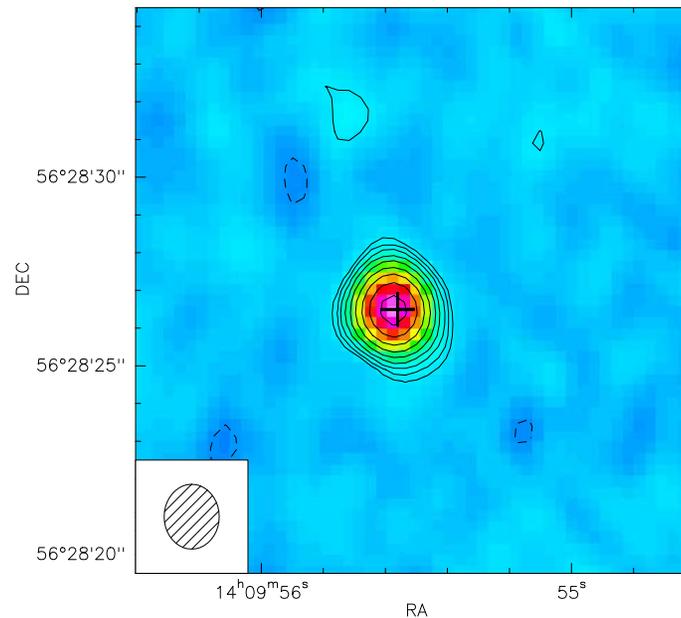


[VV96] J140955.5+562827

- Détecté at 1.25 mm par Omont et al. (2003)
- $L_{\text{FIR}} = (4.3 \pm 0.2) \times 10^{13} L_{\odot}$
- $SFR = \delta_{\text{MF}} L_{\text{FIR}} = 6 \times 10^3 M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$
- Pas d'évidence pour de l'amplification gravitationnelle

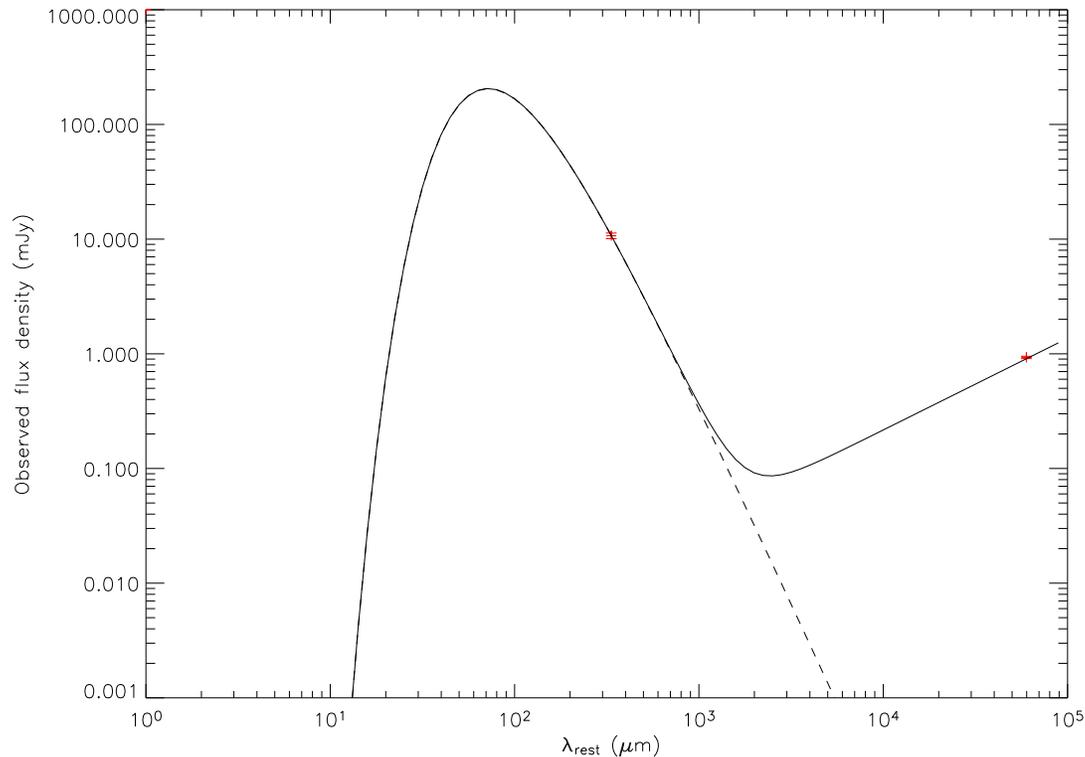
[VV96] J140955.5+562827

- Détecté at 1.25 mm par Omont et al. (2003)
- Pas d'évidence pour de l'amplification gravitationnelle
- Recherche de la contrepartie radio avec le VLA
 - Tester l'hypothèse de flambée d'étoile

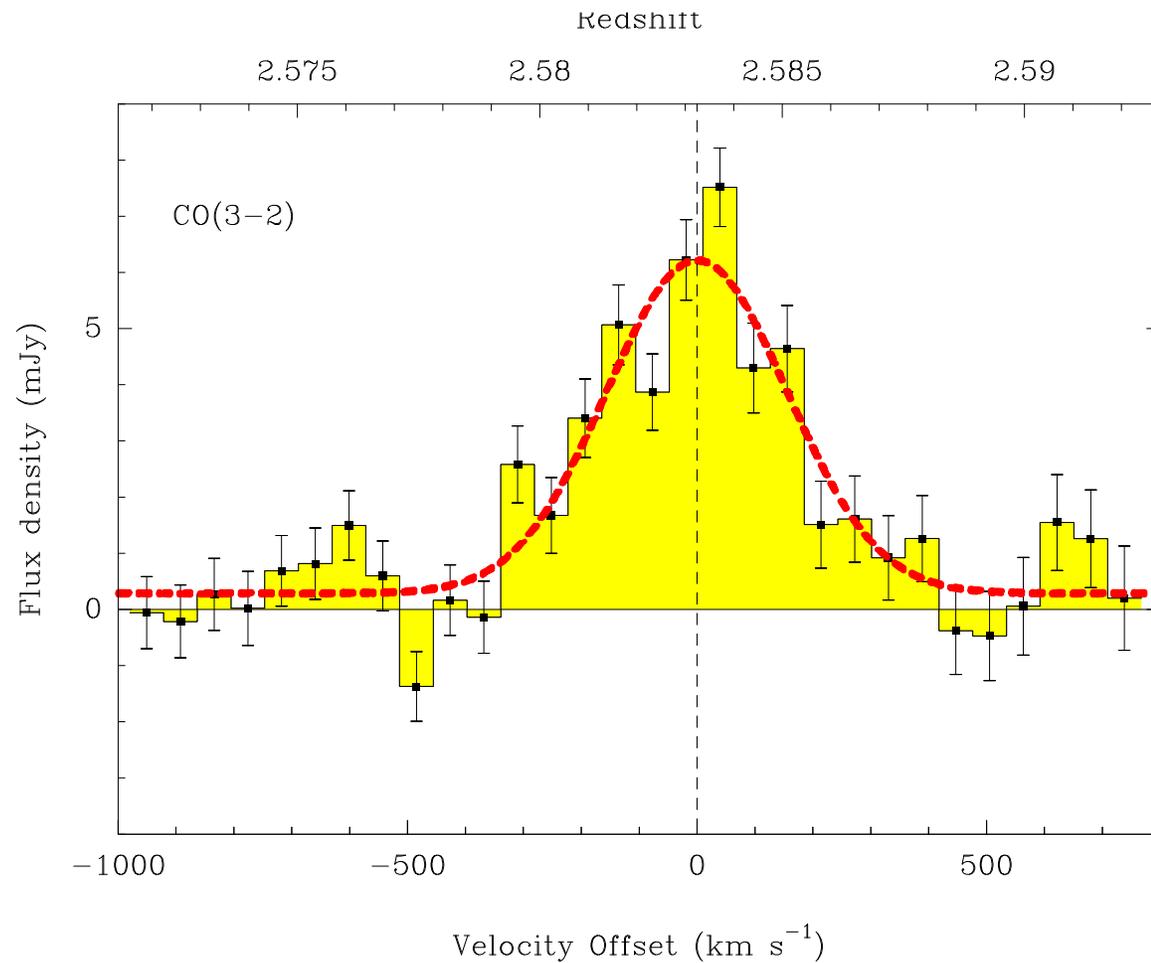


[VV96] J140955.5+562827

- Détecté at 1.25 mm par Omont et al. (2003)
- Pas d'évidence pour de l'amplification gravitationnelle
- Recherche de la contrepartie radio avec le VLA
 - Tester l'hypothèse de flambée d'étoile



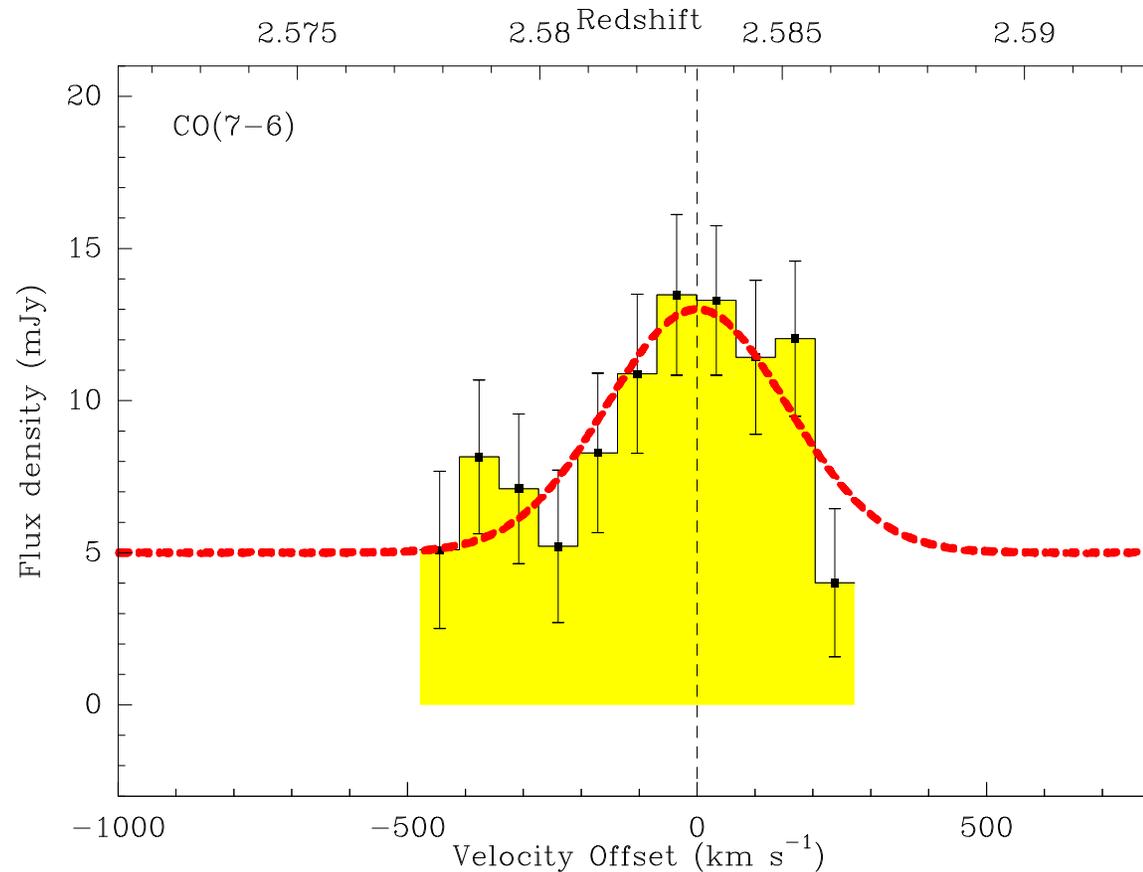
- Raie en émission du CO (3→2)





[VV96] J140955.5+562827

- Raie en émission du CO (3→2)
- Raie en émission du CO (7→6) + continuum





[VV96] J140955.5+562827

- Raie en émission du CO (3→2)
- Raie en émission du CO (7→6) + continuum

- $z_{\text{CO}} = 2.5832 \pm 0.0001$
- $M_{\text{H}_2} \approx 6 \times 10^{10} M_{\odot}$
- $\tau_{\text{H}_2} \approx 10$ million d'années



[VV96] J140955.5+562827

- Raie en émission du CO (3→2)
- Raie en émission du CO (7→6) + continuum
- $z_{\text{CO}} = 2.5832 \pm 0.0001$
- $M_{\text{H}_2} \approx 6 \times 10^{10} M_{\odot}$
- $\tau_{\text{H}_2} \approx 10$ million d'années
- Accrétion continue de gaz
- La fonction initiale de masse locale ne s'applique pas à grand z



Comparaison avec d'autres sources à grand z



Bibliographie et base de données

- Recensement de toutes les détections de CO à $z > 1$
- Construire une base de données cohérente
 - Position / Nature de la source
 - Coefficient d'amplification



Bibliographie et base de données

- Recensement de toutes les détections de CO à $z > 1$
- Construire une base de données cohérente
 - Position / Nature de la source
 - Coefficient d'amplification
 - Toutes les détections et non détections de CO
 - instrument/transition
 - fréquence/longueur d'onde/décalage spectral
 - flux intégré, largeur, pic
 - Avec unités, erreurs ET références



Bibliographie et base de données

- Recensement de toutes les détections de CO à $z > 1$
- Construire une base de données cohérente
 - Position / Nature de la source
 - Coefficient d'amplification
 - Toutes les détections et non détections de CO
 - Toutes les mesures de continuums
 - instrument
 - fréquence/longueur d'onde observée
 - fluxs, erreurs
 - Avec unités ET références



Bibliographie et base de données

- Recensement de toutes les détections de CO à $z > 1$
- Construire une base de données cohérente
 - Position / Nature de la source
 - Coefficient d'amplification
 - Toutes les détections et non détections de CO
 - Toutes les mesures de continuums
- Une seule source d'information
 - Limiter les erreurs
 - Construire des tables/pages web/...
 - Faciliter le traitement des informations

Tables

Source Name	z	CO emission line			≈ 1 mm Cont.		Ref.
		transition	flux [Jy km s ⁻¹]	width [km s ⁻¹]	λ [mm]	S_ν [mJy]	
HR10	1.44	2 (1 5)	1.40	400	1.35	2.13 ± 0.63	[1,2]
FIRAS 10214+4724 [†]	2.29	3 (6)	4.10 ± 0.90	230 ± 30	1.20	9.60 ± 1.40	[3]
SMM J16358+4057	2.39	3 (7)	2.30 ± 0.20	840 ± 110	1.30	2.50 ± 0.40	[4]
53W002	2.39	3	1.51 ± 0.20	540 ± 100	1.30	1.70 ± 0.40	[5,6]
SMM J04431+0210 [†]	2.51	3 (7)	1.40 ± 0.20	350 ± 60	1.30	1.10 ± 0.30	[4]
H1413+117 (The Cloverleaf) [†]	2.56	3 (4 5 7)	9.90 ± 0.60	362 ± 23	1.34	7.50 ± 0.60	[7,8]
SMM J14011+0252	2.57	3	2.40 ± 0.30	200 ± 40	1.35	6.06 ± 1.46	[9,10]
MG 0414+0534 [†]	2.64	3	2.60	580	1.30	20.70 ± 1.30	[11,12]
cB58	2.73	3	0.37 ± 0.08	174 ± 43	1.20	1.06 ± 0.35	[13,14]
Q 1230+1627B	2.74	3	0.80 ± 0.26		1.35	3.33 ± 0.52	[15]
SMM J02399-0136 [†]	2.81	3	3.10 ± 0.40	> 1100	1.35	5.70 ± 1.00	[16,17]
B3 J2330+3927	3.09	4	1.30 ± 0.30	500	1.20	4.80 ± 1.20	[18]
MG 0751+2716 [†]	3.20	4	5.96 ± 0.45	390 ± 38	1.30	6.70 ± 1.30	[19,12]
SMM J09431+4700 [†]	3.35	4 (9)	1.10 ± 0.10	420 ± 50	1.30	2.30 ± 0.40	[4]
TN J0121+1320	3.52	4	1.20 ± 0.40	700	1.29	< 2.70	[20]
6C 1909+722	3.53	4	1.62 ± 0.30	530 ± 70	1.25	< 3.00	[21]
4C 60.07	3.79	4	2.50 ± 0.43	> 1000	1.25	4.50 ± 1.20	[21]
APM 08279+5255 [†]	3.91	4 (1 9)	3.70 ± 0.50	480 ± 35	1.40	17.00 ± 0.50	[22]
PSS 2322+1944 [†]	4.12	4 (1 10 2 5)	4.21 ± 0.40	375 ± 41	1.20	9.60 ± 0.50	[23,24]
BR 1335-0415	4.41	5 (2)	2.80 ± 0.30	420 ± 60	1.25	10.30 ± 1.35	[25]
BRI 0952-0115 [†]	4.43	5	0.91 ± 0.11	230 ± 30	1.25	2.78 ± 0.63	[15]
BR 1202-0725	4.70	5 (2 4 7)	2.70 ± 0.41	< 222	1.25	10.50 ± 1.50	[26,27]
SDSS J114816.64+525150.3	6.42	6 (1 3 7)	0.64 ± 0.12	232 ± 63	1.20	5.00 ± 0.60	[28,29]

Notes – [†] Source is known to be lensed. Column 3: each number corresponds to the upper level of the observed CO transition; the values in bold face are the ones for which the CO line flux and line width are listed in columns 4 and 5, respectively; the transitions in brackets list all the transitions which have been observed, italics indicating that the transition was not detected.

References – [1] Andreani et al. (2000) [2] Dey et al. (1999) [3] Solomon et al. (1992) [4] Neri et al. (2003) [5] Scoville et al. (1997) [6] Alloin et al. (2000) [7] Barvainis et al. (1997) [8] Weiß et al. (2003) [9] Frayer et al. (1999) [10] Ivison et al. (2000) [11] Barvainis et al. (1998) [12] Barvainis & Ivison (2002) [13] Baker (2003) [14] Baker et al. (2001) [15] Guilloteau et al. (1999) [16] Genzel et al. (2003) [17] Ivison et al. (1998) [18] De Breuck et al. (2003) [19] Barvainis et al. (2002) [20] de Breuck et al. (2003) [21] Papadopoulos et al. (2000) [22] Downes et al. (1999) [23] Cox et al. (2002) [24] Omont et al. (2001) [25] Guilloteau et al. (1997) [26] Ohta et al. (1996) [27] Omont et al. (1996) [28] Bertoldi et al. (2003) [29] Bertoldi et al.



Tables

- [4C 60.07](#)
- [53W002](#)
- [6C 1909+722](#)
- [APM 08279+5255](#)
- [BRI 0952-0115](#)
- [BR 1335-0415](#)
- [H1413+117 \(The Cloverleaf\)](#)
- [FIRAS 10214+4724](#)
- [HR10](#)
- [SDSS J114816.64+525150.3](#)
- [MG 0414+0534](#)
- [MG 0751+2716](#)
- [PSS 2322+1944](#)
- [SMM J02399-0136](#)
- [SMM J04431+0210](#)
- [SMM J09431+4700](#)
- [SMM J14011+0252](#)
- [SMM J16358+4057](#)
- [cB58](#)
- [B3 J2330+3927](#)
- [TN J0121+1320](#)
- [Q 1230+1627B](#)
- [BR 1202-0725](#)

4C 60.07 :

Position (J2000) :
05:12:54.80 60:30:51.7

line	integrated flux	peak flux	width	comments	Ref.
CO 4-3	2.50 ± 0.43 Jy km/s	0 ± 0 mJy	1000 ± -1 km/s		2000ApJ...528..626P

wavelength	frequency	flux density	comments	Ref.
1.25 0	mm	4.5 ± 1.2 mJy		2000ApJ...528..626P
850 0	mu	11.0 ± 1.5 mJy		2000ApJ...528..626P
3 0	mm	0 ± 0.25 mJy		2000ApJ...528..626P

53W002 :

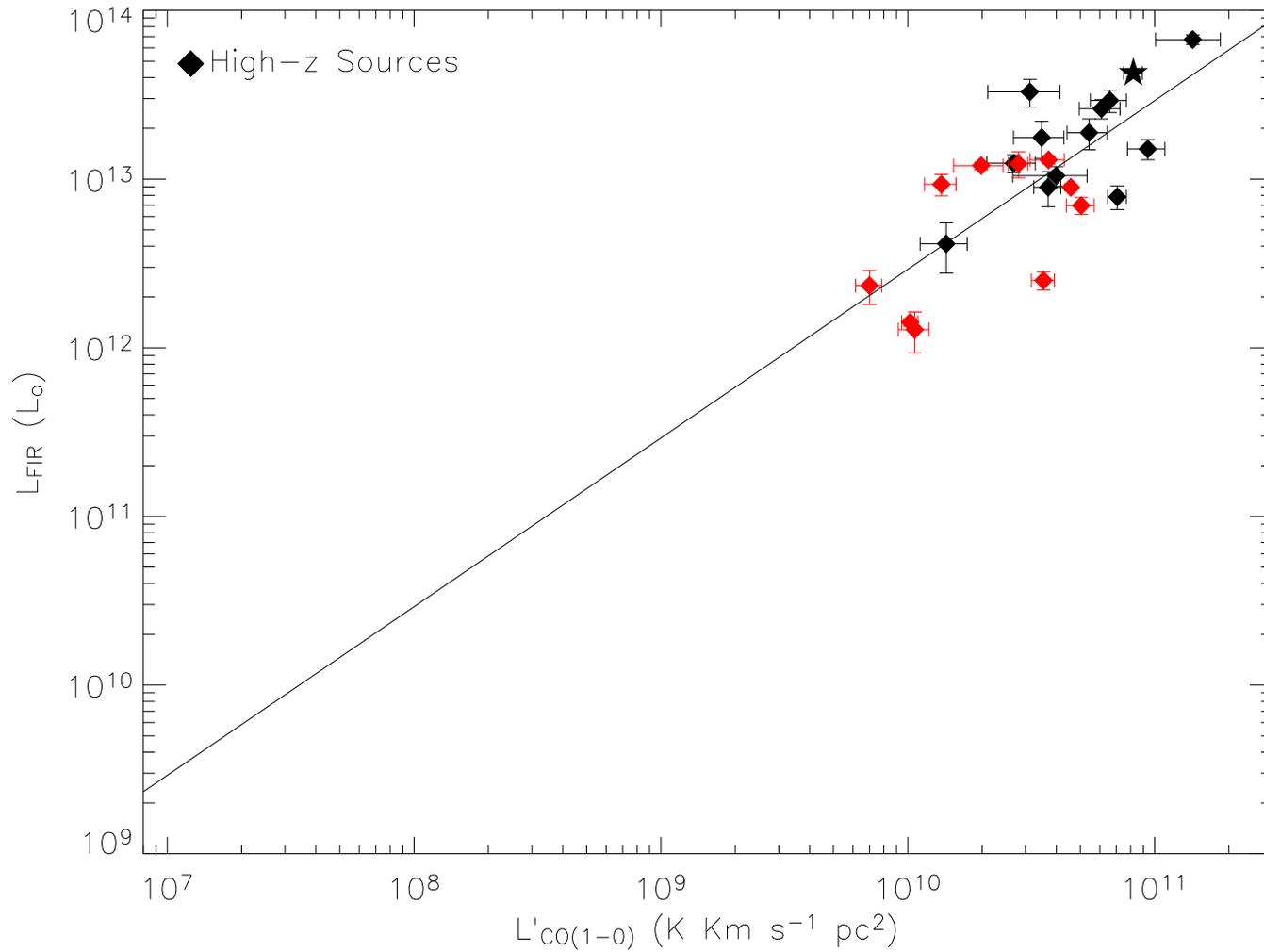
Position (J1950) :
17:12:59.86 +50:18:51.3

line	integrated flux	peak flux	width	comments	Ref.
CO 3-2	1.51 ± 0.2 Jy km/s	3.1 ± 0.5 mJy	540 ± 100 km/s		1997ApJ...485L..21S
CO 3-2	1.20 ± 0.15 Jy km/s	2.2 ± 0.7 mJy	420 ± 40 km/s		2000ApJ...528L..81A

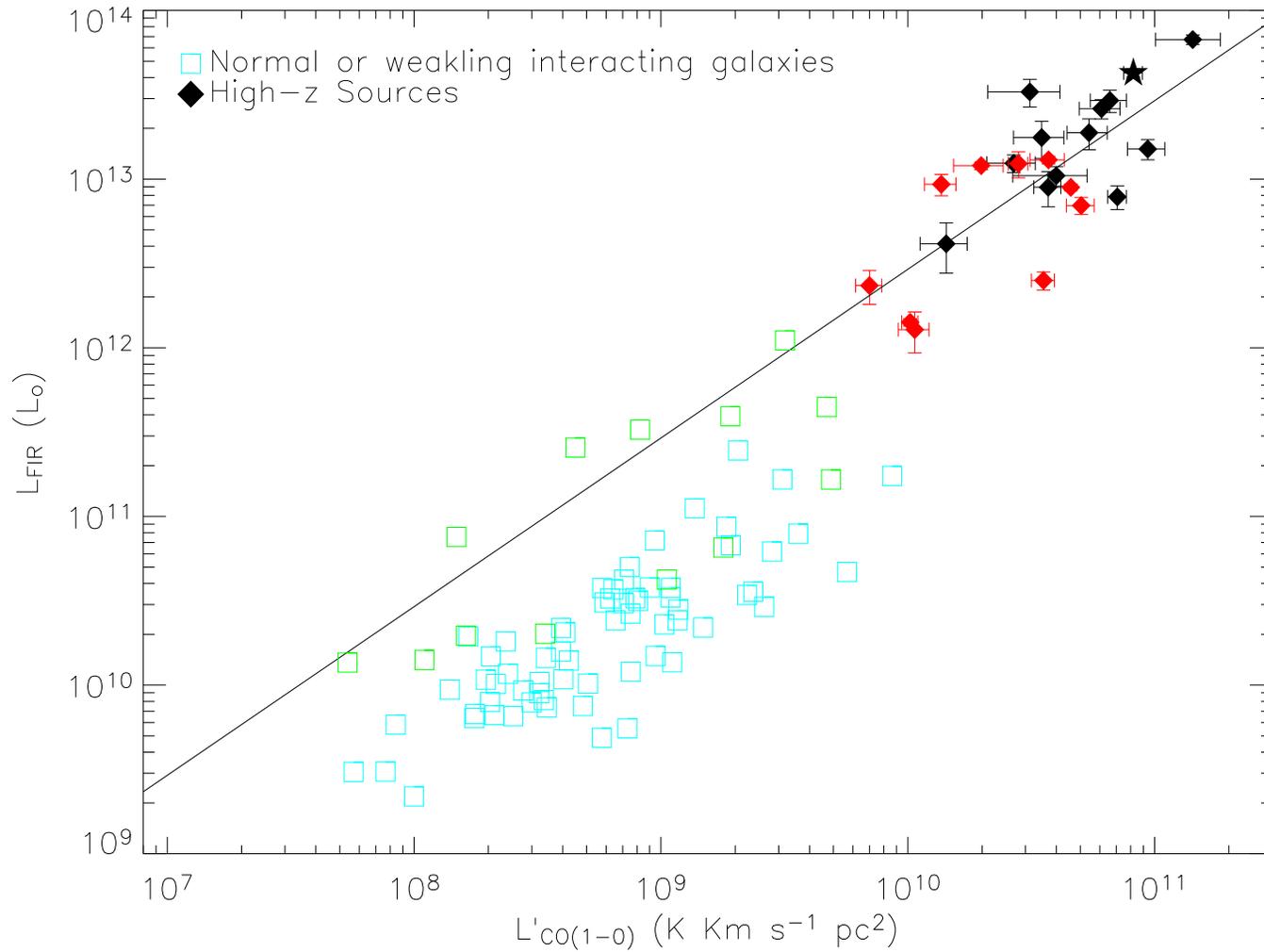
wavelength	frequency	flux density	comments	Ref.
	15 0	GHz	2.8 ± 0.2 mJy	1997ApJ...485L..21S
	102 0	GHz	0.1 ± 0.2 mJy	2000ApJ...528L..81A
	230 0	GHz	1.7 ± 0.4 mJy	2000ApJ...528L..81A



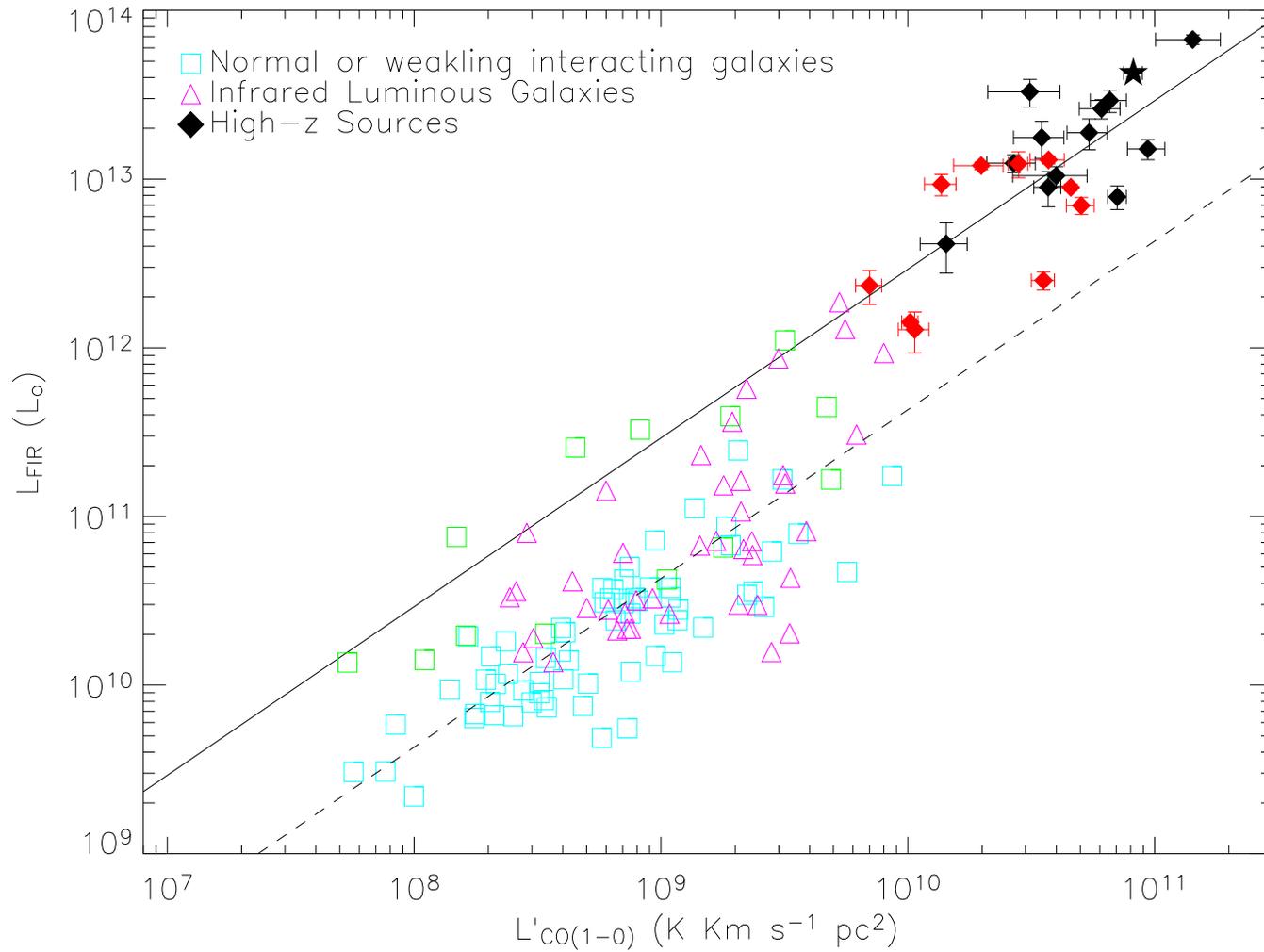
Comparaison



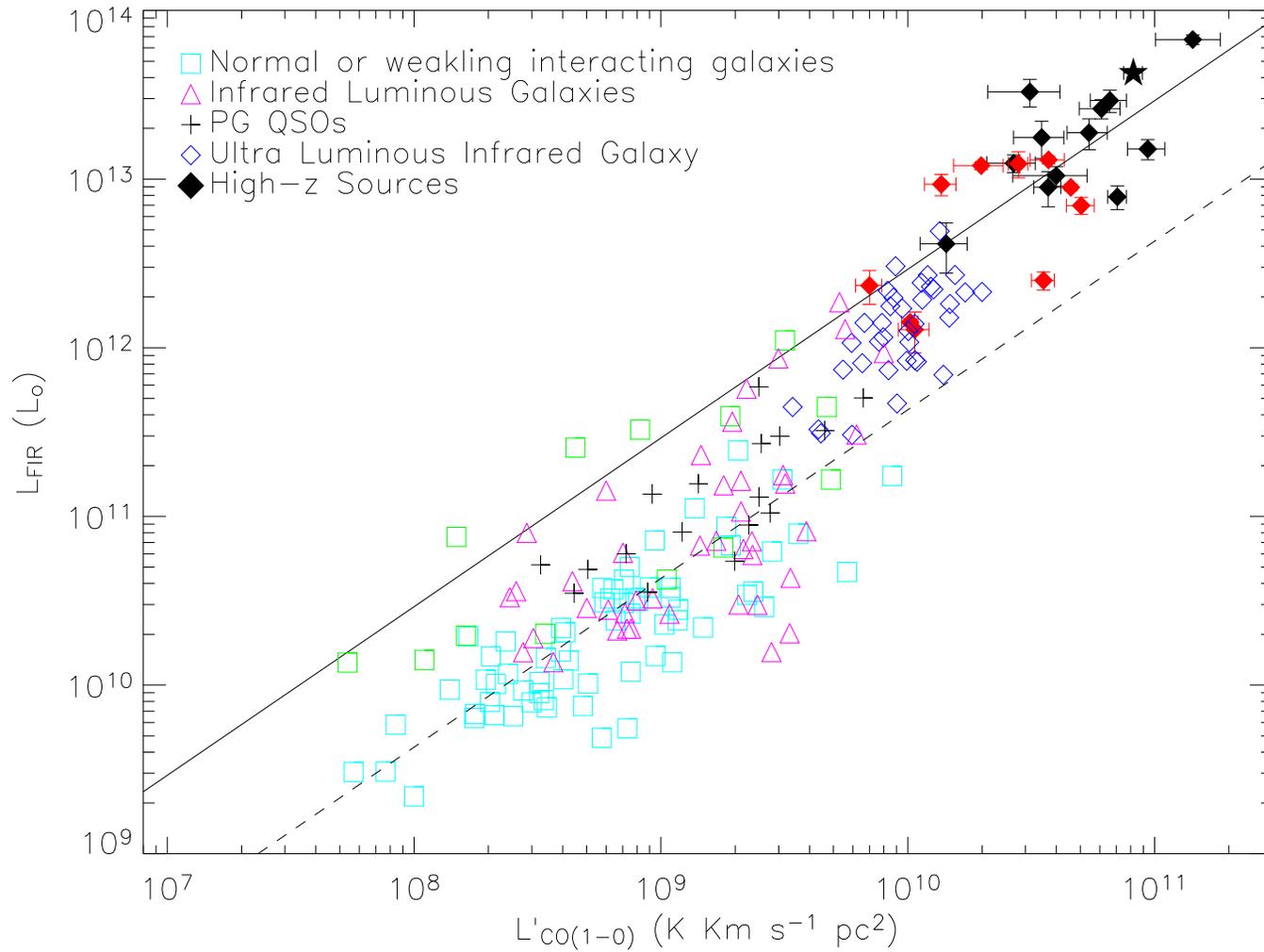
Comparaison



Comparaison



Comparaison





La température enfin !!

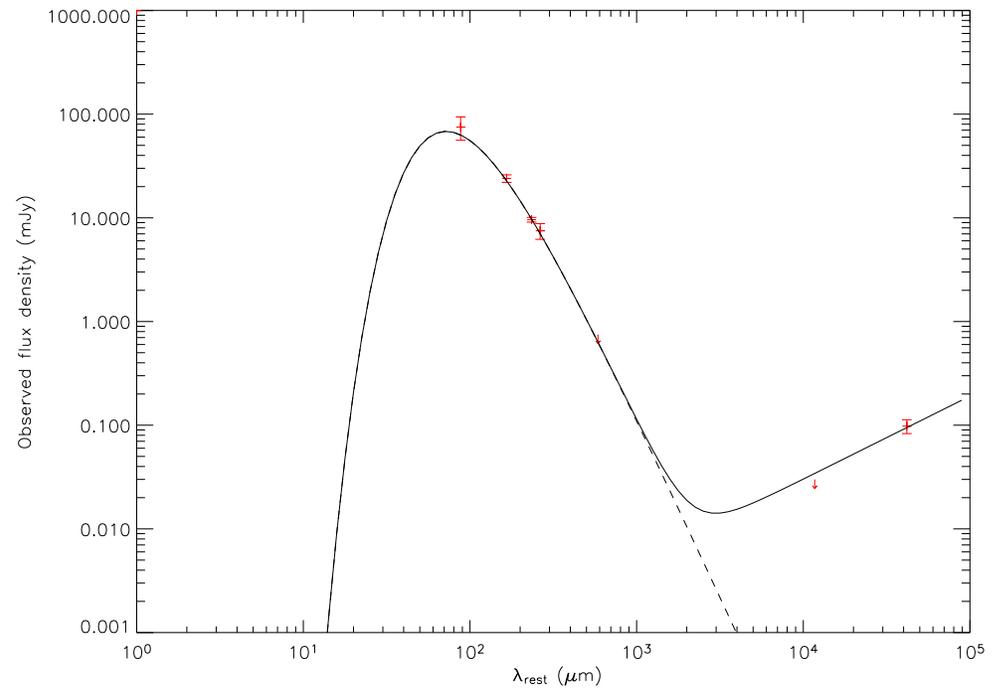


De S_ν à L_{FIR}

- Spectre de corps modifié β & T

Ajustage de données

β & T



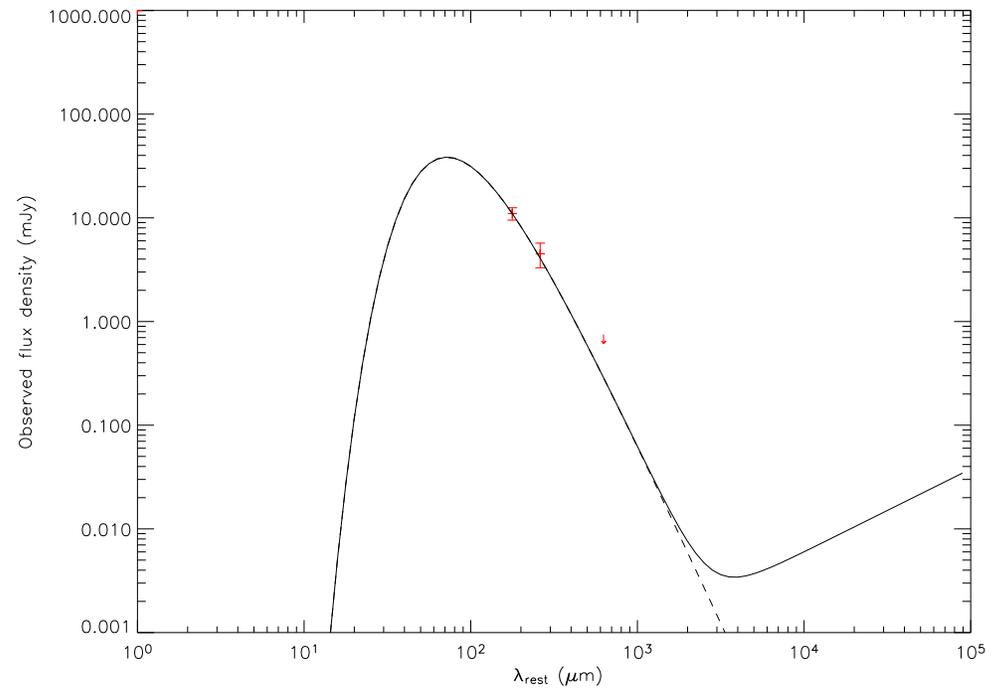


De S_ν à L_{FIR}

- Spectre de corps modifié β & T

Analytiquement avec deux points

$$\beta = 1.5 \text{ \& } T$$



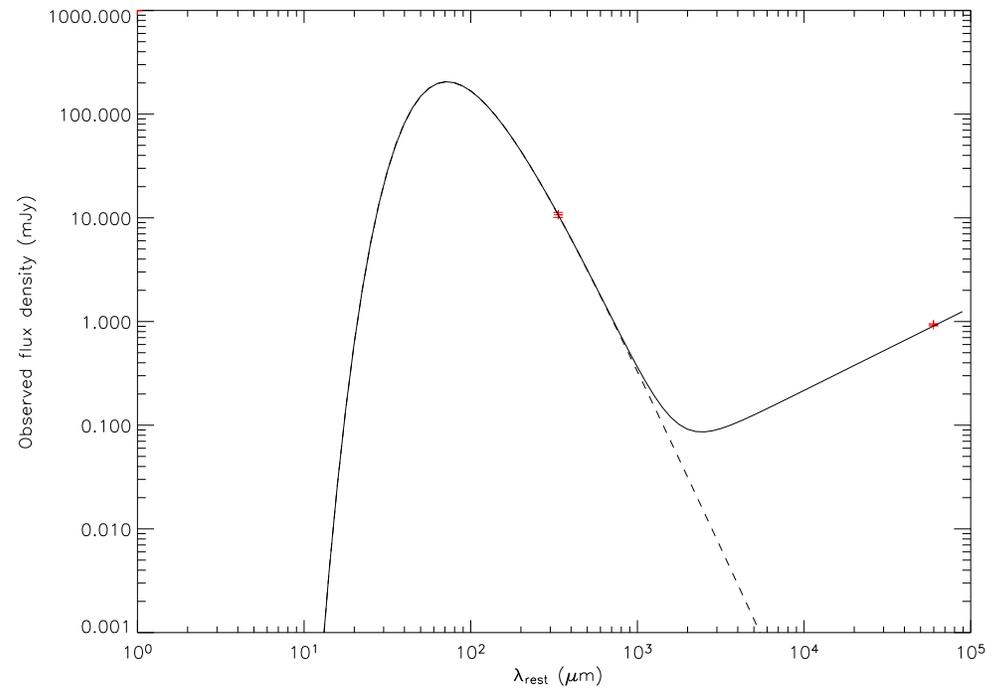


De S_ν à L_{FIR}

- Spectre de corps modifié β & T

Un modèle à un point

$\beta = 1.5$ & $T = 45 \text{ K}$

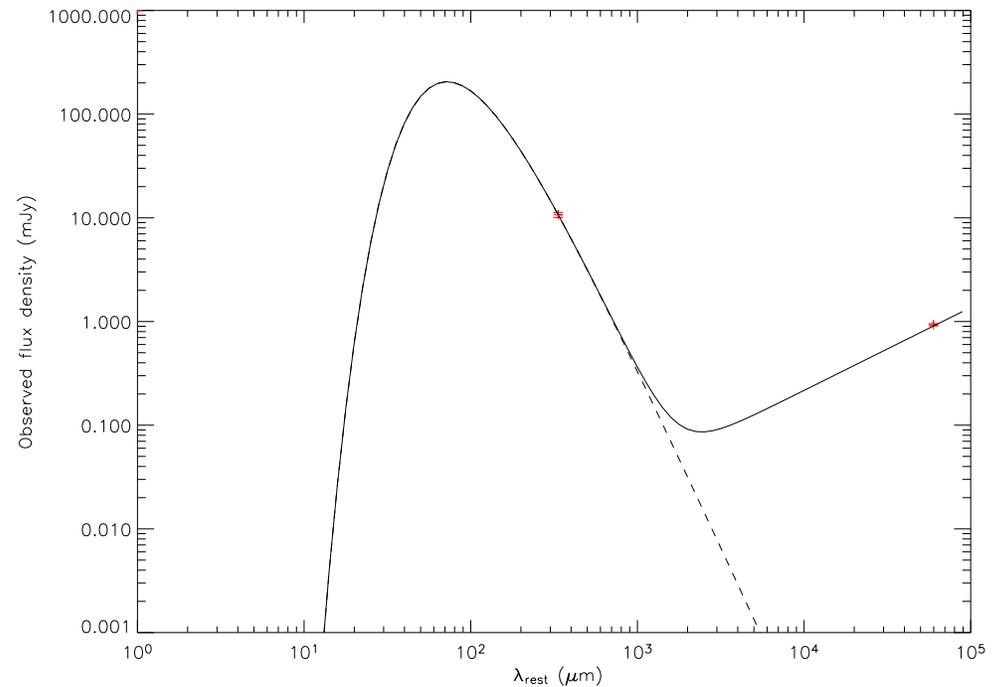


De S_ν à L_{FIR}

- Spectre de corps modifié β & T

Un modèle à un point

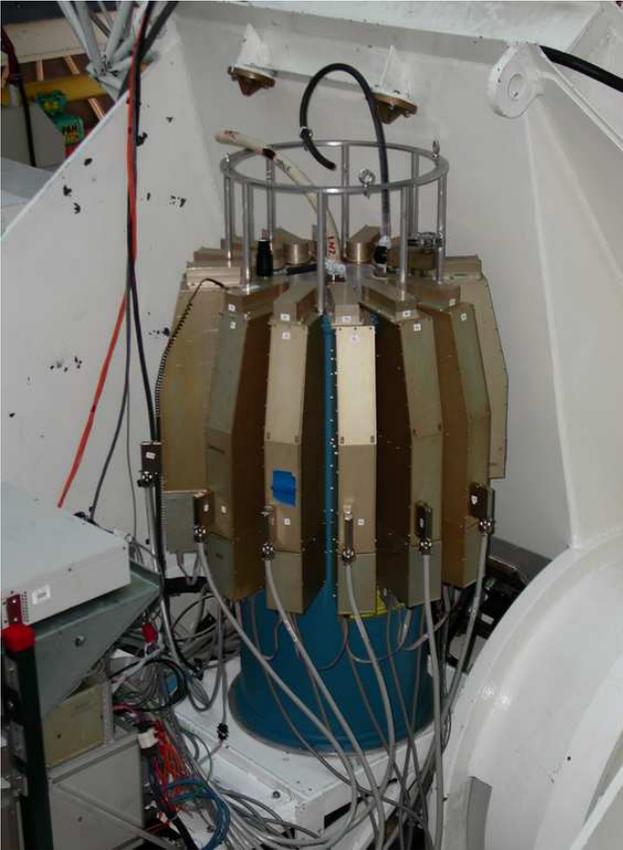
$$\beta = 1.5 \text{ \& } T = 45 \text{ K}$$



- Nécessité de mesures à courtes longueurs d'onde
 - SCUBA @ JCMT : 450 et 850 μm
 - SHARC II @ CSO : 350 μm

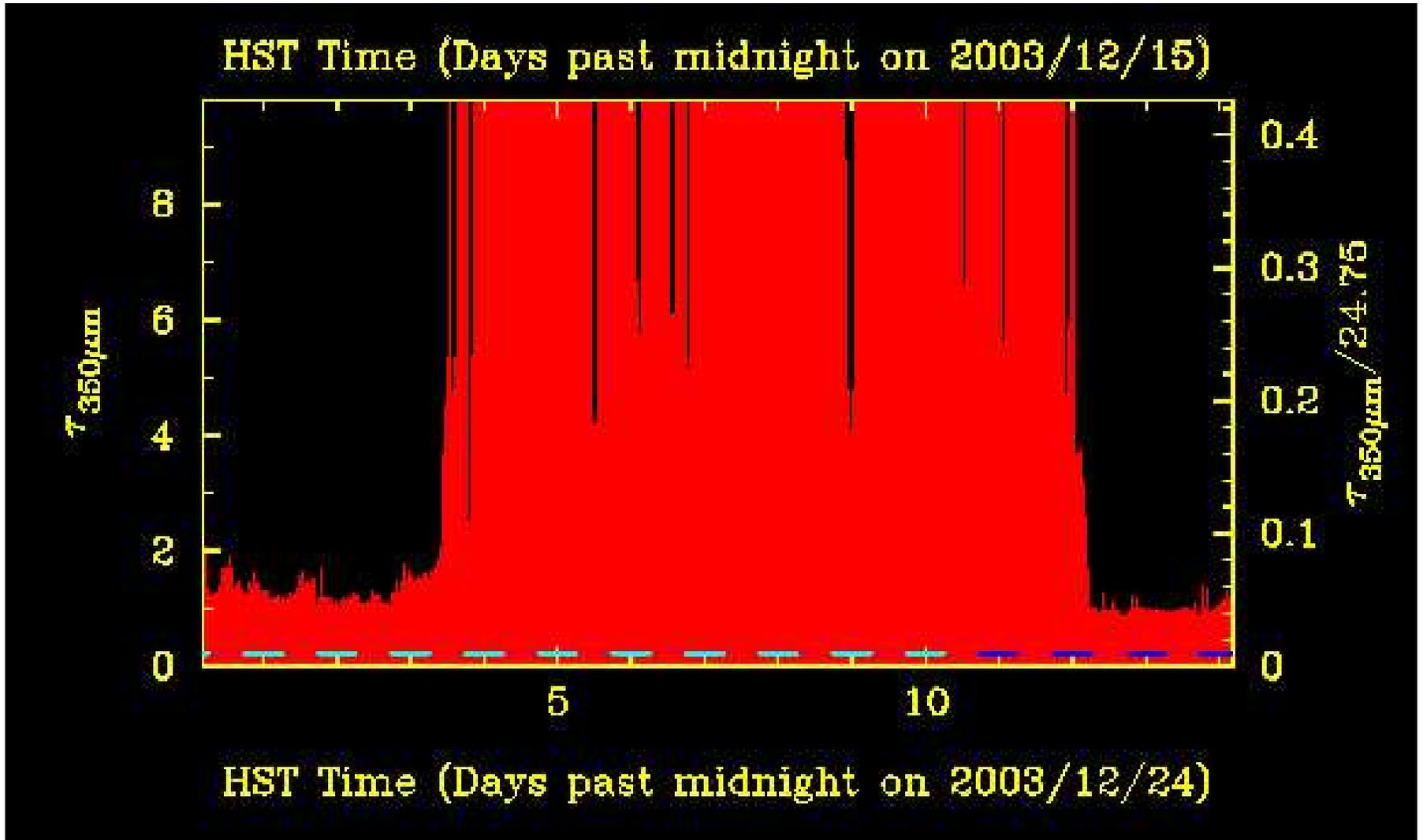
SHARC II @ CSO

12x32 bolomètres @ 860 GHz ($350 \mu\text{m}$)



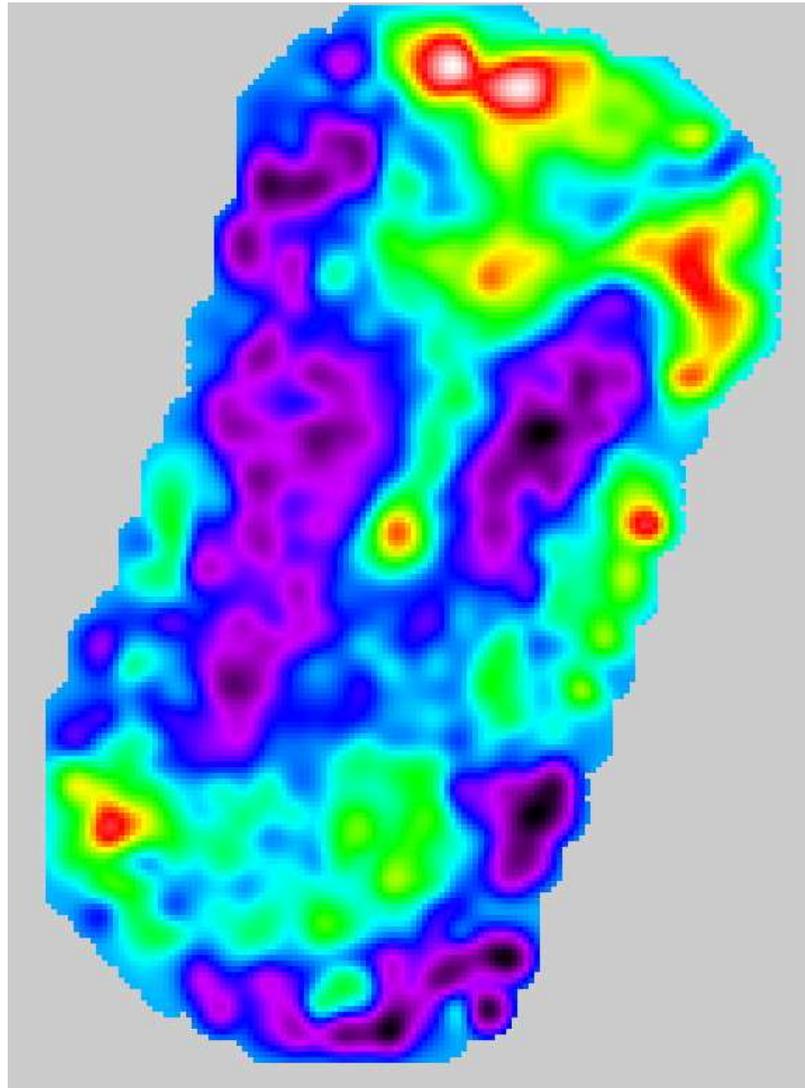


Transmission @ CSO



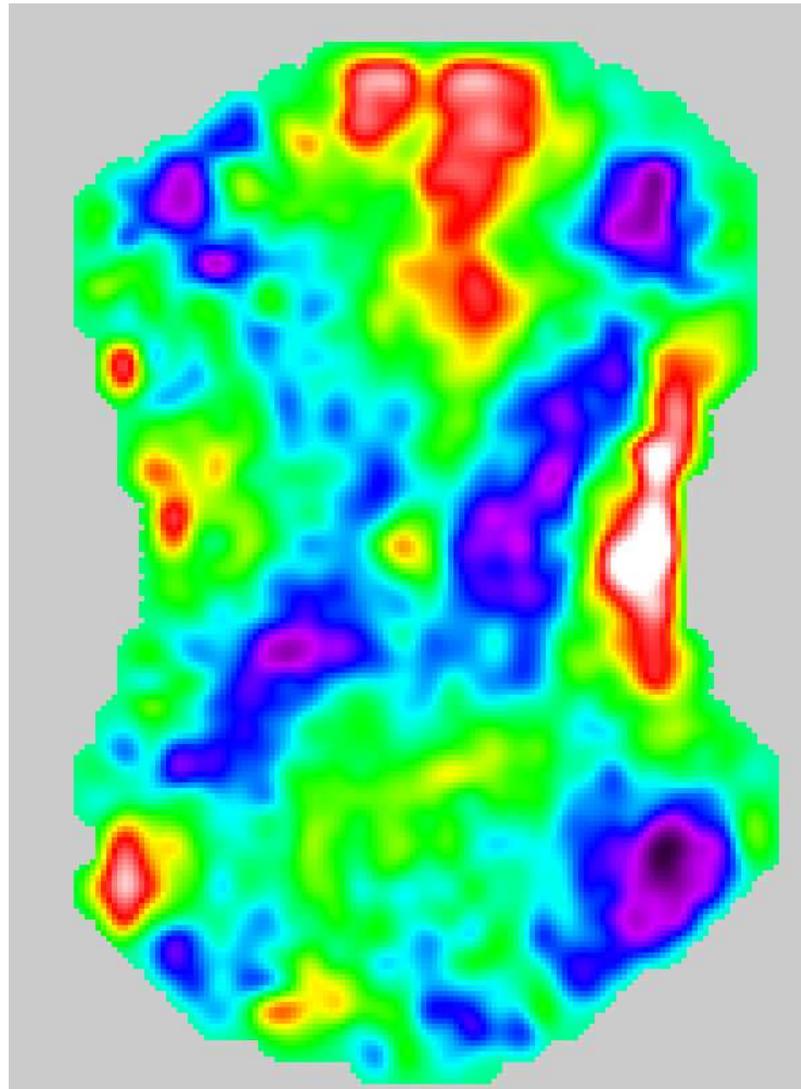
Cartes

KUV 08086+4037 $z=1.78$



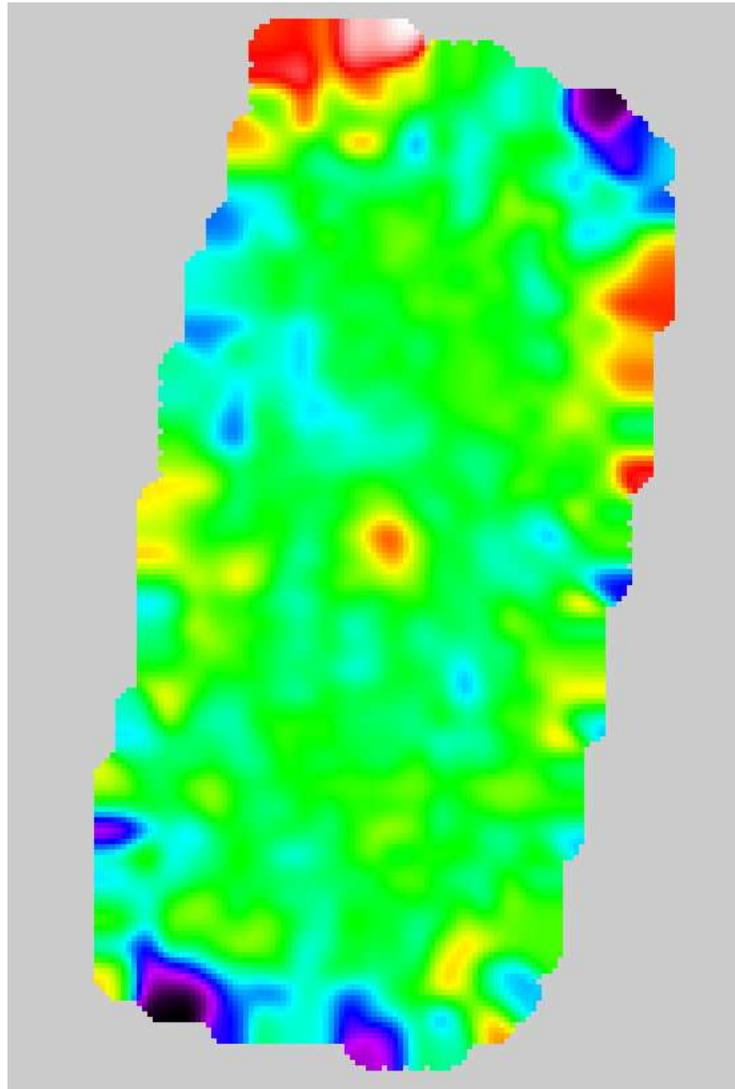
Cartes

HS1002+4400 $z=2.08$



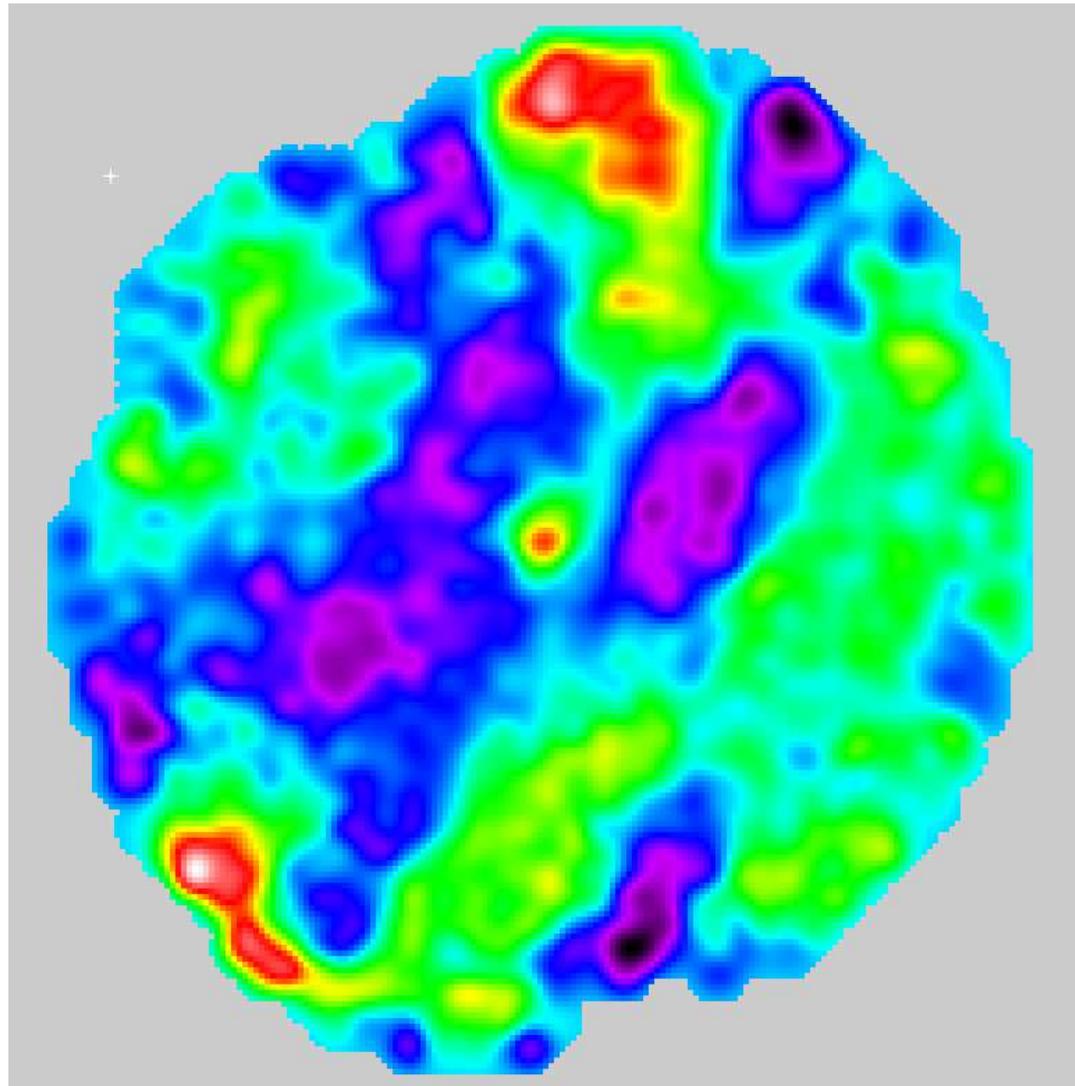
Cartes

PSS J2322+1944 $z=4.11$



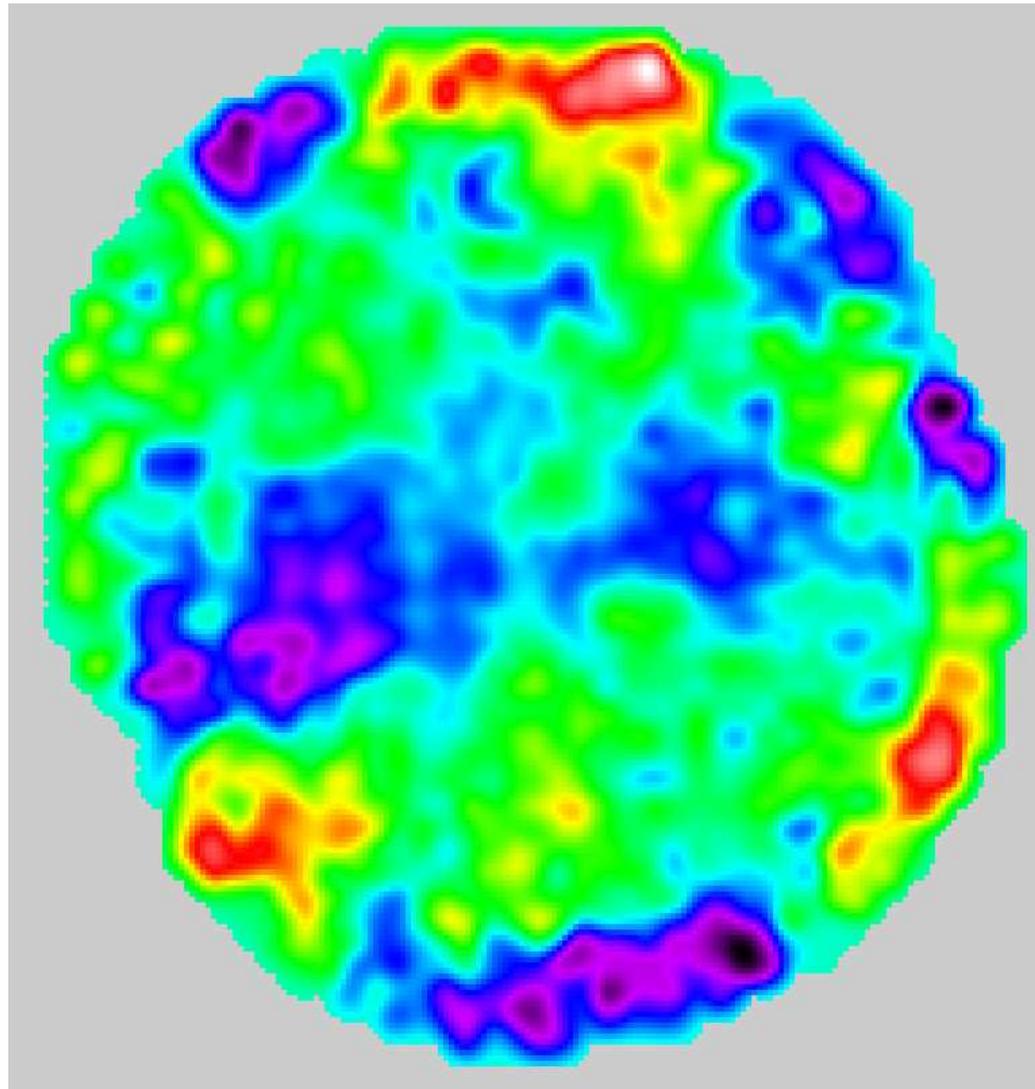
Cartes

J1409+5628 $z=2.58$



Cartes

SDSS J1148+5251 $z=6.42$





Conclusions et Perspectives



Fast Conclusions

- Formation stellaire liée à l'activité du trou noir ?
- Formation stellaire plus efficace à grand z
- J1409+5628 est ma source préférée
- La température c'est pour bientôt



Perspectives

Très proche :

- Terminer de réduire les données
- Écrire les articles correspondants
- Écrire mon rapport de thèse & trouver un post-doc

Moyen terme :

- Etude des décalages spectraux optique vs systémique
- Etude des conditions d'excitations du gaz
- Modèle de créations de poussière à grand z
- Champ profonds & sources submillimétriques

Instrumental :

- SPITZER & APEX
- PLANCK & HERSCHEL
- ALMA



Collaborateurs

- *Pierre Cox* (IAS, Orsay)
- Alain Omont, Niruj Mohan, Patrick Petitjean (IAP)
- Frank Bertoldi (MPIfR)
- Chris Carilli (NRAO)
- Jérôme Pety, Roberto Neri, Axel Weiß (IRAM)
- Kate Isaak (Cardiff Univ.)
- Xiaohui Fan (Princeton Univ.)
- Andreea Petric (Columbia Univ.)
- Dominic J. Benford (NASA/GSFC)

- Bertoldi, F., Carilli, C. L., Cox, P., et al. 2003, A&A, 406, L55
- Carilli, C. L., Bertoldi, F., Omont, A., et al. 2001, AJ, 122, 1679
- Carilli, C. L., Lewis, G. F., Djorgovski, S. G., et al. 2003, Science, 300, 773
- Cox, P., Omont, A., Djorgovski, S. G., et al. 2002, A&A, 387, 406
- Gebhardt, K., Bender, R., Bower, G., et al. 2000, ApJ, 539, L13
- Omont, A., Beelen, A., Bertoldi, F., et al. 2003, A&A, 398, 857
- Omont, A., Cox, P., Bertoldi, F., et al. 2001, A&A, 374, 371
- Vanden Berk, D. E., Richards, G. T., Bauer, A., et al. 2001, AJ, 122, 549