LE CFHTLS STRONG LENSING LEGACY SURVEY

SL²S SL²S(L²)(C²)(C²)(L²)SL²S SL²S

R. Cabanac[1], B. Fort[2], G. Soucail[3], P. Gomez[4], C. Alard[2], M. Dantel-Fort[2], R. Gavazzi[3], J.-P. Kneib[5], O. Le Fèvre[5], Y. Mellier[2], R. Pello[3], J.F. Sygnet[2], D. Valls-Gabaud[1]

[1] Canada-France-Hawaii Telescope, 65-1238 Mamalahoa Hwy., HI 96743, USA, [2] Institut d'Astrophysique de Paris, 98bis Bvd Arago, 75014, Paris, FRANCE, [3] Observatoire Midi-Pyrénées, 14, avenue Edouard Belin, 31400 Toulouse, FRANCE, [4]Gemini Observatory, Northern Operations Center 670 N. A'ohoku Place, Hilo, Hawaii, 96720, USA, [5] Observatoire de Marseille, Traverse du Siphon-Les trois Lucs, BP8-13376 Marseille Cedex 12, FRANCE

http://www.cfht.hawaii.edu/~cabanac/SL2S/

Résumé: Nous proposons de constituer et d'étudier une base de données de plusieurs centaines de lentilles gravitationnelles fortes présentes dans le CFHTLS. Cette base de données serait dans les prochaines années la plus grande base de données de systèmes d'arcs et d'anneaux gravitationnels disponibles pour étudier la géométrie (triaxialité) et les caractéristiques des profils des halos de matière noire (cusps et existence de sous halos) ainsi que leur évolution en fonction du décalage spectral. La base de données pourrait aussi fournir quelques élements statistiques comme la profondeur optique de diverses classes de lentilles comme les arcs géants, pour comparaison avec les prédictions des simulations numériques. Elle peut nous révéler quelques objets fortement amplifiés parmi les plus lointains de l'univers et éventuellement de nouvelles classes de lentilles encore jamais observées faute de sondages systématiques sur de grands champs profonds comme le CFHTLS.

Introduction:

Le ciel contient des centaines de milliers d'objets massifs qui sont d'actives lentilles gravitationnelles fortes (Miralda-Escude 1992, 1993a, 1993b et Marshall et al 2005). Ces lentilles peuvent produire des mirages d'images multiples des galaxies d'arrière-plan que l'on peut classer historiquement en arcs géants (images fusionnées, Soucail et al. 87, Fort et al. 1998), systèmes d'arclets (dont les paires gravitationnelles radiales, Fort et al 1992) et anneaux gravitationnels (Warren et al. 1996 et réf. dans Cabanac 2005).

Comme la profondeur optique attendue (Oguri 2004) est respectivement comprise entre 10^{-5} à 10^{-3} pour chacun de ces évènements, il y a plus d'une dizaine de lentilles par degré carré sur des images profondes du ciel comme celles que produiront des satellites comme DUNE ou SNAP. Ce domaine de recherche connaîtra donc un bel essor dans les prochaines années à l'ère du JWST. Nous proposons d'utiliser les champs du CFHTLS release (DEEP et WIDE) pour nous préparer à cette échéance et utiliser notre expertise pour conduire quelques projets scientifiques bien ciblés et compétitifs au plan international. Ce projet a été récemment baptisé CFHTLS Strong Lensing Legacy Survey (SL2S).

Objectifs scientifiques:

Les lentilles gravitationnelles fortes fournissent un incomparable outil pour mesurer et décrire la distribution de masse des halos d'une grande variété d'objets comme les galaxies (Kochanek et al. 2001, Keeton 1998, 2001, McLeod 2001), les amas ou les groupes compacts (Pello et al. 1991, Mellier et al. 1993, Fort & Mellier 1994, Kneib et al. 1993, 1994, 2000, 2003). Sans être exhaustif on peut citer quelques résultats comme la première contrainte sur la valeur maximum de lambda (<0.9) pour un univers plat par Kochaneck et al. (1992), la première mise en évidence de l'extrême concentration de masse au centre des amas (Mellier et al 93), ce qui traduit peut-être les effets de triaxialité des halos ou implique de revoir les conditions initiales des scénarios, l'évaluation directe de la masse des galaxies dans leur rayon optique, la détection des objets les plus lointains de l'Univers par effet de télescope gravitationnel (Pello et al. 2004, 2005, Kneib et al. 2004). Tous ces travaux ont cependant révélés que cet outil n'avait pas exprimé toute sa puissance car les échantillons (essentiellement des arcs d'amas et des images de quasars multiples) étaient extrêmement limités en nombre. La découverte des mirages est aléatoire et couvre un vaste espace de paramètres (surface, seeing et longueur d'onde de la détection initiale, sensibilité variables). Il en résulte des biais mal contrôlés dans l'analyse statistique des mirages, lentilles et des sources. Pour illustrer ce point, on peut rappeler qu'à ce jour l'échantillon le plus grand et le plus homogène de lentilles fortes qui concerne les QSOs multiples (survey CLASS, http://www.jb.man.ac.uk/research/gravlens/class/class.html) ne comporte que 22 lentilles. Par comparaison, les premiers champs disponibles démontrent déjà que le CFHTLS-Wide (172 degré carré) va fournir environ 200 + /- 30 arcs géants et au moins deux fois plus d'anneaux gravitationnels et systèmes d'arclets multiples effectivement détectables autour des galaxies massives et des groupes de galaxies.

Le CFHTLS représente donc potentiellement la plus grande base de données de « strong lensing » pour les cinq ans à venir (voir les encadrés pour quelques exemples de candidats).

Les objectifs scientifiques qui peuvent être poursuivis à partir d'une base de données SL2S sont nombreux. Notre priorité de travail concernera en premier lieu la description des déflecteurs et des sources. Les tests cosmologiques de la géométrie de l'univers et de son évolution avec le temps nécessiteront de plus grands échantillons (projet DUNE). Nos méthodes de détection laissent toutefois ouverte la possibilité de découverte de nouvelles classes de mirage comme des « dark lenses ». Trois principaux centres d'intéret se dessinent :

- l'étude des distributions de masse dans la partie centrale des halos, habituellement étudiés indirectement à partir de luminosités avec des mesures de dispersion de vitesse, des courbes de rotation ou des observations X. Dans le cadre de la relativité générale, la configuration géométrique seule donne directement la masse totale de la lentille, profil de masse (Williams et al. 1999), l'ellipticité des halos (De Filippis, et al. 2005, Gavazzi 2005, Oguri 2005, Broadhurst et al. 2005, Mandelbaum et al. 2005), les effets perturbatif de sous structures sur les images conjugués d'arcs (Keeton et al. 2005, 2003, Koopmans 2005, Rozo et al. 2005, Hagan, et al. 2005, An 2005, Dobler & Keeton 2005). Pour les amas et les groupes l'interprétation des images radiales couplée à l'analyse de Weak Lensing (Gavazzi et al 2003) fournira un bon échantillon de paramètres de concentration à comparer avec les simulations numériques (à ce jour, les trop rares mesures semblent 2 à 3 fois plus grandes ce qui implique peut-être de revoir les conditions initiales des scénarios de formation des halos (Lin & Ostriker 2002, 2003).

- Pour les rings nous proposons l'étude de la distribution de masse des galaxies dans leur rayon optique et leur évolution en fonction du temps cosmique (M_{DM} et M/L; Ofek et al. 2003, 2005; Chae 2005). La détection de 5ème image proche du centroide de masse de la lentille, dans des follow-up HST de ring brillant, nous permettrait peut-être d'attaquer le problème de la caractérisation de la singularité centrale des halos. De même, quelques systèmes d'arcs de galaxies spirales « edge-on » permettraient de décrire la géométrie de quelques halos au niveau du diamètre optique (domaine de forte compétition avec follow-up HST indispensable).

-La caractérisation de la statistique des grands arcs et la comparaison des résultats avec les simulations numériques (Oguri 2003, Bartelmann et al. 2003, Dalal et al. 2004, Ho & White 2005, Li et al. 2005, Chen 2005) sera poursuivie puisque Y. Mellier à indiquer que leur nombre est d'au moins un par degré carré soit 3 à 10 fois plus que prévu.

- Enfin, l'avantage d'une grande base de données est de pouvoir sélectionner des cas rares et intéressants, jusqu'alors inobservés, comme des systèmes d'arc se produisant très près de l'axe optique lorsque la source d'arrière plan est à faible décalage spectral.

Programme de travail

Les très grands sondages au sol et spatiaux nécessitent de mettre au point des *logiciels automatiques ou d'aide à la détection des effets de lentilles*. Trois logiciels « prototypes » sont en cours de développement et d'évaluation dans notre groupe de travail :

Arclets (auteurs Dantel-Fort, Fort et Sygnet) vise à détecter des (mini) arcs multiples au centre des amas et surtout des groupes. Ces systèmes (profondeur optique probable de l'ordre de 10^{-4} à 10^{-5}) sont difficilement repérables à l'œil à cause des effets de seeing surtout quand le rayon d'Einstein est modeste (4-10 seconde d'arc). Une des idées serait aussi de mettre en évidence l'existence de halos communs à plusieurs galaxies ou des halos très peu lumineux

Ring (auteurs Sygnet, Schulmann, Alard , Fort) vise à la détection automatique des candidats anneaux d'Einstein (profondeur optique de l'ordre de 10^{-3}) autour des galaxies (principalement elliptiques massives à z>0.4). Il doit y en avoir plus d'une dizaine par degré carré détectables sur des images spatiales. Compte tenu des effets de seeing du petit rayon d'Einstein (0.5 à 3") Ring n'en détecte qu'une fraction par degré carré. Avec le CFHTLS/Wide, on pourra néanmoins se constituer une base de donnée (quelques centaines) dépassant rapidement celle des QSOs multiples.

GiantArc (développé par C. Allard) concerne la détection automatique des arcs lumineux géants pour avoir des critères de sélection plus objectifs (surface de champ analysé, attributs des arcs : comme longueur et brillance de surface, etc..) afin de comparaison avec les prévisions des simulations numériques en limitant les effets de biais statistiques .

La mesure spectroscopique du décalage spectral des images multiples des sources et des lentilles constituera un volet très important du travail à fournir : sélection minutieuse des candidats après une rapide modélisation utilisant les z couleurs, préparation des demandes de télescope et réduction des données. L'imagerie optique à haute résolution sur le HST devra aussi être préparée et réalisée pour les cas astrophysiques les plus intéressants

La modélisation des lentilles s'appuiera sur l'expertise accumulé en France avec les logiciel de Jean-Paul Kneib et de Raphael Gavazzi qui permettent maintenant de travailler très rapidement sur des systèmes complexes (effets perturbatif de sous halos) et qui convergent rapidement sur les modèles optimum (utilisation de chaines de Markov) avec des possibilités de reconstruction de l'image des sources et de comparaison des résultats.

Organisation et calendrier du projet

Nous avons déjà détectées une bonne dizaine de bons candidats sur les deux premiers champs disponibles du survey CFHTLS (D1,D3). La sélection de candidats s'effectuera au fur et à mesure de la mise à disposition des données avec des tests (évolutif) des performances de nos algorithmes sur des champs bénéficiant de quelques images du HST comme la Groth strip de CFHT-LS-D3.

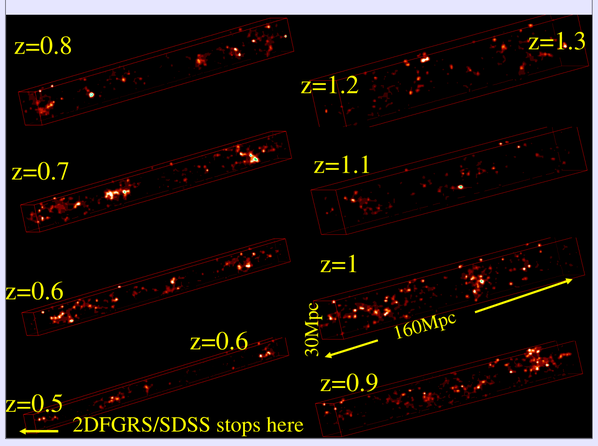
Nous avons déjà présenté un demande d'observation de lentille du champ nord sur GEMINI et sur un dark radio lens sur le VLBA. Nous préparerons activement les demandes VLT , puis Grantecan après sa première lumière.

CFHTLS / VIMOS

- CFHTLS-Deep: champs profonds
  4 x 1°, U, G, R, I, Z, $I_{AB} < 28.4$
- \+ VLT VIMOS Spectroscopie Deep
  40 000 spectres, R = 5000
  tout objet avec $I_{AB} < 24$, $\langle z_{spectro} \rangle = 0.76$
- CFHTLS-Wide: grands champs
  170 °, $I_{AB} < 24.5$

VVDS 0226-04 cone: 6217 galaxies

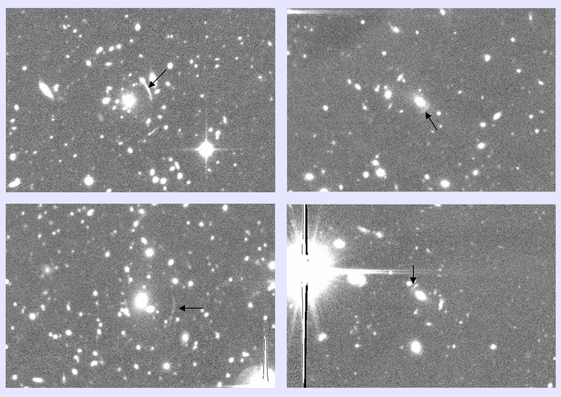
(Olivier Le Fèvre et al. 2004)



CFHTLS: nombre prédit de mirages (complétude I_{AB}<26.5)

Type	prédiction [deg^{-2}]	observé [deg^{-2}]	Ref
• arcs géants	~ 0.1	~ 1	Mellier 2005
• arc(let) dans groupes et amas	~ 10-20	?	
• mirages isolés anneaux (surtout E)	~ 50-70	beaucoup	HST, GOODS, ...
• Amplification forte	> 10-100	?	
• autres (DM, cordes)	~ 0 - ?	?	

CFHT-SL2S: arcs géants dans les amas de galaxies

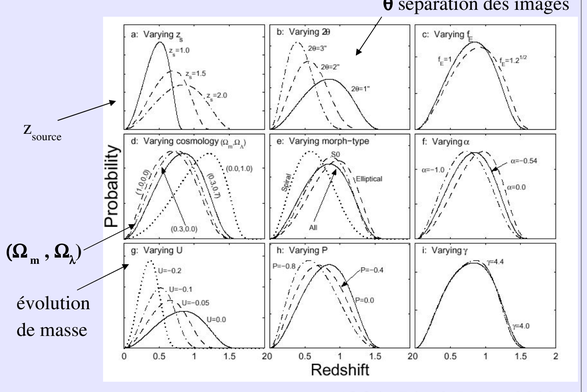


Echantillon d'arcs géants du CFHTLS-W3 (Mellier 2005)

Recherche d'arcs autour de galaxies dans GOODS: r = 0.1 arcsec, 0.3 arcsec < R_E < 3 arcsec)
<- GOODS

est équivalent à la recherche d'arcs autour de groupes dans CFHTLS:
r = 0.8 arcsec, 3 arcsec < R_E < 60 arcsec
même rapport R_E / r
<- CFHTLS-D3

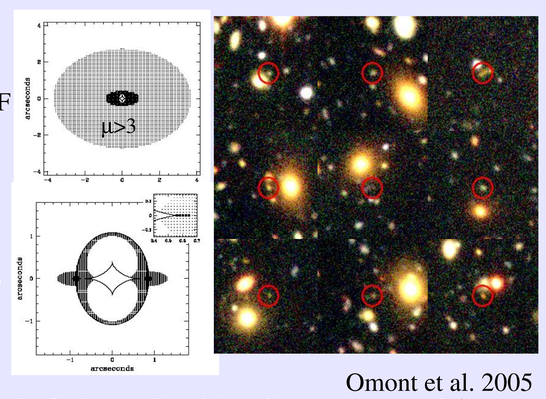
Tests cosmologiques avec les statistiques d'arcs



(Ofek, Rix & Maoz 2003)

Fréquence des mirages vs redshift varie significativement pour: z_s redshift des mirages (sources), 2θ séparation des images, U évolution de masse (lentille), $(\Omega_m , \Omega_\lambda)$ cosmologie, type morphologique des lentilles

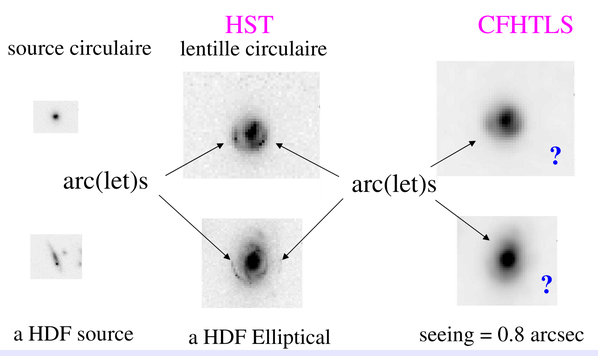
CFHTLS galaxies drop-out amplifiées



Omont et al. 2005

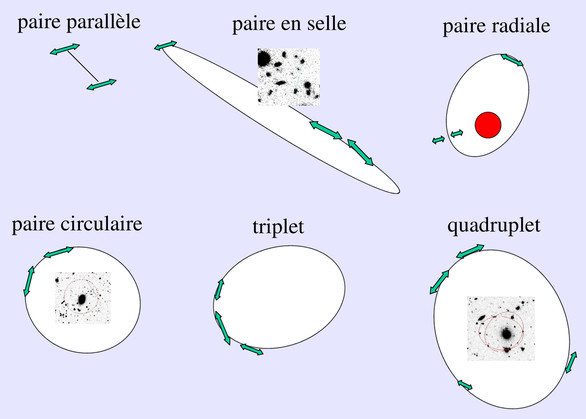
10 – 30 % de tous les objets distants sont amplifiés avec μ>10 (Keeton's prediction 2005)

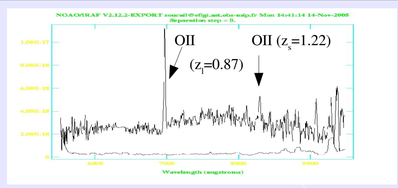
Simulations d'arcs autour de lentilles elliptiques



En raison du seeing, seul un suivi spectroscopique permet parfois de distinguer les vrais mirages des bras spiraux "face-on".

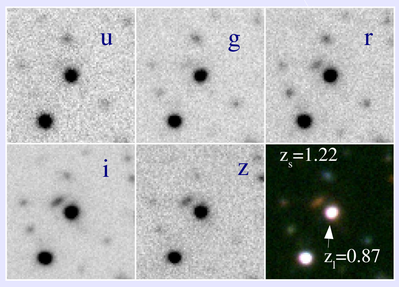
Arclet: Sélection générique d'arclets





VVDS: candidat spectroscopique

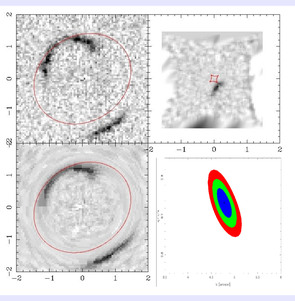
Le spectre montre des raies d'émission à plusieurs redshifts.



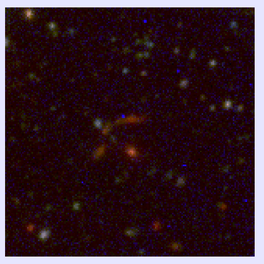
L'imagerie CFHT-SL2S donne une information morphologique a posteriori

Modélisation

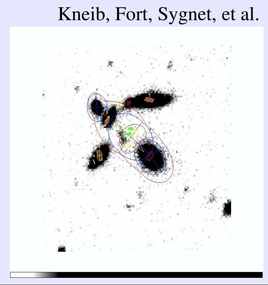
Exemples de modélisation sur des mirages gravitationnels forts



HST/ACS : Cosmos survey
Gavazzi, Van Waerbeke, Mellier, Fort



CFHTLS-D3 SL2S
Kneib, Fort, Sygnet, et al.



References

An, 2005, MNRAS 356, 1409
Bartelmann et al., 2003, A&A 409, 449
Broadhurst et al., 2005, ApJ 619, 143
Cabanac, et al., 2005 A&A 436, L21
Chae, 2005, ApJ 630, 764
Chen, 2005, ApJ 629, 23
Dalal et al., 2004, ApJ 609, 50
De Filipis et al., 2005, ApJ 625, 108
Dobler & Keeton, 2005, astro-ph/0502436
Fort et al., 1988, A&A 200, L17
Fort et al., 1992, ApJ 399, 125
Fort and Mellier, 1994, A&ARv 5, 239
Gavazzi 2003, A&A 403, 11
Gavazzi, 2005, IAU Symp 225, 179
Hagan et al., 2005, astro-ph/0504557
Ho & White, 2005 Aph. 24, 257
Keeton, C., 1998, PhD T., Harvard U, 153p
Keeton, C., 2001, ApJ 562, 160
Keeton et al., 2003, ApJ 598, 138
Keeton et al., 2005, ApJ, 621, 559
Keeton et al., 2005, astro-ph/0503452
Kneib et al., 1993, A&A 273, 367
Kneib et al., 1994, A&A 286, 701
Kneib et al., 2000, IAP Meeting 2000
Kneib et al., 2003, ApJ 598, 804
Kneib et al., 2004, ApJ 607, 597
Kochanek et al., 2001, ApJ 547, 50
Koopmans, L., 2005, MNRAS 890
Li et al., 2005, astro-ph/0503172
Lin & Ostriker, 2002, ApJ 566, 652
Lin & Ostriker 2003, ApJ 595, 603
Mandelbaum et al., 2005, astro-ph/0509026
Marshall et al., 2005, astro-ph/0501328
McLeod, 2001, ASPC 237, 177
Mellier et al., 1993, ApJ 407, 33
Miralda-Escude, 1992, MNRAS 259, 31
Miralda-Escude, 1993a, ApJ, 403, 497
Miralda-Escude, 1993b, ApJ, 403, 509
Ofek et al., 2003 MNRAS 343, 639
Ofek et al., 2005, astro-ph/0510465
Oguri M., 2003, IAUJD 10, 49
Oguri, M., 2004, PhD T., Univ. Tokyo, 174p
Oguri, M., 2005, IAU Symp 225, 407
Pello et al., 1991, ApJ 366, 405
Pello et al., 2004, A&A 416, 35
Pello et al., 2005, astro-ph/0510180
Rozo et al., 2005, astro-ph/0506573
Rusin et al., 2005, ApJ 627, 93
Soucail et al., 1987, A&A 184, L7
Williams et al., 1999, ApJ 527, 535