

Gaz et poussière dans les quasars à grand décalage spectral

Alexandre Beelen

Institut d'Astrophysique Spatial, Orsay

Semaine de la Société Française d'Astronomie et d'Astrophysique
2004

- 1 Introduction
 - Questions ?
 - Historique
 - Motivation
- 2 Poussière dans les quasars à grand z
 - Relevés (sub)millimétriques
 - Observations multi longueurs d'onde
- 3 Gaz moléculaire dans les quasars à grand z
 - Comment détecter du gaz à grand z ?
 - Gaz moléculaire tracé par CO
 - Autres espèces
- 4 Conclusions & Perspectives

- Histoire de la formation stellaire de l'Univers ?
- Relation entre trou noir super-massif et formation stellaire ?
- Quand a commencé la production de métaux/poussières ?
- Conditions physiques dans les galaxies hôtes des quasars ?
- Conditions physiques du gaz dans l'univers lointain ?

Histoire de la formation stellaire

- Relevés profonds
 - > 200 sources détectées
 - ≈ 50 galaxies identifiées optiquement Z_{opt} (*Chapman et al. 2003*)
 - ≈ 10 confirmées par CO (*Neri et al 2003, Greve et al. 2004*)
- Observations pointées (Quasars/Radio Galaxies)
 - sélectionnés à partir de relevés optique/radio/X
 - position et décalage spectral connus

Histoire de la formation stellaire

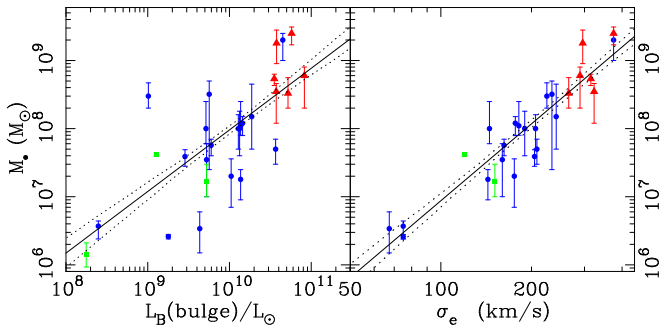
- Relevés profonds
 - > 200 sources détectées
 - ≈ 50 galaxies identifiées optiquement Z_{opt} (Chapman et al. 2003)
 - ≈ 10 confirmées par CO (Neri et al 2003, Greve et al. 2004)
- Observations pointées (Quasars/Radio Galaxies)
 - sélectionnés à partir de relevés optique/radio/X
 - position et décalage spectral connus

Historique

- Première détection à grand z Brown & vanden Bout 1992
- Première détection à $z > 4$ McMahon et al. 1994
- Premier *relevé* Omont et al. 1996
- Relevés significatifs Omont et al. 2001,2003 ; Carilli et al. 2001
- Sources à $z > 6$ Bertoldi et al. 2003

Relation entre trou noir super massif et galaxie hôte

- Galaxies sphéroïdales locales contiennent un trou noir massif
- Quasars $M_{\text{BH}} > 10^9 M_{\odot}$

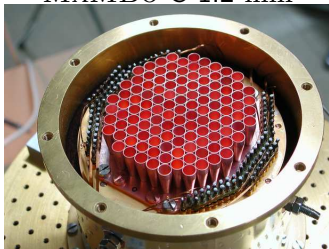


Gebhart et al. 2000

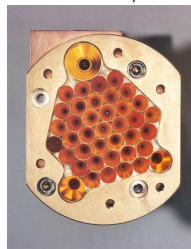
Relevés de QSOs à grand z

- Relevés à $z \approx 4$, $z \approx 2$ et $z > 6$
- QSOs optiquement lumineux et radio faible
- ≈ 260 QSOs PSS, Véron-Cetty & Véron ou SDSS
- $\approx 30\%$ sources détectées

MAMBO @ 1.2 mm

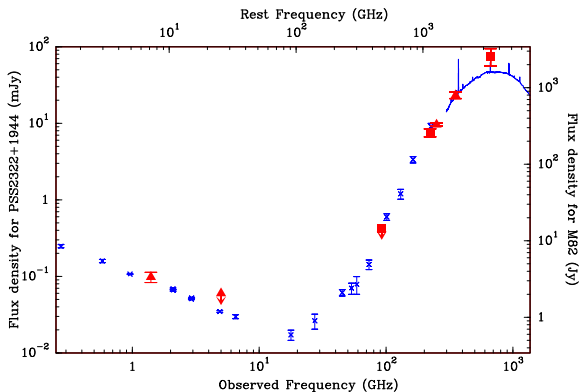


SCUBA @ 850/450 μm

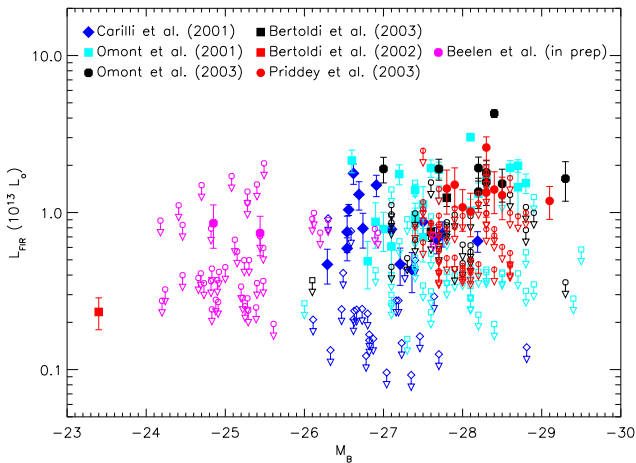


De la poussière à grand z

- PSS 2322+1944 ($z = 4.11$)



Cox et al. 2002



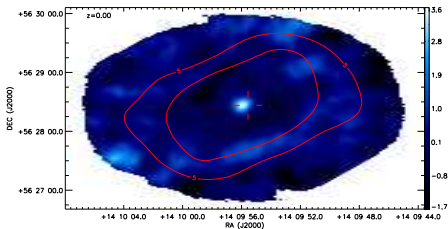
Observations à *courte* longueur d'onde

- SHARC II @ CSO
- 12x32 bolomètres @ 350 μm
- 5 & 6 janvier 2004
- 6 QSOs ($1.78 < z < 6.42$)

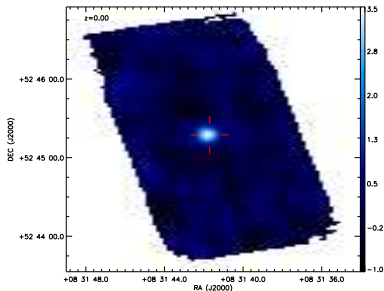


Observations à *courte* longueur d'onde

J1409+5628
 $z = 2.58$ - 220 min

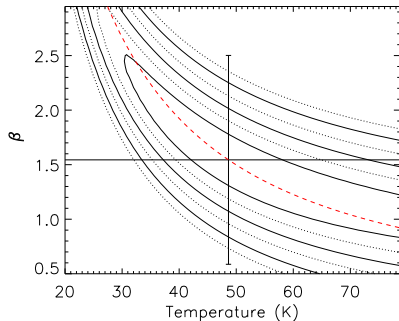
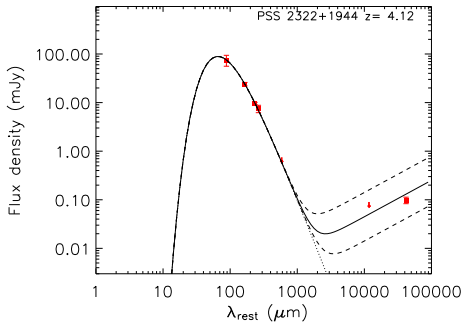


APM 08279+5255
 $z = 3.91$ - 20 min



Un point sur la SED

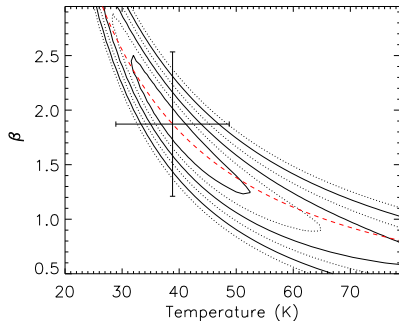
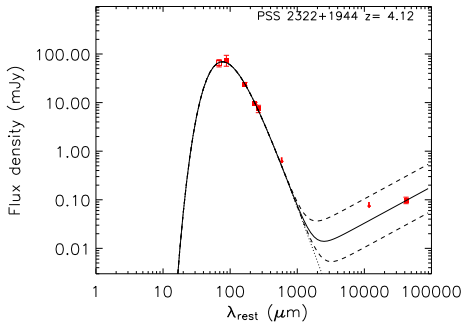
Pss 2322+1944 ($z = 4.11$)



Un point sur la SED

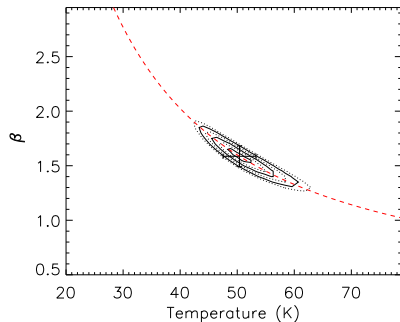
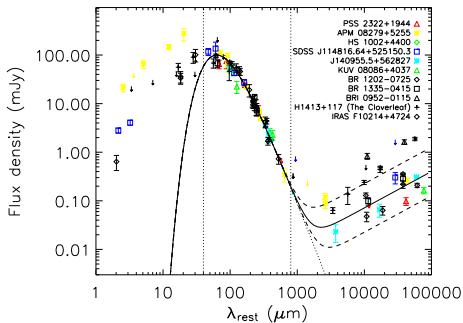
Pss 2322+1944 ($z = 4.11$) + 350 μm

$L_{\text{FIR}} \approx 3 \cdot 10^{13} L_{\odot}$



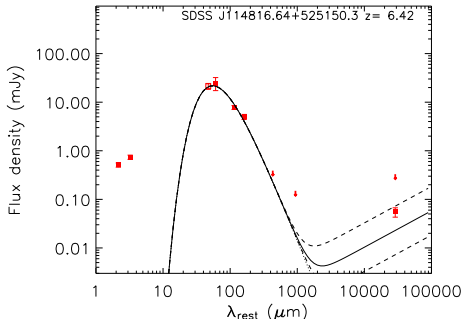
SED composite

$$T = 50 \pm 3 \text{ K}, \beta_{\text{eff}} = 1.6 \pm 0.1$$



SDSS J114816.64+525150.3

$z = 6.42$ (0.87/0.68 Gyr)



Bertoldi et al. 2003

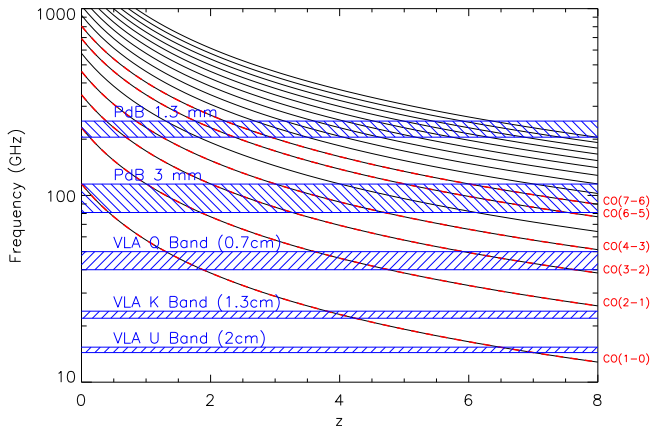
- $\beta = 1.5$
- $T = 59 \pm 4$ K
- $L_{\text{FIR}} = (2.5 \pm 0.8) \times 10^{13} L_{\odot}$
- $M_{\text{dust}} \approx 7 \times 10^8 M_{\odot}$

Conclusion

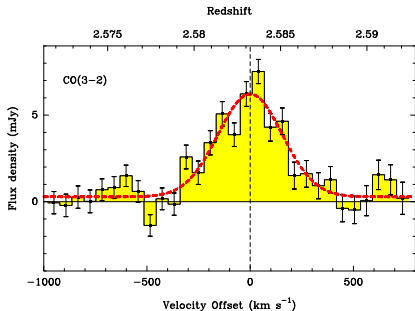
- QSOs optiquement lumineux et radio faible
 - de $z \approx 1$ à $z > 6$
 - PSS, Véron-Cetty & Véron ou SDSS
- Détection de grandes masses de poussière
 - en moyenne $T = 50$ K et $\beta_{\text{eff}} = 1.6$
 - $L_{\text{FIR}} \approx 10^{13} L_{\odot}$
 - Compatible avec le chauffage par flambées d'étoiles

 - $M_{\text{dust}} \approx 10^8 M_{\odot}$
 - $\text{SFR} \approx 1000 M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$
- Réservoir de gaz moléculaire

- Suivis des sources les plus lumineuses
- Gaz moléculaire tracé par les transitions rotationnelles de CO
- Nécessite une bonne connaissance du décalage spectral
 - 30-M, PdB, VLA, OVRO



J140955.5+562827



- $z = 2.5832 \pm 0.0001$
(2.6/2.4 Gyr)
- $\Delta v_{\text{FWHM}} = 311 \pm 28 \text{ km s}^{-1}$
- $I_{\text{CO } 3 \rightarrow 2} = 2.3 \pm 0.2 \text{ Jy km s}^{-1}$

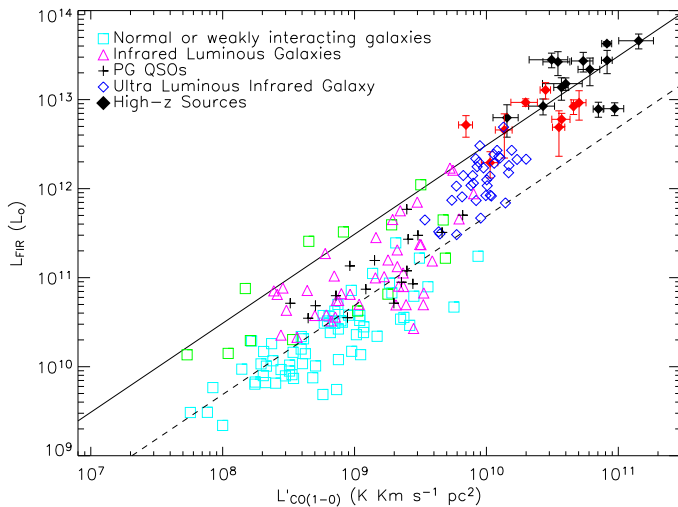
$$L'_{\text{CO } 3 \rightarrow 2} = (8.2 \pm 0.6) \times 10^{10} \text{ K km s}^{-1} \text{ pc}^2$$

$$M_{\text{H}_2} = 6 \times 10^{10} M_{\odot}$$

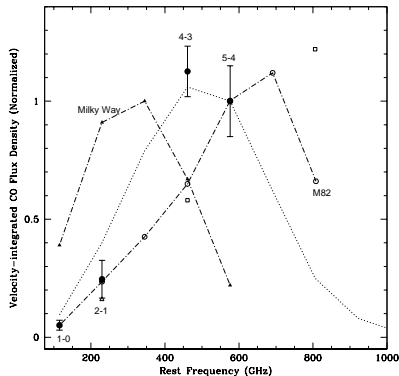
Table 1. Observed properties of $z > 1$ sources observed in CO

Source Name	z	transition	CO emission line		≈ 1 mm Cont.		Ref.
			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]
IRAS F10214+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 (7)	2.80 ± 0.30	190	1.35	6.06 ± 1.46	[9,10]
J140955.5+562827	2.58	3	2.33 ± 0.22	311 ± 28	1.20	10.70 ± 0.60	[11,12]
MG 0414+0534 [†]	2.64	3	2.60	580	1.30	20.70 ± 1.30	[13,14]
cB58	2.73	3	0.37 ± 0.08	174 ± 43	1.20	1.06 ± 0.35	[15,16]
Q 1230+1627B	2.74	3	0.80 ± 0.26		1.35	3.33 ± 0.52	[17]
SMM J02399-0136 [†]	2.81	3	3.10 ± 0.40	> 1100	1.35	5.70 ± 1.00	[18,19]
B3 J2330+3927	3.09	4	1.30 ± 0.30	500	1.20	4.80 ± 1.20	[20]
MG 0751+2716 [†]	3.20	4	5.96 ± 0.45	390 ± 38	1.30	6.70 ± 1.30	[21,14]
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	[22]
6C 1909+7215	3.53	4	1.62 ± 0.30	530 ± 70	1.25	< 3.00	[23]
4C 60.07	3.79	4	2.50 ± 0.43	> 1000	1.25	4.50 ± 1.20	[23]
APM 08279+5255 [†]	3.91	4 (1 2 9)	3.70 ± 0.50	480 ± 35	1.40	17.00 ± 0.50	[24]
B1117-1329	3.96	<i>4</i>	< 0.60	450	1.20	4.10 ± 0.70	[17,25]
PSS 2322+1944 [†]	4.12	4 (1 10 2 5)	4.21 ± 0.40	375 ± 41	1.20	9.60 ± 0.50	[26,27]
B1144-0723	4.15	5	< 0.55	450	1.20	5.00 ± 1.00	[17,25]
BR 1335-0415	4.41	5 (2)	2.80 ± 0.30	420 ± 60	1.25	10.30 ± 1.35	[28]
BRI 0952-0115 [†]	4.43	5	0.91 ± 0.11	230 ± 30	1.25	2.78 ± 0.63	[17]
BR 1202-0725	4.70	5 (1 2 4 7)	2.70 ± 0.41	220 ± 73	1.25	10.50 ± 1.50	[29,25]
SDSS J114816.64+525150.3	6.42	6 (1 3 7)	0.64 ± 0.12	232 ± 63	1.20	5.00 ± 0.60	[30,31]

Notes – [†] Source known to be lensed. Column 2: the redshift as derived from the CO measurements. Column 3: the upper level of the observed CO transitions, with the non detections included in italics. Column 4 & 5: CO line flux and width of the CO transition listed in bold face in column 3.

Corrélation $L_{\text{FIR}}/L'_{\text{CO}}$ 

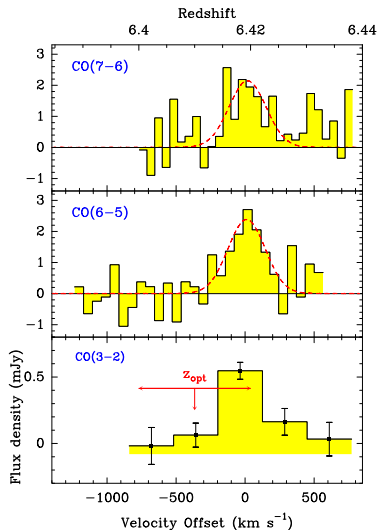
Gaz moléculaire dans PSS 2322+1944



Carilli et al. 2002

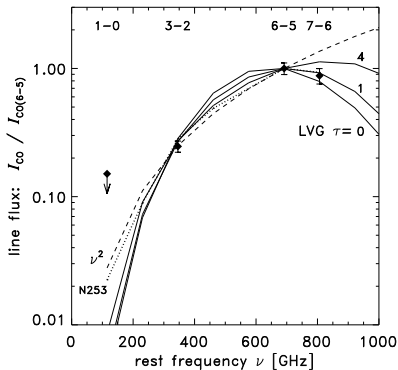
- $z = 4.11$ (1.5/1.3 Gyr)
- Modèle LVG
 - nuage sphérique
 - $T_{\text{kin}} = 47 \text{ K}$
- $N(\text{CO}) = 2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-2}$
- $n(\text{H}_2) = 5 \times 10^3 \text{ cm}^{-3}$

Gaz moléculaire dans SDSS J114816.64+525150.3



- $z = 6.42$ (0.87/0.68 Gyr)

Gaz moléculaire dans SDSS J114816.64+525150.3

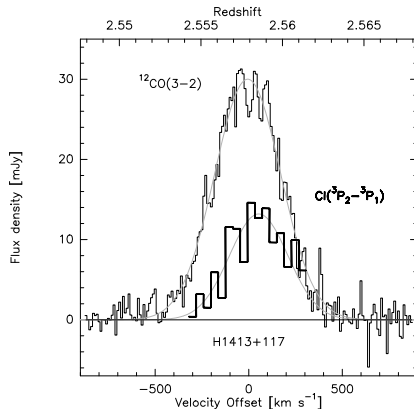


Bertoldi et al. 2003

- $z = 6.42$ (0.87/0.68 Gyr)
- Modèle LVG
 - nuage sphérique
 - NGC 253
 - $T_{\text{kin}} = 120 \text{ K}$
 - $\tau < 4$
- $n(\text{H}_2) = 4.5 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$
- $\tau \ll 1$,
 $Tn^{1/2} = 2.5 \times 10^4 \text{ K cm}^{-1.5}$

CI

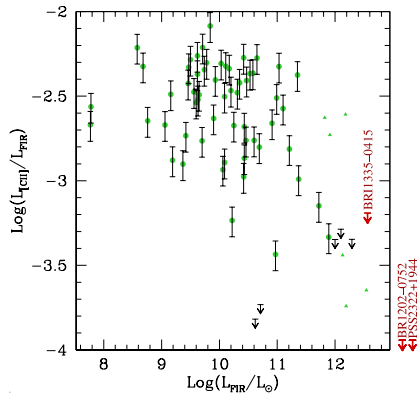
- H1413+117 (Cloverleaf)
- $z = 2.5$
- $T_{\text{ex}} = 30$ K
- $n(\text{H}_2) = 10^{3-4} \text{ cm}^{-3}$
- $T_{\text{kin}} = 30 - 50$ K
- $M_{\text{H}_2} \approx (1.2 \pm 0.3) \times 10^{10} M_{\odot}$



WeiB et al. 2003

C⁺

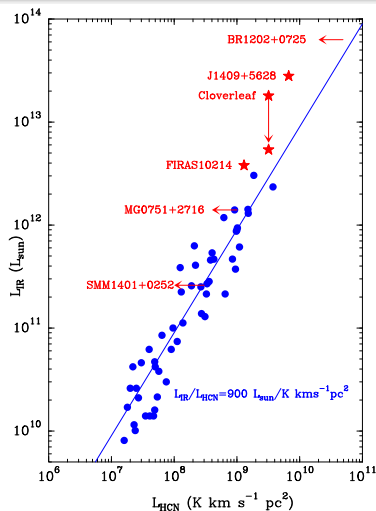
- C⁺ $^2P_{3/2} \rightarrow ^2P_{1/2}$
- Limites supérieures
 - BR 1202-0725
 - BRI 1335-0415
 - PSS 2322-1944
- J1148+5251



Benford et al. (in prep.)

HCN

- traceur du gaz dense
 $n(\text{H}_2) > 10^4 \text{ cm}^{-3}$
- formation stellaire
- poussières chauffées par la
flambée d'étoile



courtesy of P. Cox

J1148+5251 : Un cas extrême

- $z = 6.42$ (0.87/0.68 Gyr)

Poussière

- $L_{\text{FIR}} \approx 2 \times 10^{13} L_{\odot}$
- $M_{\text{dust}} \approx 7 \times 10^8 M_{\odot}$
- $SFR \approx 3000 M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$
- $\tau_{\text{dust}} \approx 1 M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$
 - SN / vent des étoiles massives ($M > 40 M_{\odot}$)
 - dans les vents du QSO ?



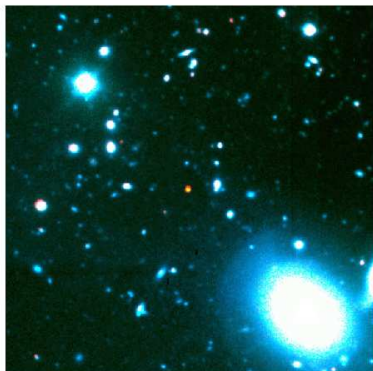
courtesy of G. Djorgovski

J1148+5251 : Un cas extrême

- $z = 6.42$ (0.87/0.68 Gyr)

Gaz

- $M_{\text{H}_2} = 2 \times 10^{10} M_{\odot}$
- $T_{\text{kin}} = 100 \text{ K}$
- $n(\text{H}_2) = 10^5 \text{ cm}^{-3}$
- $M_{\text{dyn}} \approx 4 \times 10^9 \sin^{-2} i M_{\odot}$
- $t_{\text{gaz}} < 10 \text{ Myr} !!$
 - SN / vent des étoiles les plus massives
 - $M_{\text{dyn}} - t_{\text{star}} < 10^7 \text{ yr}$



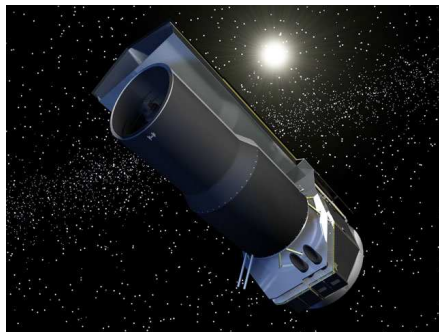
courtesy of G. Djorgovski

- Modélisation :
 - $10^8 M_{\odot}$ en < 700 Myr
 - déplétion du gaz ?
 - IMF ?
 - liens SMBH/SF

- Étudier l'ISM à grand z

- Modélisation :
 - $10^8 M_{\odot}$ en < 700 Myr
 - déplétion du gaz ?
 - IMF ?
 - liens SMBH/SF
- Instrumentation :
 - SPITZER

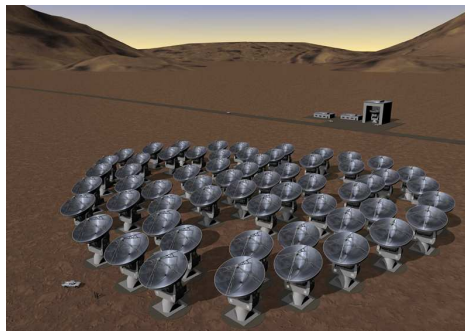
- Étudier l'ISM à grand z



- Modélisation :
 - $10^8 M_{\odot}$ en < 700 Myr
 - déplétion du gaz ?
 - IMF ?
 - liens SMBH/SF
- Instrumentation :
 - SPITZER
 - HERSCHELL
- Étudier l'ISM à grand z



- Modélisation :
 - $10^8 M_{\odot}$ en < 700 Myr
 - déplétion du gaz ?
 - IMF ?
 - liens SMBH/SF
- Instrumentation :
 - SPITZER
 - HERSCHELL
 - ALMA
- Étudier l'ISM à grand z



Collaborations

- *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)