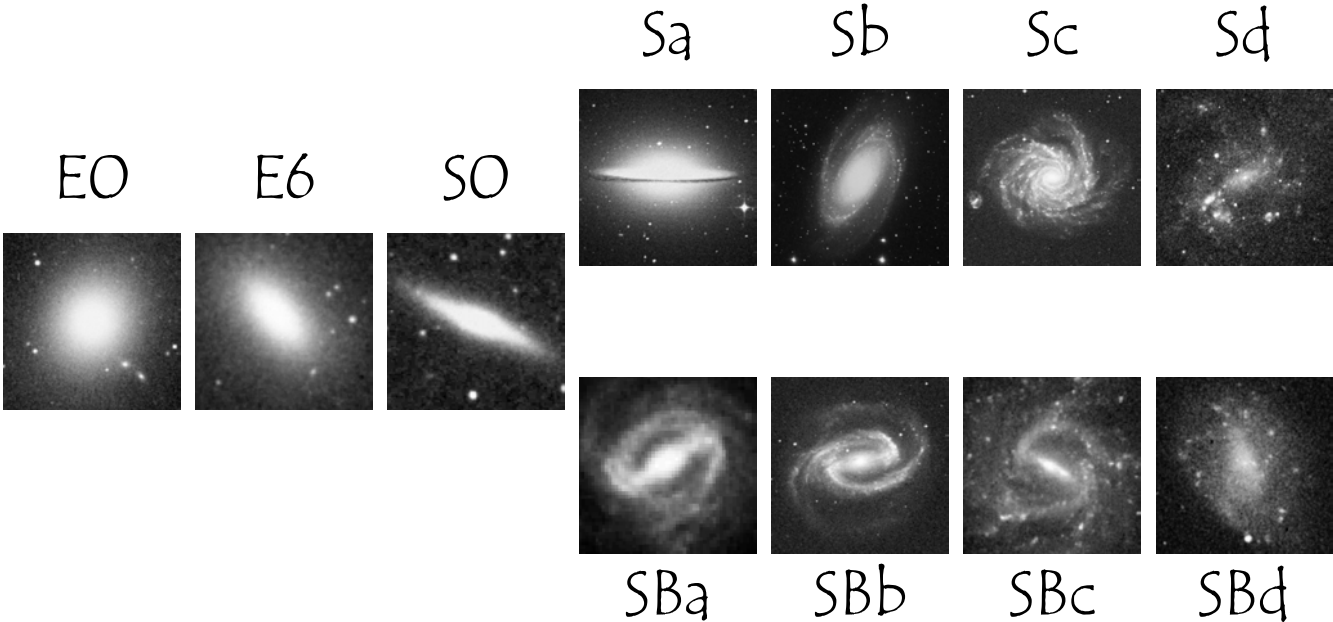


Les Cœurs en Contre-Rotation

Fabien Wernli
CRAL

Introduction
I-Méthodologie
II-NGC 4621
III-4150 et 7332
IV-Indices de Raies
Conclusion

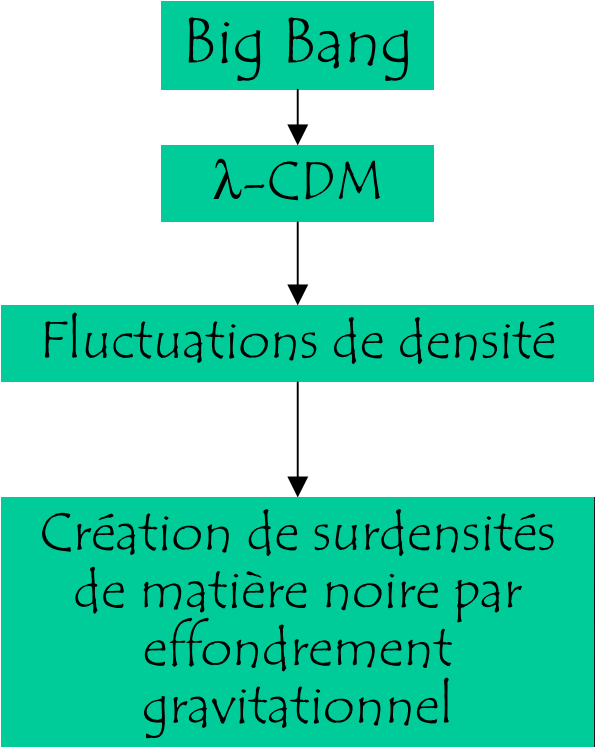
Evolution des galaxies



- Différents types de galaxies
- Classification de *Hubble* (1922, 1926)
- Origines différentes?
- Stade différent de l'évolution? (précoces/tardives)

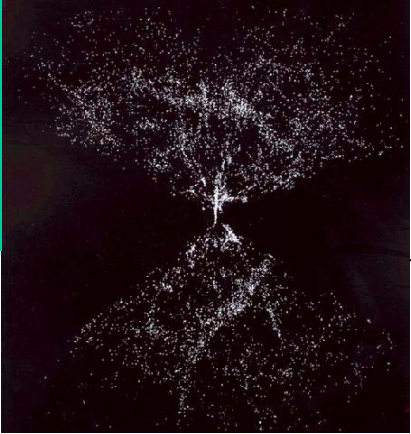
Introduction
I-Méthodologie
II-NGC 4621
III-4150 et 7332
IV-Indices de Raies
Conclusion

Formation des grandes structures



Evolution vers galaxies elliptiques, spirales

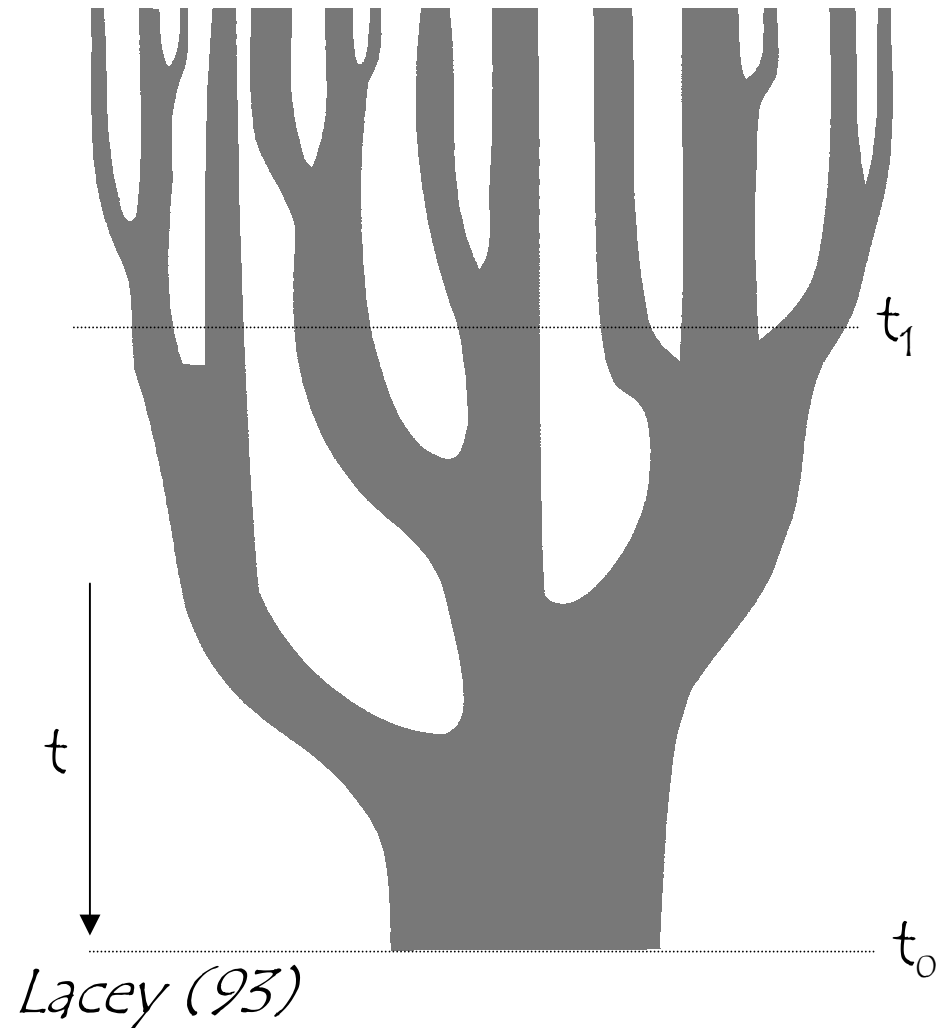
Modèle hiérarchique



Création de protogalaxies par formation stellaire

Modèle hiérarchique d'évolution

- Evolution des galaxies semée d'interactions
- Fusions majeures/mineures de galaxies
 - Redistribution des étoiles, du gaz...
 - Formation d'étoiles
- Forme dépend de l'environnement:
Ségrégation de type



- Introduction
- I-Méthodologie
- II-NGC 4621
- III-4150 et 7332
- IV-Indices de Raies
- Conclusion

Contraindre l'arbre de fusion

↳ Contrainte globale

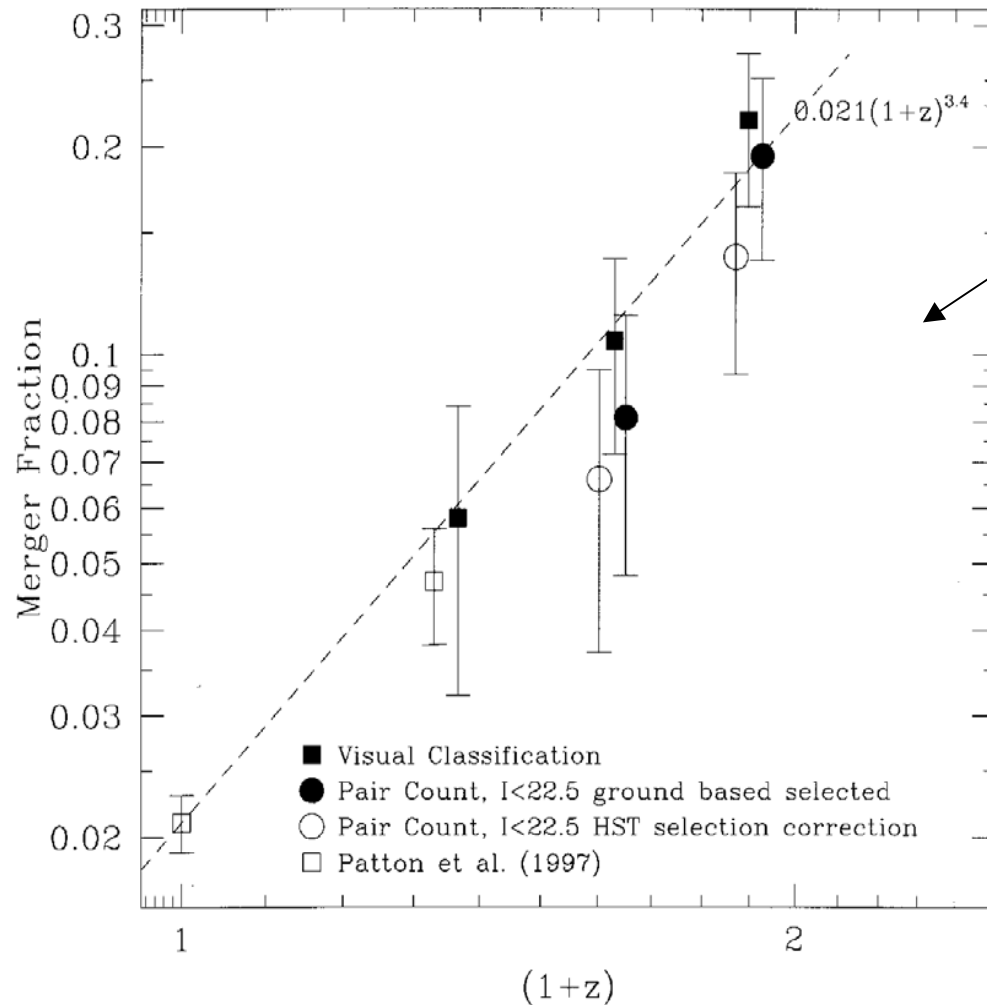
↳ Observation du **Taux de fusion**
 (Le Fèvre et al. 2000)
 ⇒ ~1 fusion entre z=0 et 1

↳ Approche statistique

↳ Morphologie et dynamique des galaxies

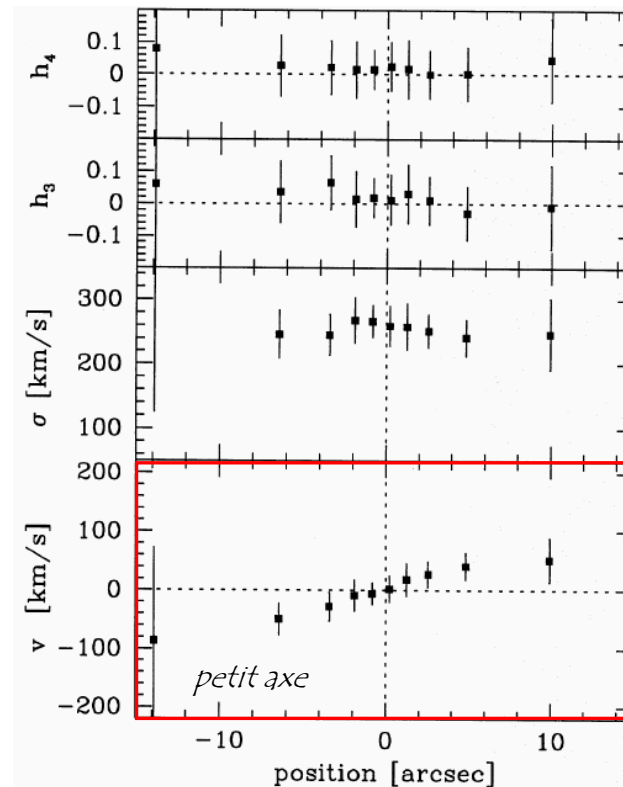
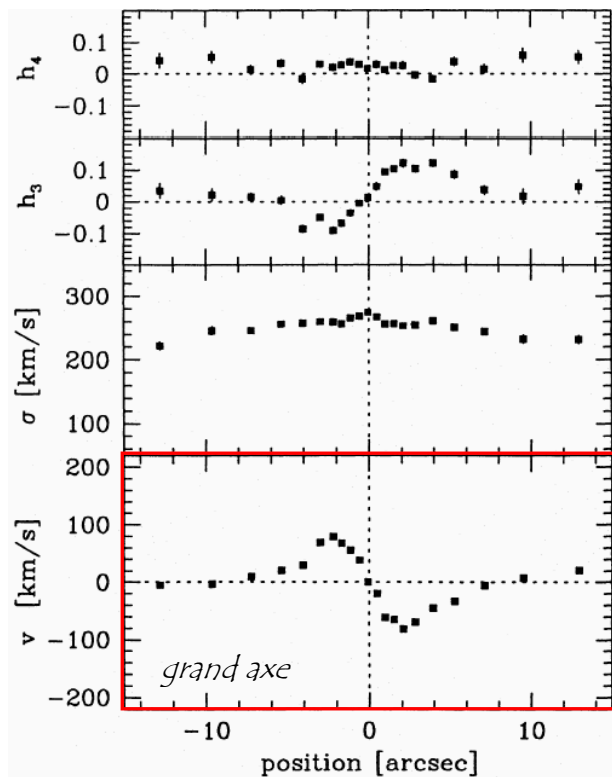
↳ Statistique sur les étoiles en orbites rétrogrades (Kuijken et al. 96)
 ⇒ <10% de SO avec étoiles CR

↳ En général études basées sur des données longue-fente



Contraindre l'arbre de fusion (2)

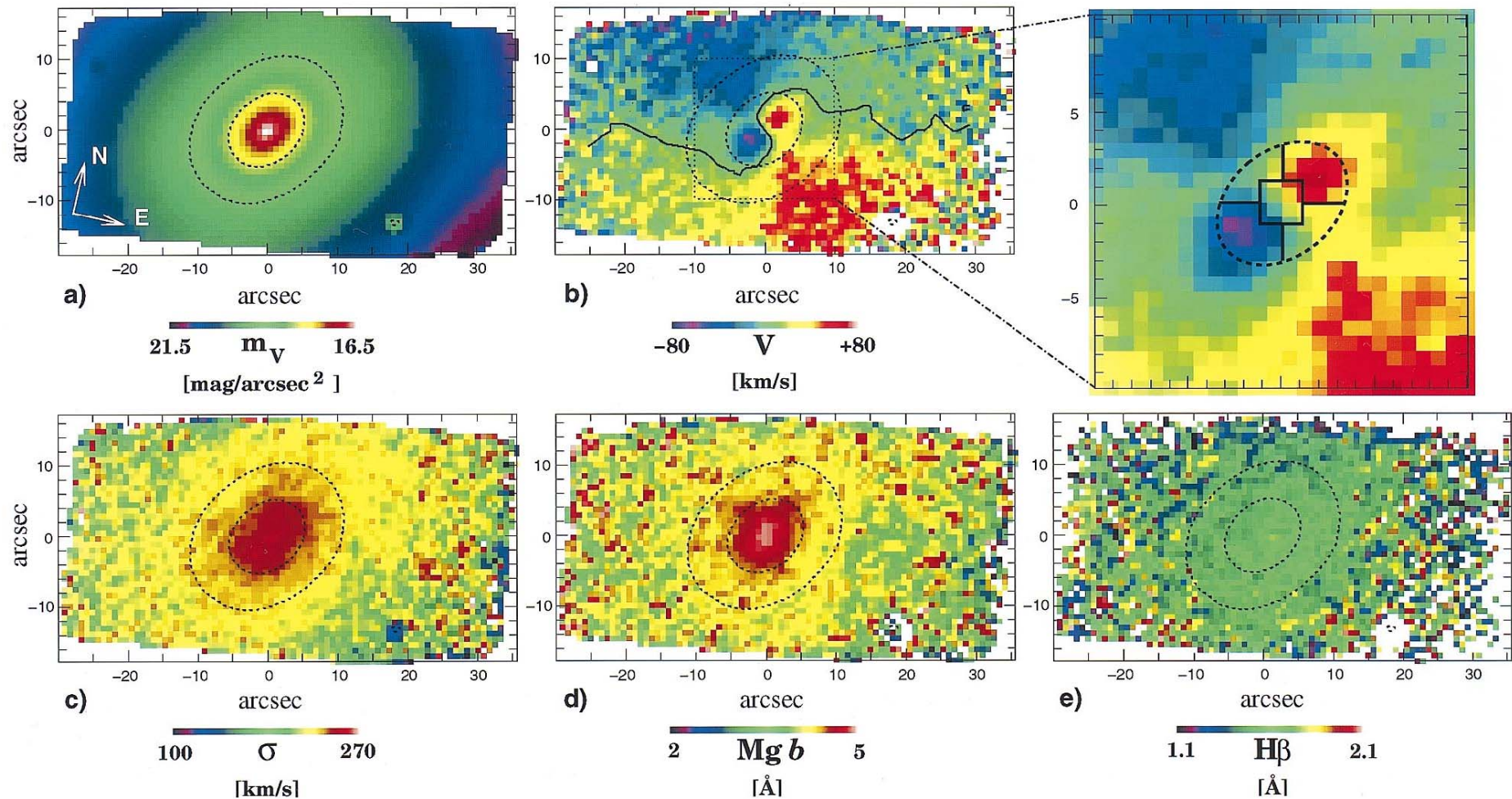
- NGC 4365 (Surma & Bender 1995): cœur cinématiquement découplé, reste d'une fusion?



Introduction
I-Méthodologie
II-NGC 4621
III-4150 et 7332
IV-Indices de Raies
Conclusion

Contraindre l'arbre de fusion (2)

NGC 4365 (*Davies et al 2001*) en 2D



Le consortium SAURON

- Sondage de 72 galaxies elliptiques et spirales
- Données 3D
- Echelles multiples: SAURON $\sim 0.''8$ et OASIS $\sim 0.''2$
- 4800-5400 Å
- Echantillon représentatif:
 - ↳ Couverture homogène du plan $M_B - \epsilon$
- Ce travail: utiliser ces données afin d'établir une stratégie d'étude des objets qui montrent des résidus d'interaction
 - Etude des objets avec cœurs cinématiquement distincts (CDC)

Plan de la présentation

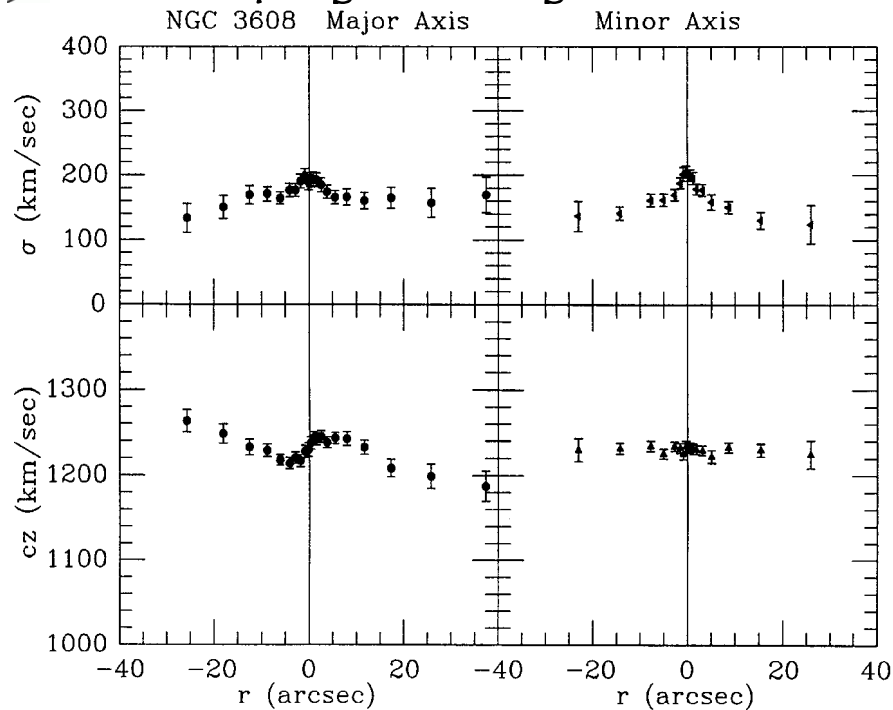
- Introduction sur les CDC
- Méthodes utilisées: spectro 3D et modèles dynamiques
- Cas d'étude: NGC 4621
- Autres applications: NGC 4150, NGC 7332
- Perspective: modélisation des indices de raies
- Conclusions et Perspectives générales

Introduction
I-Méthodologie
II-NGC 4621
III-4150 et 7332
IV-Indices de Raies
Conclusion

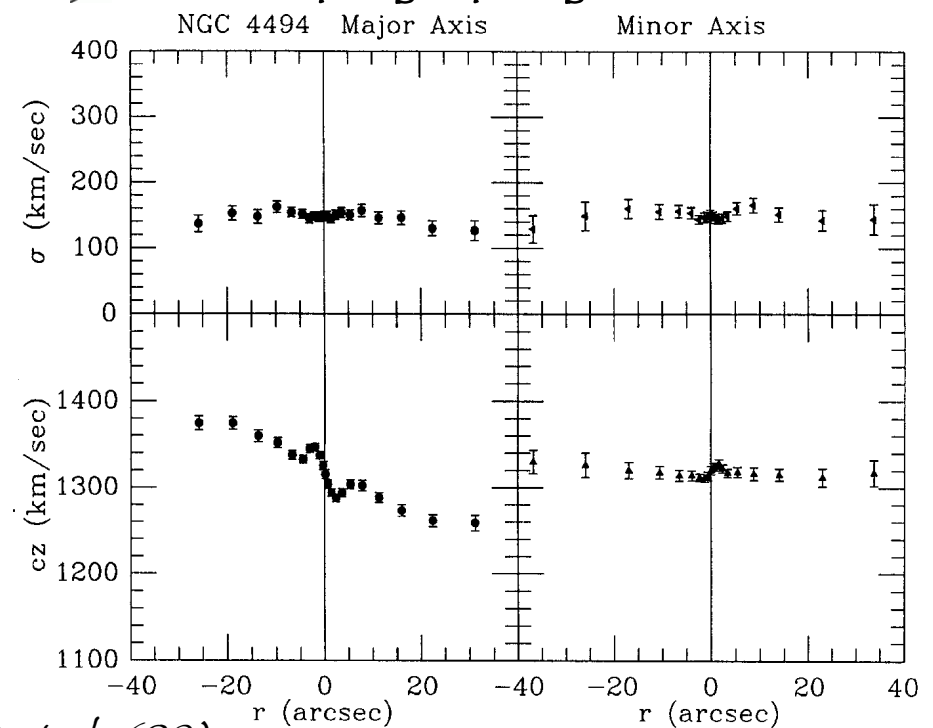
Les cœurs cinématiquement distincts (CDC)

Objets fortement perturbés dans leur cinématique

Découplage rétrograde : CCR



Découplage prograde: PCR



Jedrzejewski et al. (89)

Historique des CDC

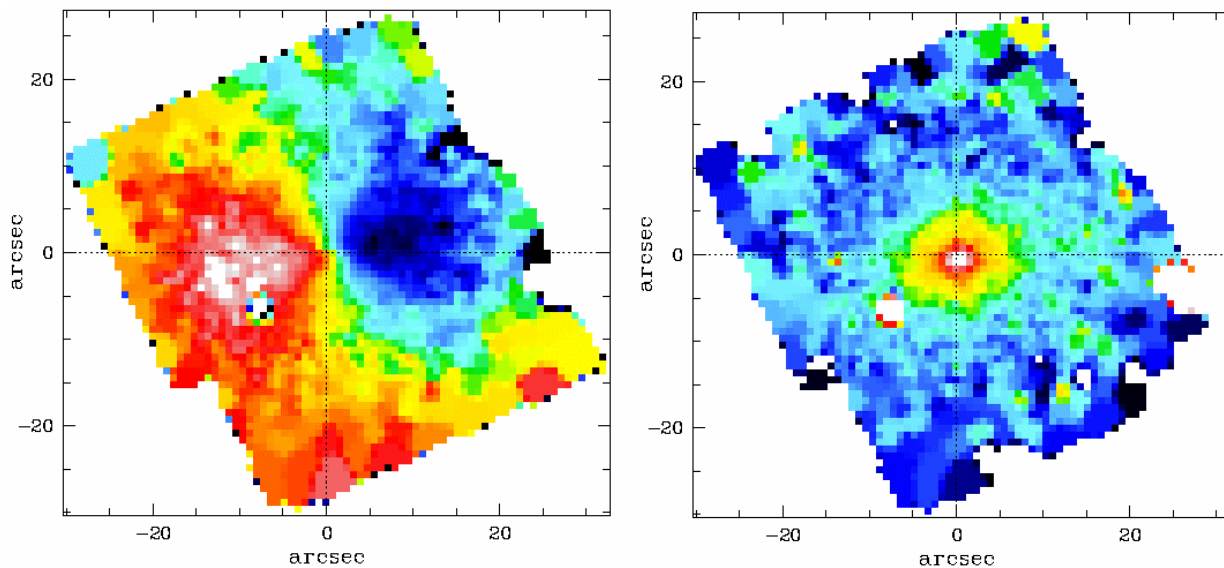
Objet	D (Mpc)	Réf.	P/R	Ψ	R_0 (")	R_0 (pc)	V_{max}	σ_0 (km.s ⁻¹)	Référence
M31	0.77	(0)	P		1	3.7			Bacon et al. (2001b)
IC 1459	29.2	(1)	R		12	1700	150	360	Franx & Illingworth (1988)
IC 4051	92.0	(2)	P		5	2230	30	260	Mehlert et al. (1998)
NGC 1399	20.0	(1)	R		4	390	10	350	D'Onofrio et al. (1995)
NGC 1404	21.1	(1)	R		2	200	<10	260	D'Onofrio et al. (1995)
NGC 1427	23.6	(1)	P		8	920	50	160	D'Onofrio et al. (1995)
NGC 1439	26.7	(1)	R		10	1300	25	160	Franx et al. (1989)
NGC 1700	44.3	(1)	R		5	1070	20	230	Statler et al. (1996)
NGC 2434	21.6	(1)	P*		10	1050	20	260	Carollo & Danziger (1994b)
NGC 2663	27.4	(3)	R		(15)	(2000)	(20)	300	Carollo & Danziger (1994a)
NGC 2865	37.8	(1)	P		4	730	45	180	Hau et al. (1999)
NGC 3608	22.9	(1)	R		10	1110	20	200	Jedrzejewski & Schechter (1989)
NGC 4150	13.7	(1)	R	0	2.5	170	20		Cette étude
NGC 4278	16.1	(1)	R	5	30	2340	50	240	Davies & Birkinshaw (1988)
NGC 4365	20.4	(1)	R*	90	10	1000	40	290	Bender (1988)
NGC 4406	17.1	(1)	P*		6	500	50	260	Bender (1988)
NGC 4494	17.1	(1)	P		7	580	40	110 (150)	Bender (1988)
NGC 4552	15.3	(1)	P*		10	740	50	270	Forbes et al. (1995)
NGC 4589	22.0	(1)	P		5	530	50	225	Moellenhoff & Bender (1989)
NGC 4621	18.3	(1)	R		0.7	60	50	330	Wernli et al. (2002)
NGC 4816	88.3	(3)	R		4	1710	30	260	Mehlert et al. (1998)
NGC 5322	31.2	(1)	R*		12	1800	80	230	Bender (1988)
NGC 5813	32.2	(1)	P		(10)	(1500)	(80)	(220)	Efstathiou et al. (1982)
NGC 5982	44.9	(3)	R	90	7	1500	50	250	Wagner (1990), Statler (1991)+oost
NGC 7192	37.8	(1)	R*		15	2750	30	260	Carollo & Danziger (1994b)
NGC 7626	40	(3)	R	45	4	880	40	250	Balcells & Carter (1993)

But de ce travail

- Extraire l'information pertinente des CDC permettant de contraindre l'arbre de fusion des galaxies
- Etablir une stratégie pour l'étude des CDC
 - Etude de la cinématique 3D
 - Elaboration d'une méthode d'analyse de la *dynamique adaptée à ces objets*
 - Classification pertinente des objets
 - Application des méthodes développées sur un grand échantillon

Pourquoi la spectrographie 3D ?

☞ Manque d'informations en longue-fente (ex: NGC 4278)



données SAURON

☞ Etude détaillée de la dynamique impossible en longue-fente

Introduction
I-Méthodologie
II-NGC 4621
III-4150 et 7332
IV-Indices de Raies
Conclusion

Spectroscopie 3D

- Cubes de données (α, δ, λ)
- Réduction des données optimisée
 - logiciels IFU du CRAL
 - Euro3D

Introduction
I-Méthodologie
II-NGC 4621
III-4150 et 7332
IV-Indices de Raies
Conclusion

Modèles dynamiques

- But: connaître la fonction de distribution (FD) de la galaxie
- Résoudre l'équation de Boltzmann
- Intégrales du mouvement $FD(x,v) = FD(IDM)$

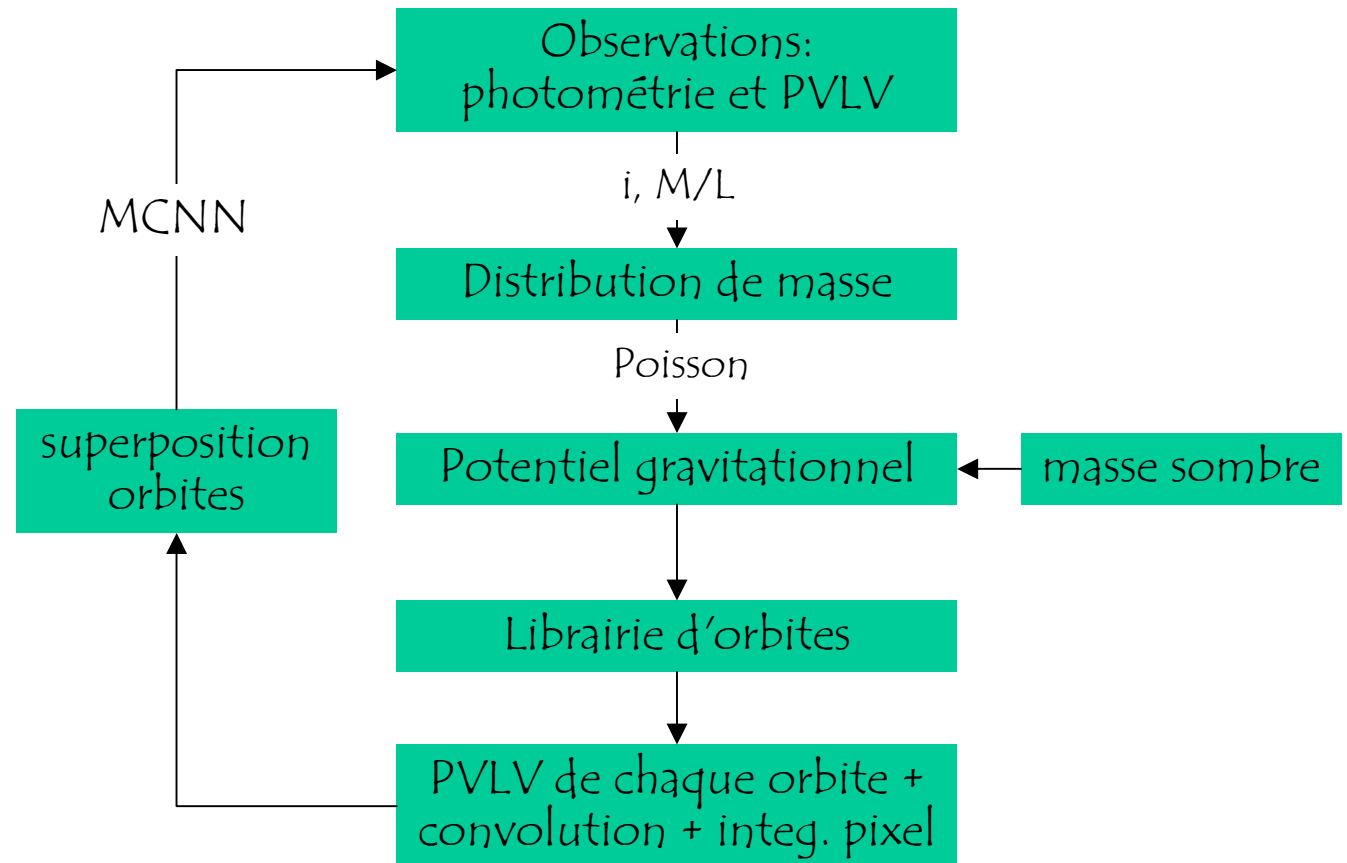
- Nombreuses méthodes:
 - *Jeans*
 - *Hunter et Qian*
 - *N-corps*
 - *Schwarzschild*
 - *Syer & Tremaine*

- Différentes géométries:
 - axisymétrie
 - triaxialité

Introduction
I-Méthodologie
II-NGC 4621
III-4150 et 7332
IV-Indices de Raies
Conclusion

Superposition des orbites: Schwarzschild (1979,1982)

- auto-cohérente
- Linéaire
- Robuste
- Mise en œuvre à partir du code de Leiden
- ~~stabilité~~
- ~~unicité~~



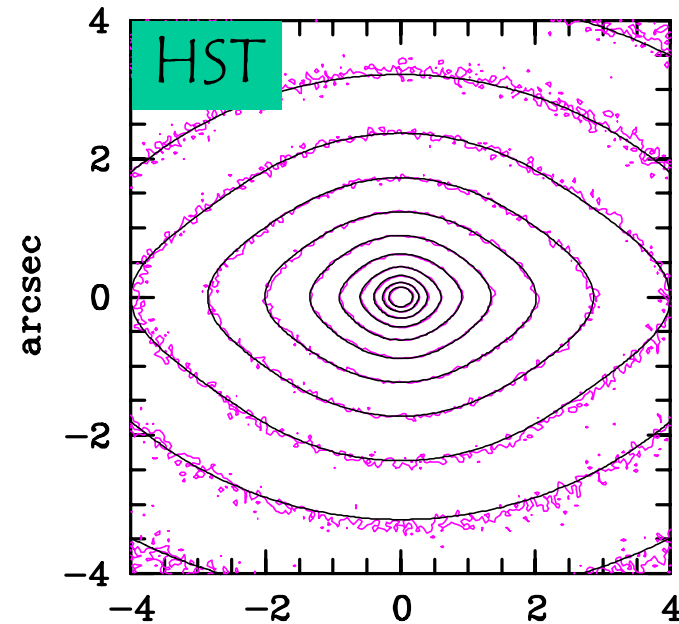
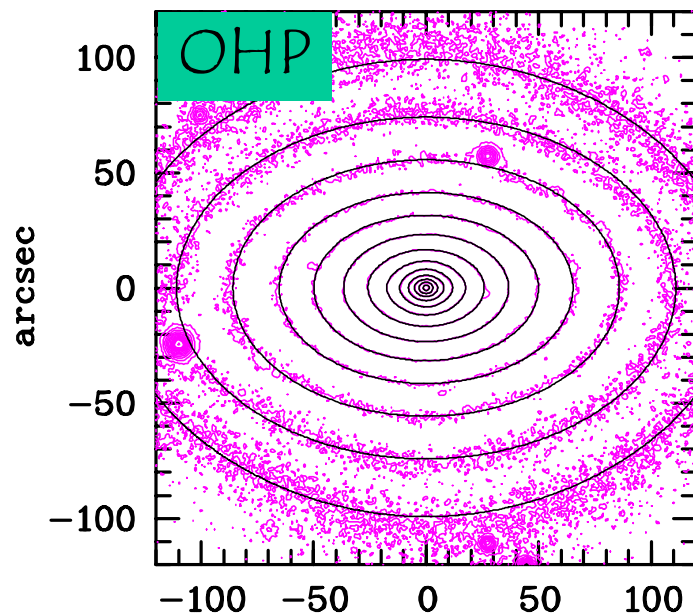
Introduction
I-Méthodologie
II-NGC 4621
III-4150 et 7332
IV-Indices de Raies
Conclusion

NGC 4621

Le cas d'étude

Présentation de NGC 4621

- SO dans l'amas de la Vierge
- Dist = 18.3 Mpc
- Magnitude apparente $M_V = 9.6$
- de type "cusp" selon NUKER : $\gamma = 2.03$



Les jeux de données

↳ Données 3D

- ↳ *OASIS avec AO* (Janv. 2000) lentilles 0."16
- ↳ *OASIS sans AO* (Avr. 2002) lentilles 0."27
- ↳ *SAURON* (Janv. 2001) lentilles 0."8

↳ Données Longue-fente

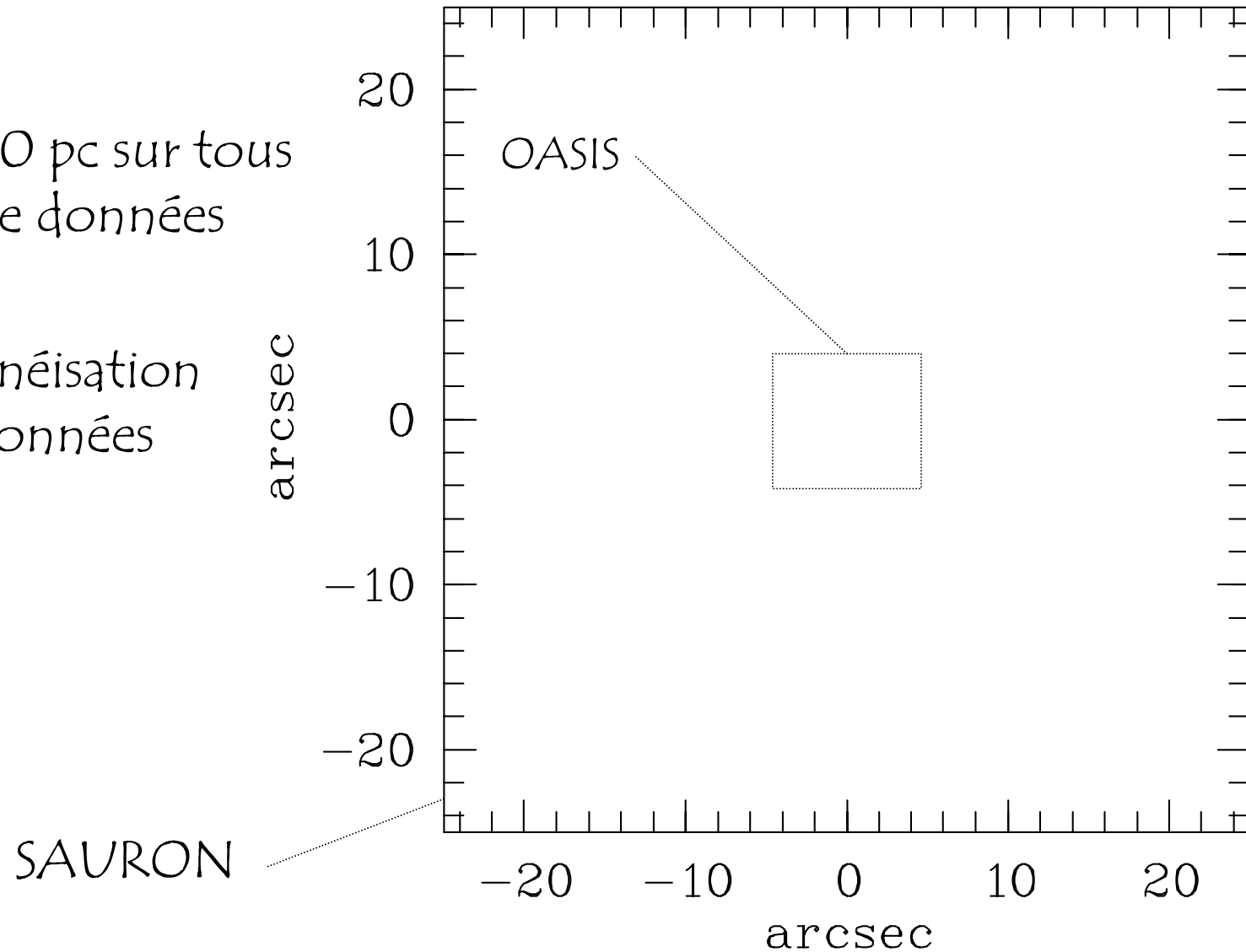
- ↳ Bender et al. (94)
- ↳ *STIS* (Green)

↳ Données photométriques

- ↳ OHP (Idjart et al. 2002)
- ↳ HST (WFPC2: F555W, F814W)

Le μ -CRC de NGC 4621 (1)

- CRC de 60 pc sur tous les jeux de données
- Homogénéisation jeux de données



Introduction
I-Méthodologie

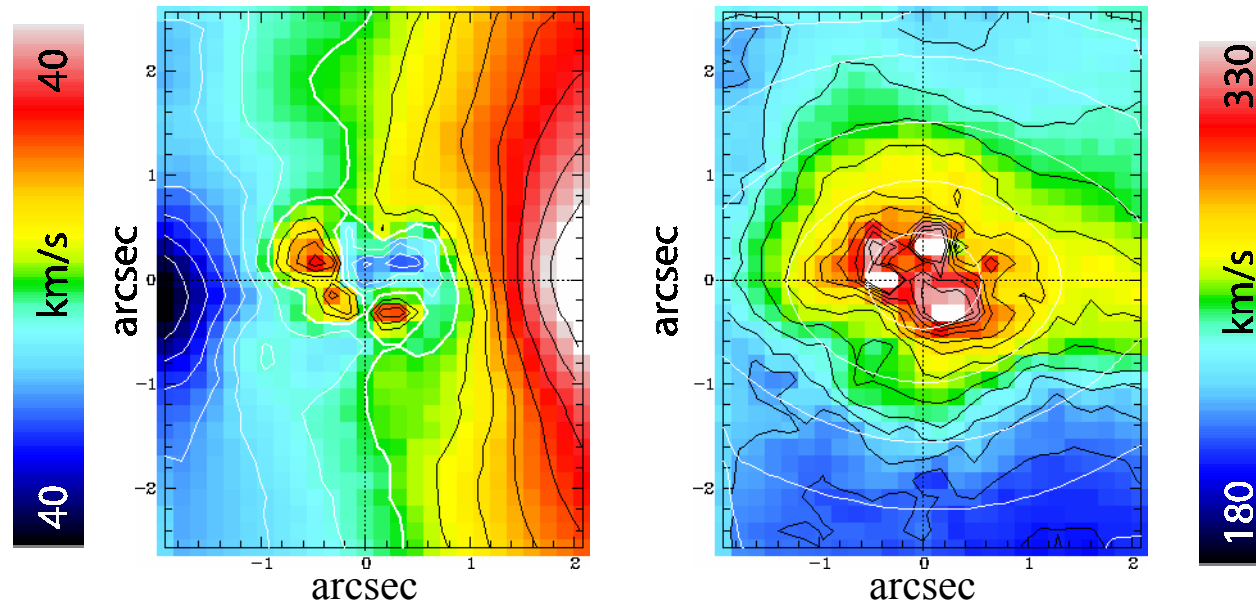
II-NGC 4621

III-4150 et 7332

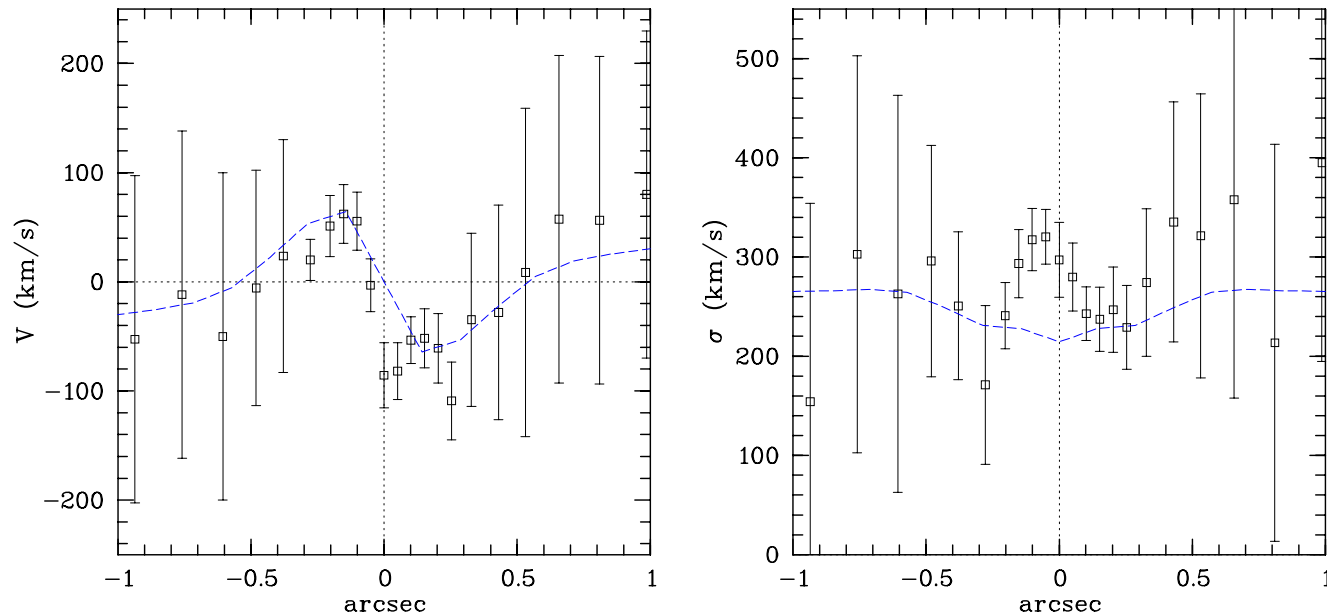
IV-Indices de Raies
Conclusion

Le μ -CRC de NGC 4621 (2)

OASIS AO



STIS



27/11/2002

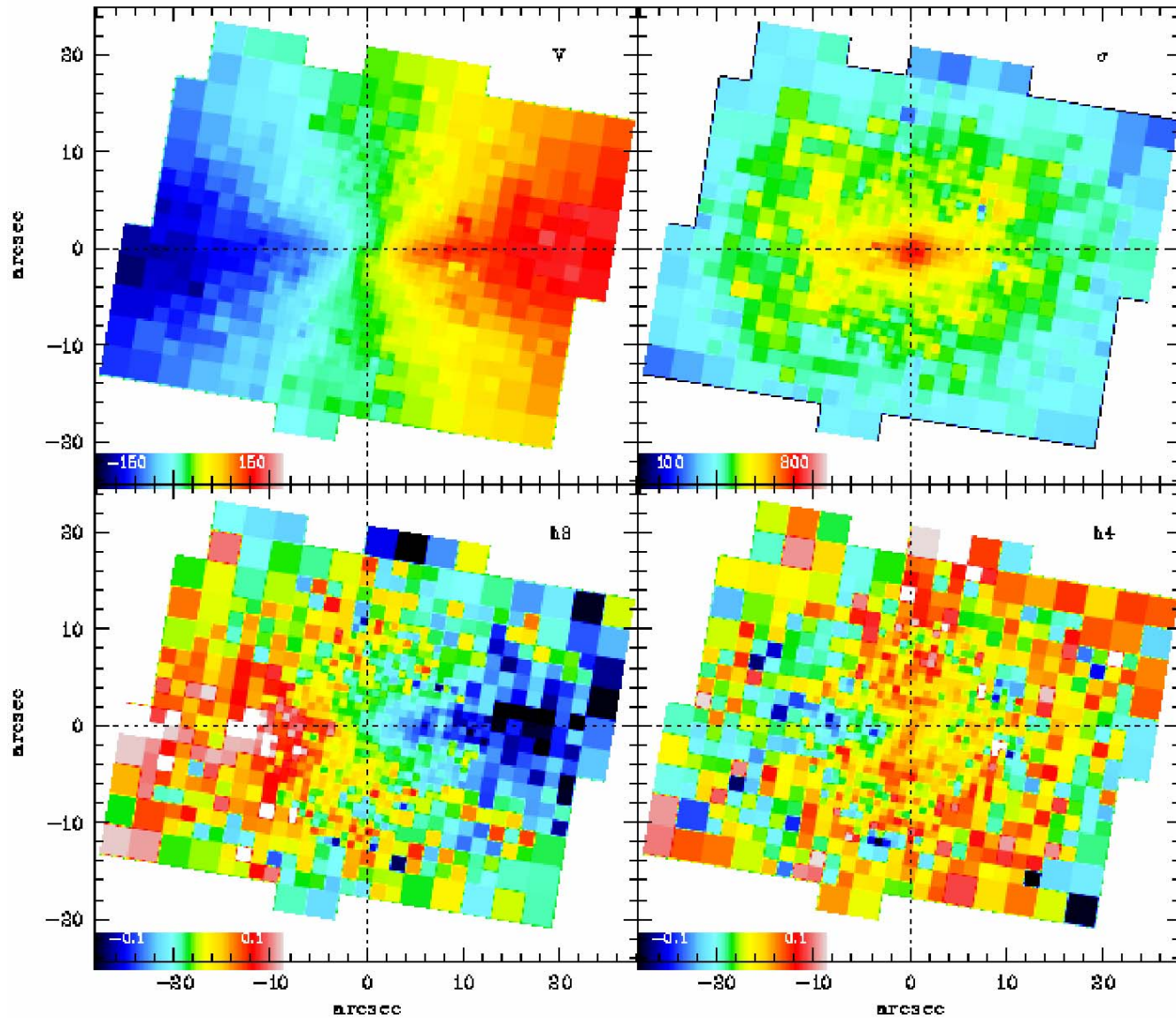
LES COEURS EN CONTRE-ROTATION

21

- Introduction
- I-Méthodologie
- II-NGC 4621
- III-4150 et 7332
- IV-Indices de Raies
- Conclusion

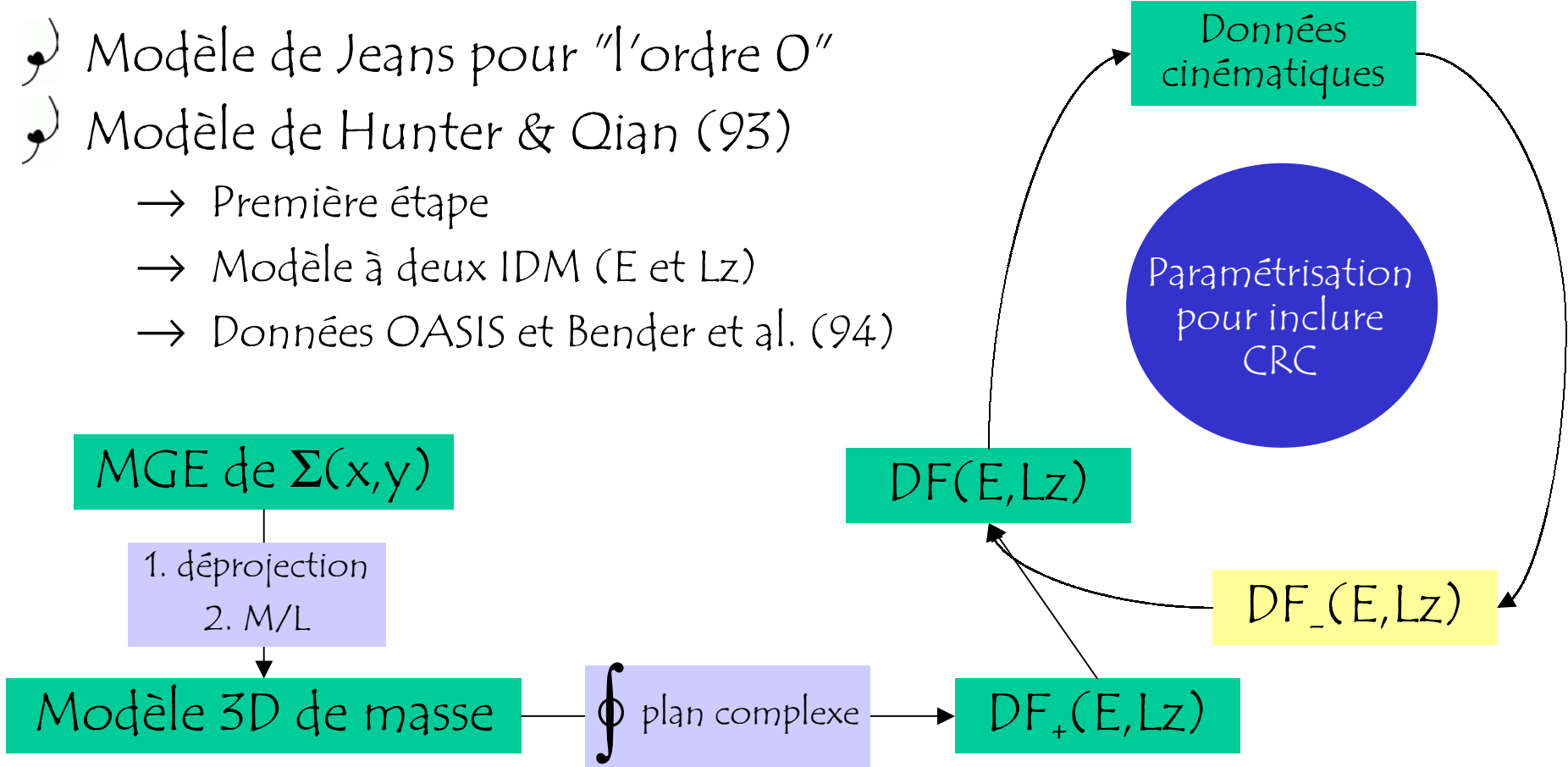
Le μ -CRC de NGC 4621 (3)

SAURON



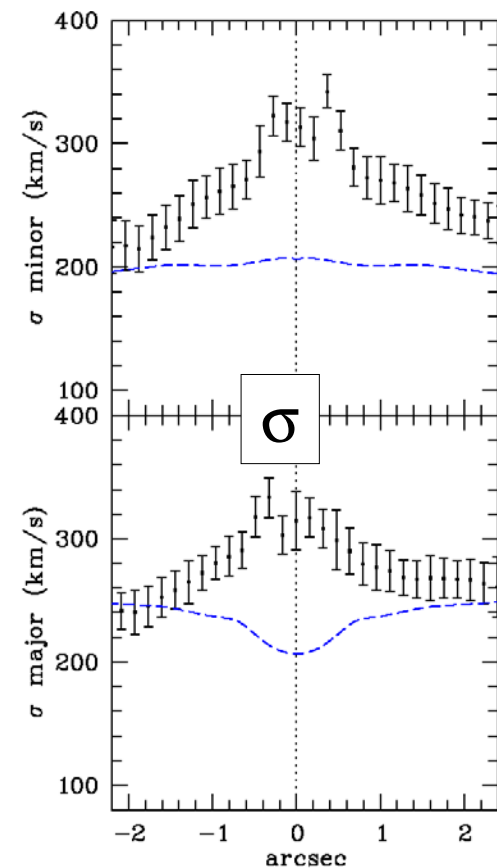
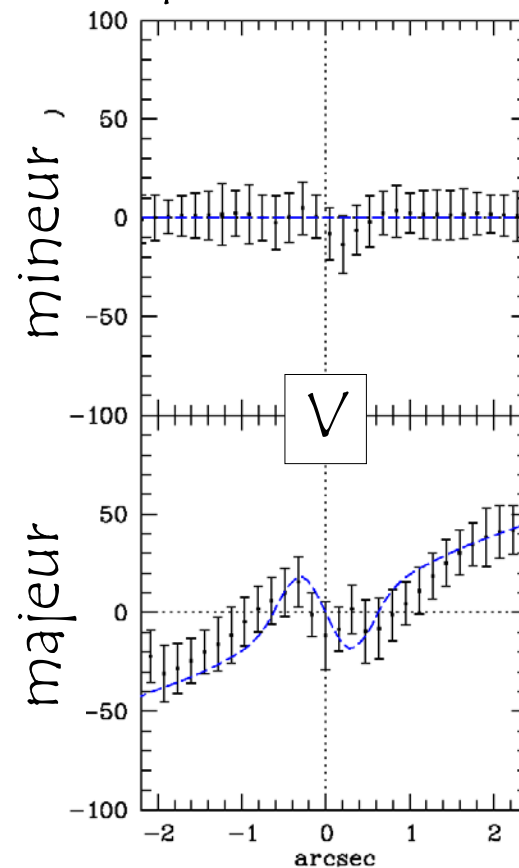
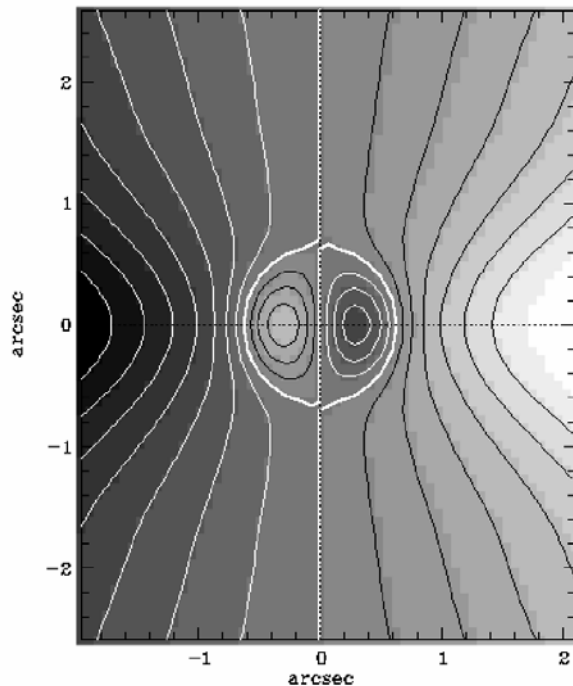
Modélisation dynamique I: Hunter & Qian

- Modèle de Jeans pour "l'ordre 0"
- Modèle de Hunter & Qian (93)
 - Première étape
 - Modèle à deux IDM (E et Lz)
 - Données OASIS et Bender et al. (94)



Modélisation dynamique I: Résultats

- Ajustement impossible de V , σ , h_3 , h_4 simultanément sur les données longue-fente
→ nécessité d'un modèle plus complet (3 IDM)
- Bon ajustement du CRC

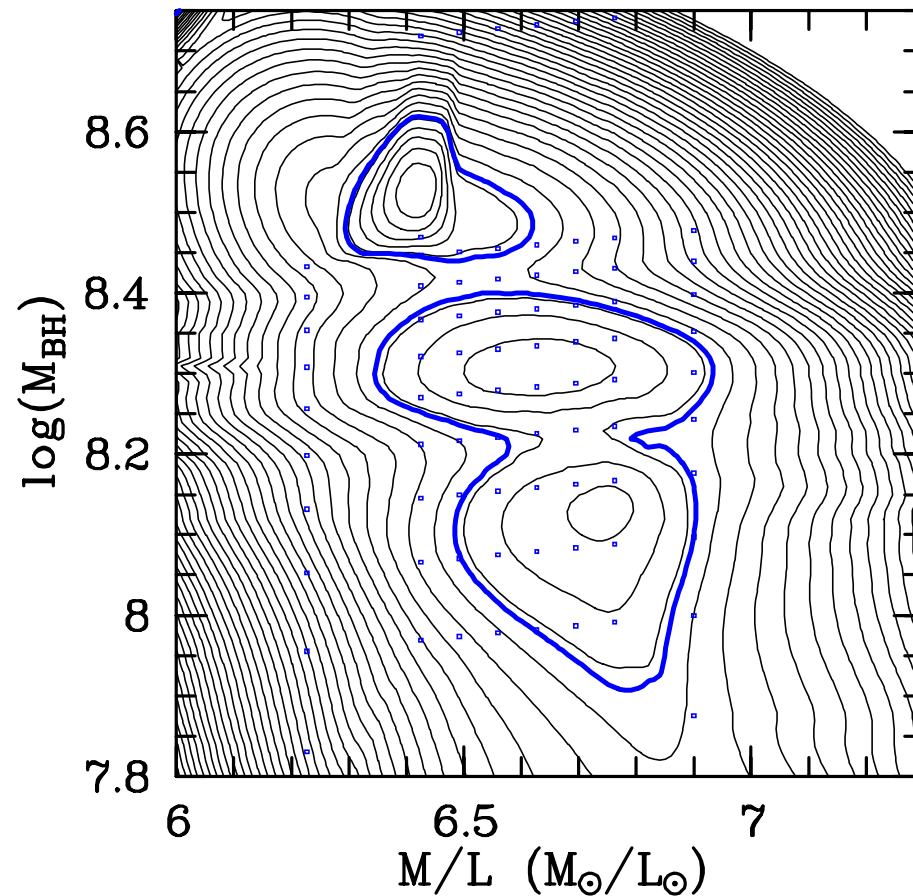


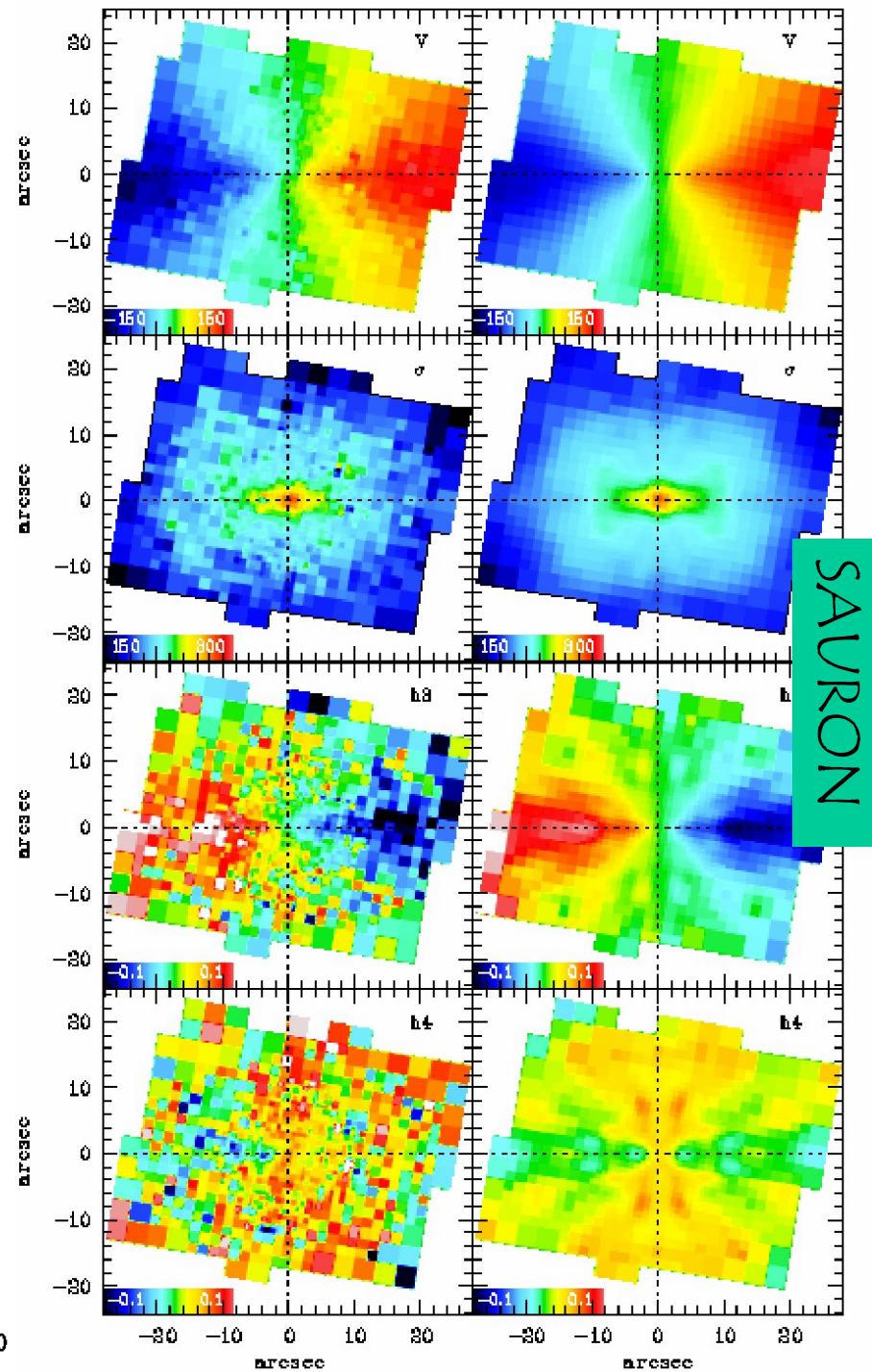
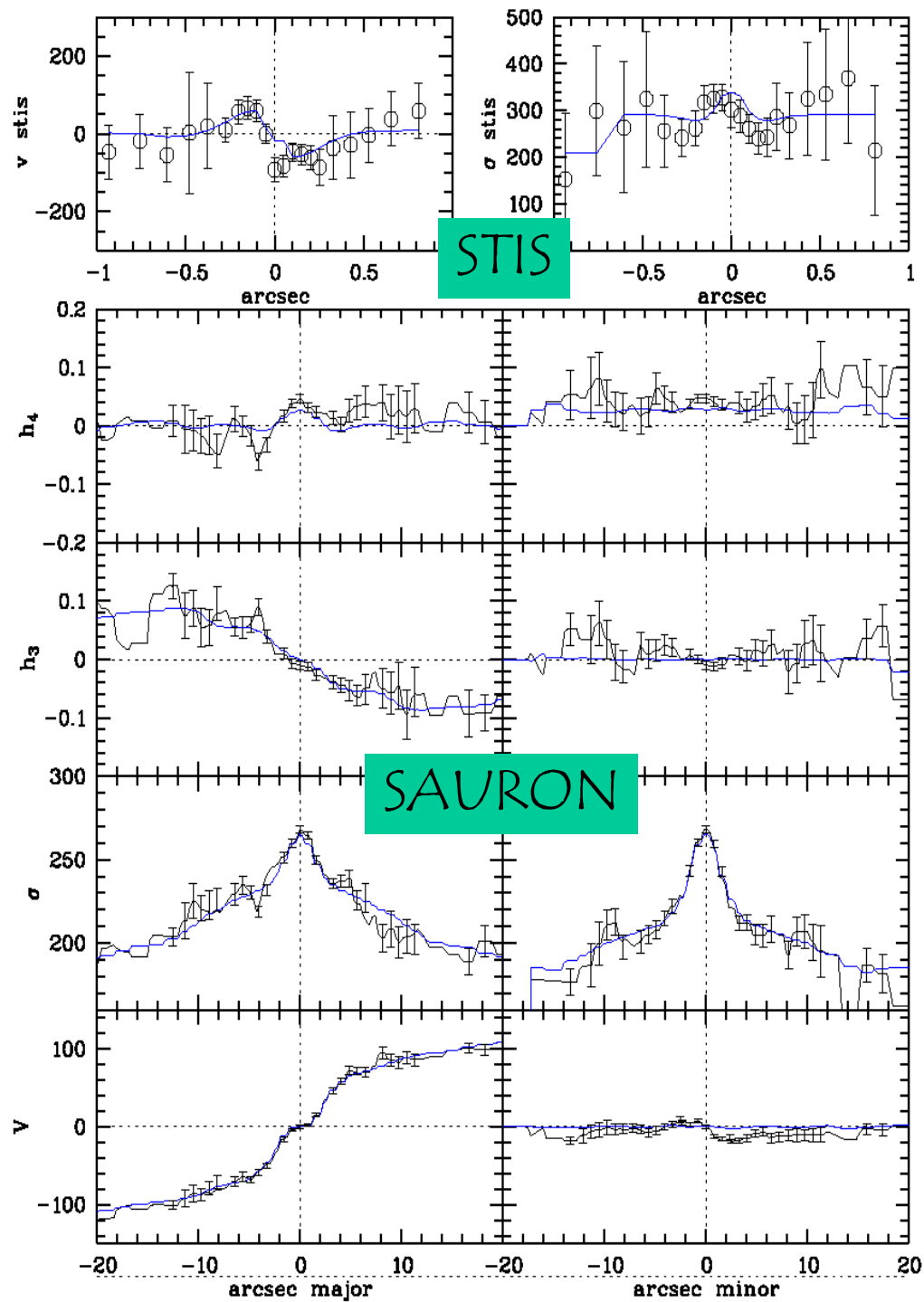
Modélisation dynamique II: Schwarzschild (1)

- Méthode de superposition des orbites de Schwarzschild
- Permet de visualiser la Fonction de distribution dans l'espace des Intégrales du Mouvement (IDM)
- Modèles à meilleur rapport qualité/vitesse:
 - 1960 Orbites
 - 1715 Ouvertures
 - Total de 8000 contraintes
- Ajustements très satisfaisants
- Cohérence : stabilité inter-modèle

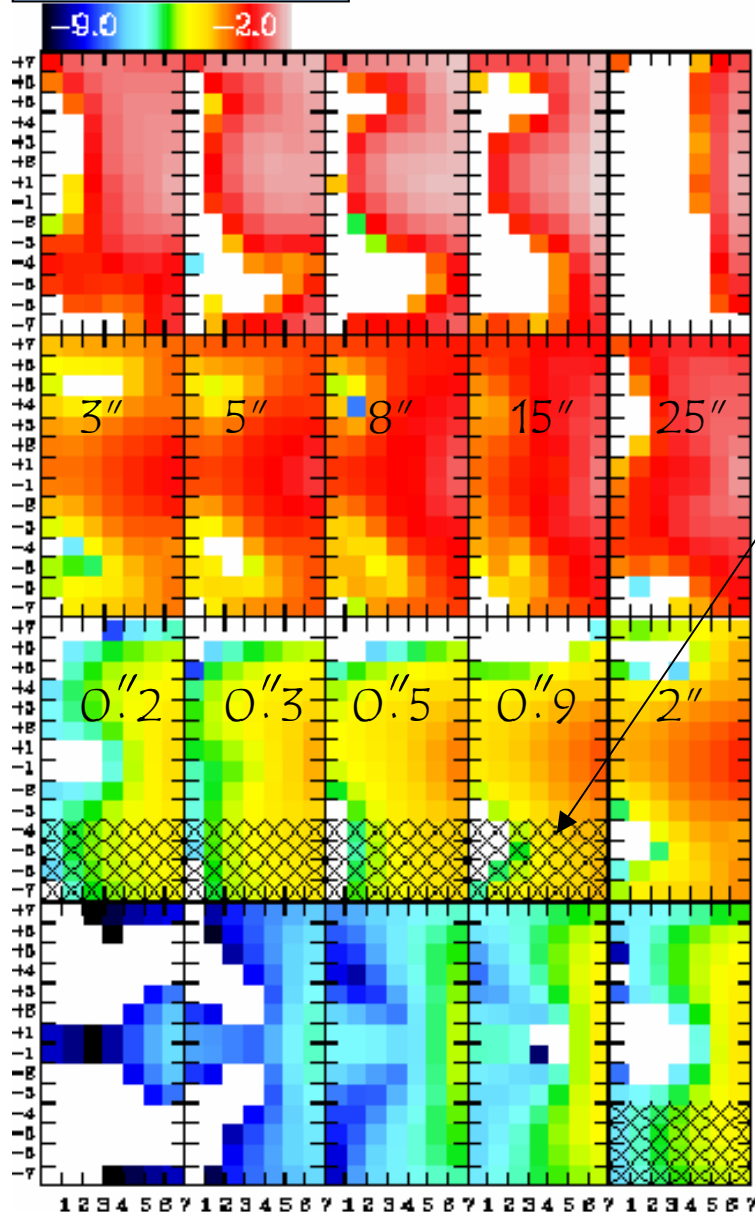
Modélisation dynamique II: Schwarzschild (2)

• Meilleur ajustement $M_{\bullet} = 2.14 \cdot 10^8 M_{\odot}$, $M/L_V = 6.76 M_{\odot}/L_{\odot}$





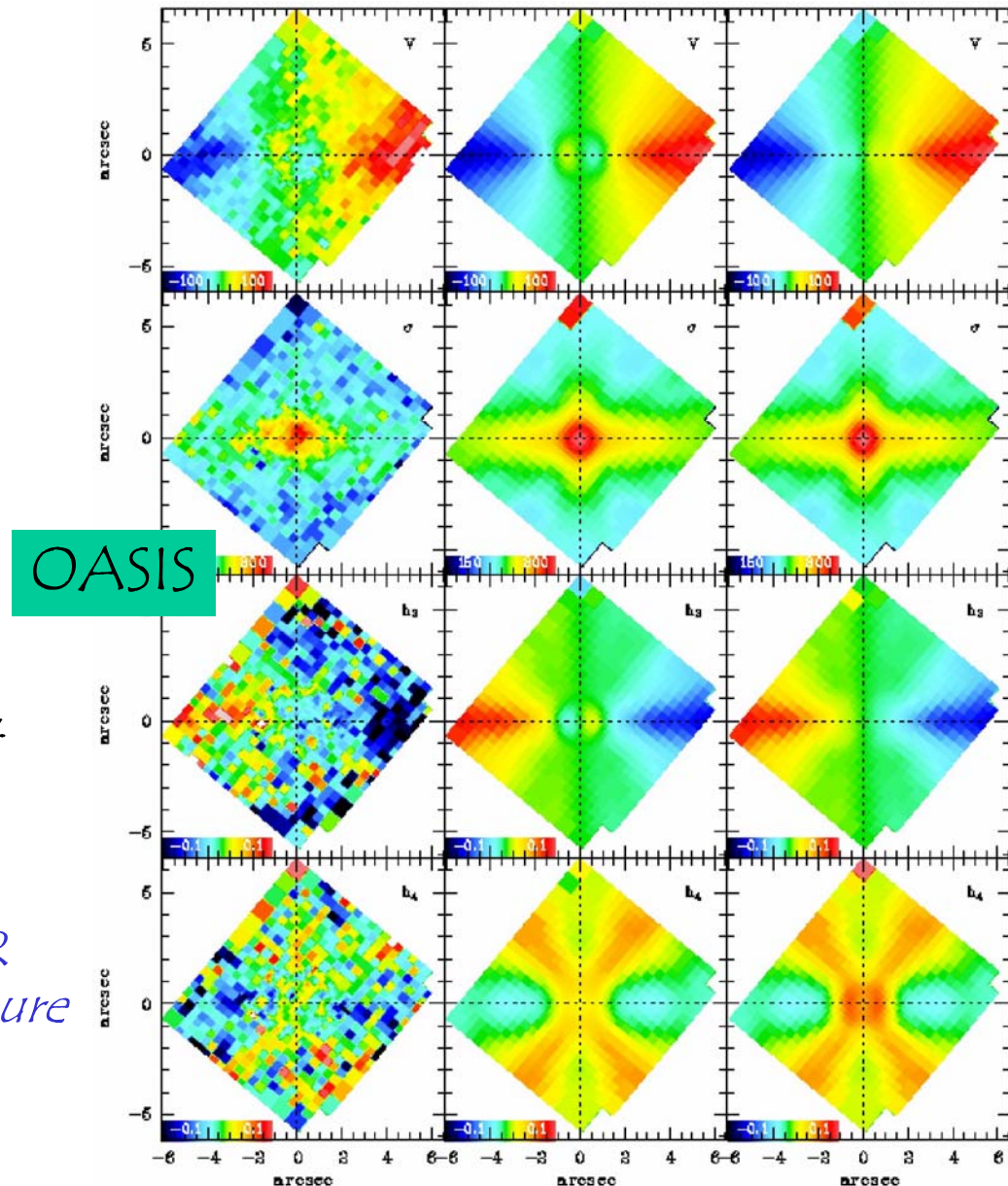
Signature orbitale du CRC (1)



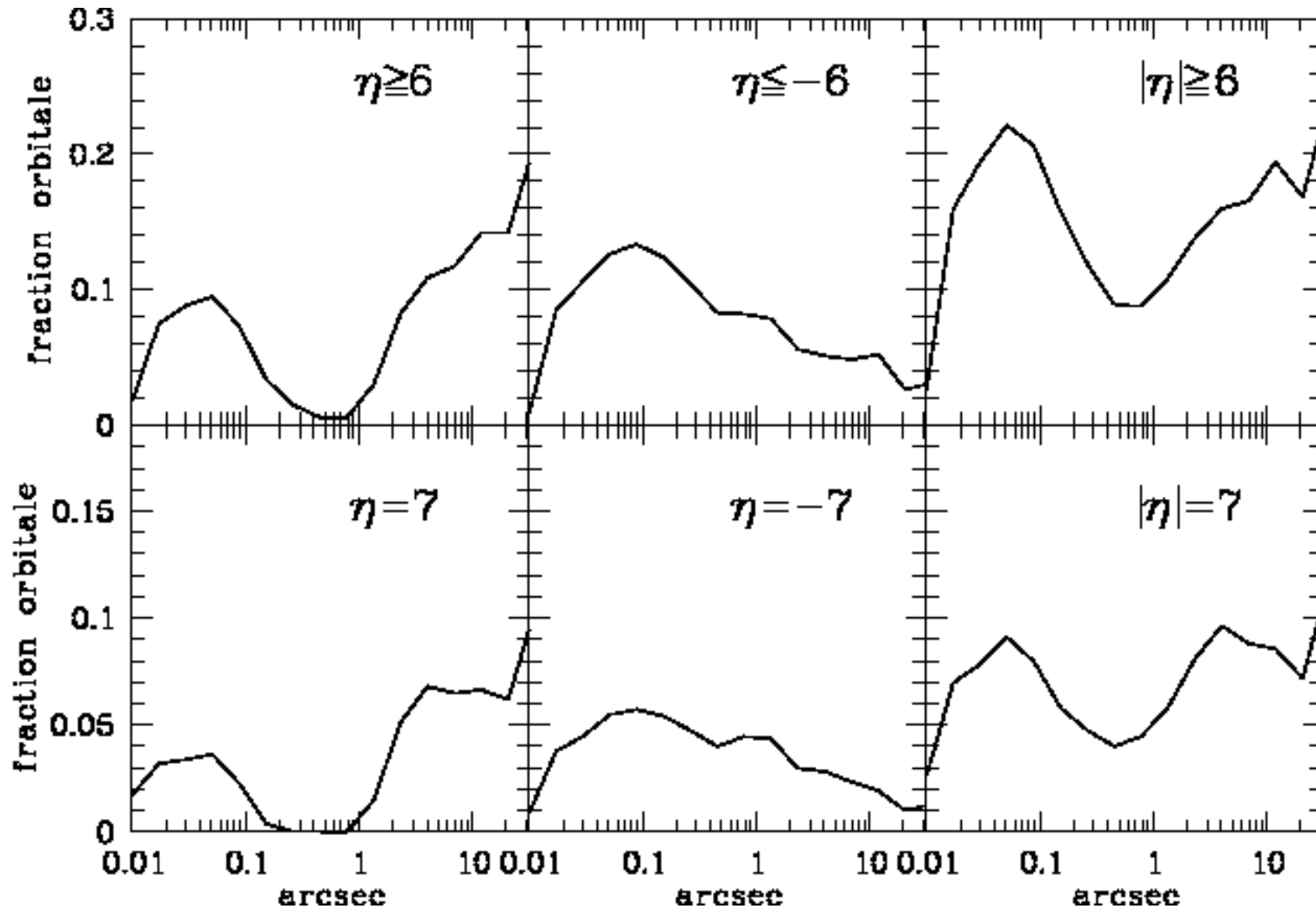
- Identification du CRC dans l'espace orbital
- Intervalle en énergie et moment cinétique
- l_3 non contraint

Signature orbitale du CRC (2)

- Extraction des orbites correspondantes du modèle
- Reconstruction des champs sur ouvertures
- σ reste inchangé
- le CRC de NGC 4621 est une structure froide et localisée dans l'espace
→ accrétion de gaz en CR avec formation ultérieure d'étoiles



Signature orbitale du CRC (3)



Introduction
I-Méthodologie
II-NGC 4621
III-4150 et 7332
IV-Indices de Raies
Conclusion

Populations stellaires de NGC 4621

- Cartes des indices de raies SAURON/OASIS 0
- Modèles des ages (voir avec EE)

NGC 4621: conclusion

- Méthode de Schwarzschild et représentation orbitale bien adaptée à la détection d'une *signature orbitale*
- Structure de NGC 4621 parle en faveur de l'accrétion de gaz en contre-rotation (structure froide)
- Fraction de masse assignée au CRC: *0.12%*
soit $2.14 \cdot 10^8 M_{\odot}$

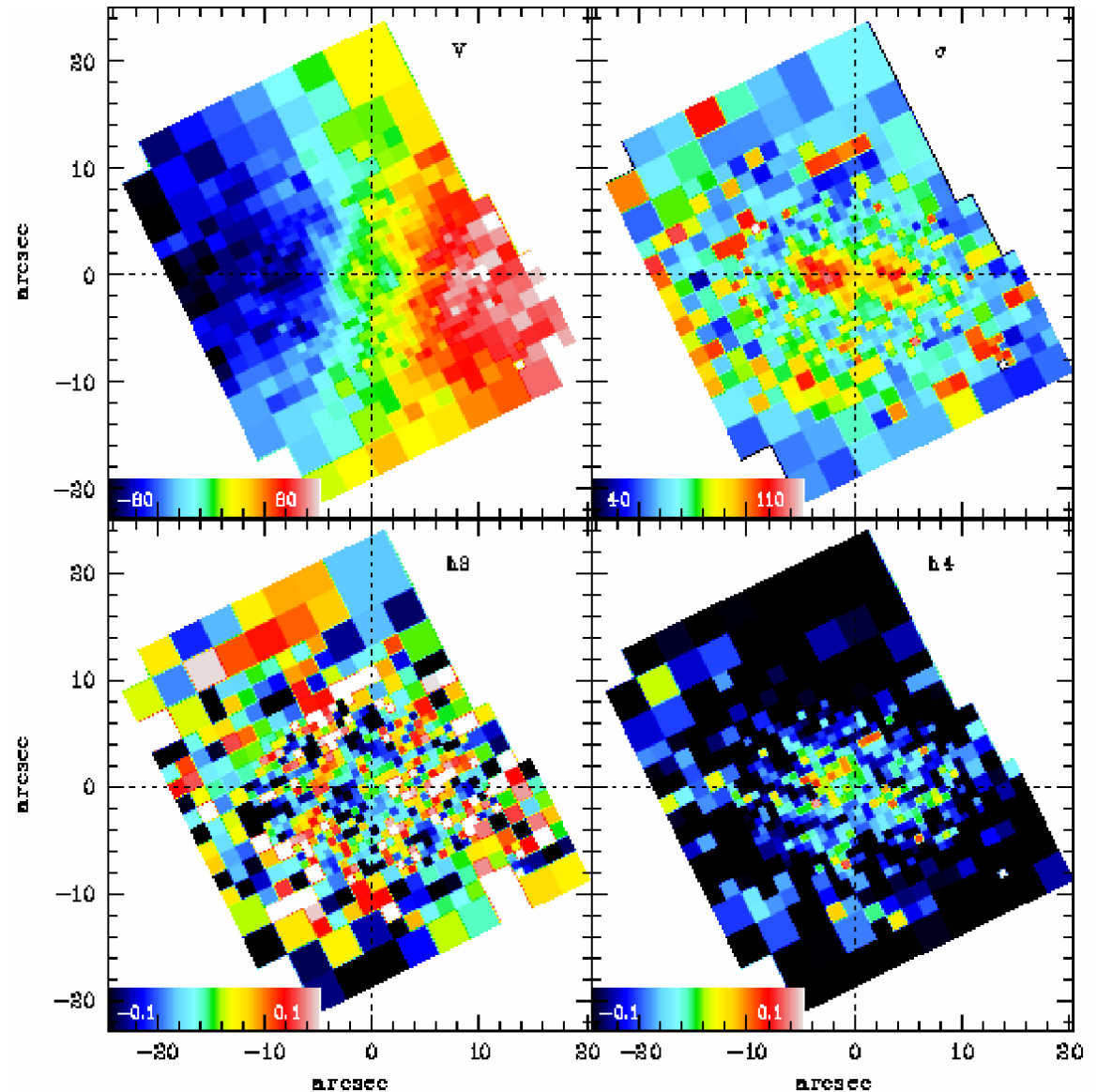
Introduction
I-Méthodologie
II-NGC 4621
III-4150 et 7332
IV-Indices de Raies
Conclusion

NGC 4150 et NGC 7332

Présentation des données (1)

NGC 4150

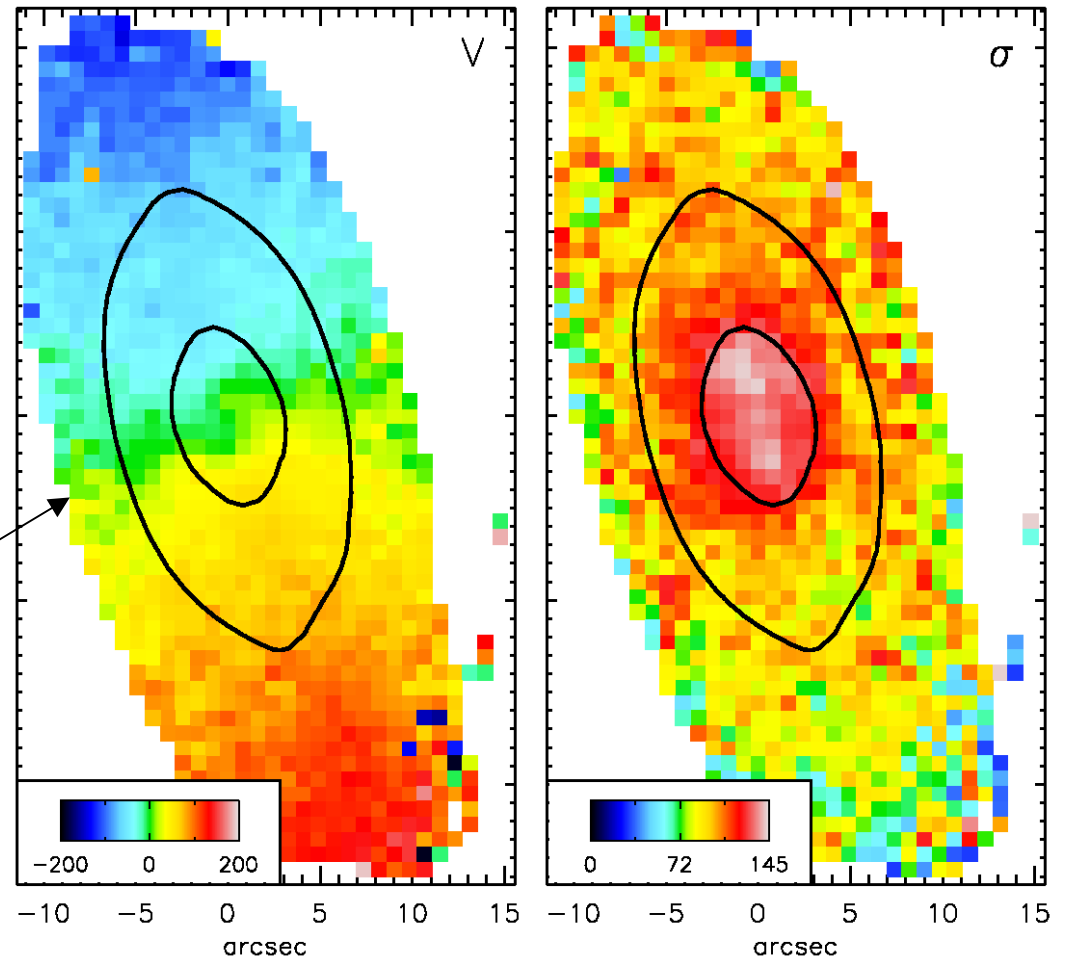
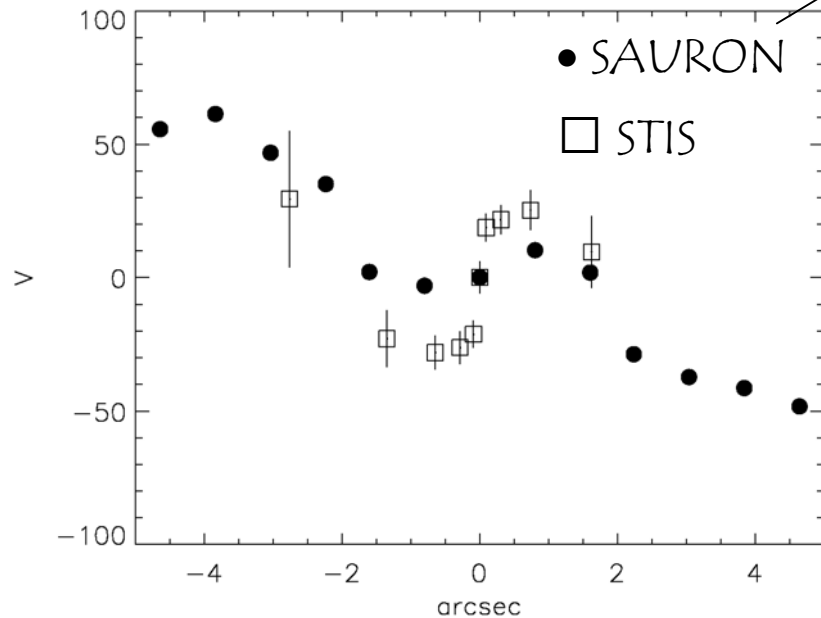
- SAURON uniquement
- CRC de 2."6
- σ double-piquée
→ double disque en cor rotation non résolu?



Présentation des données (2)

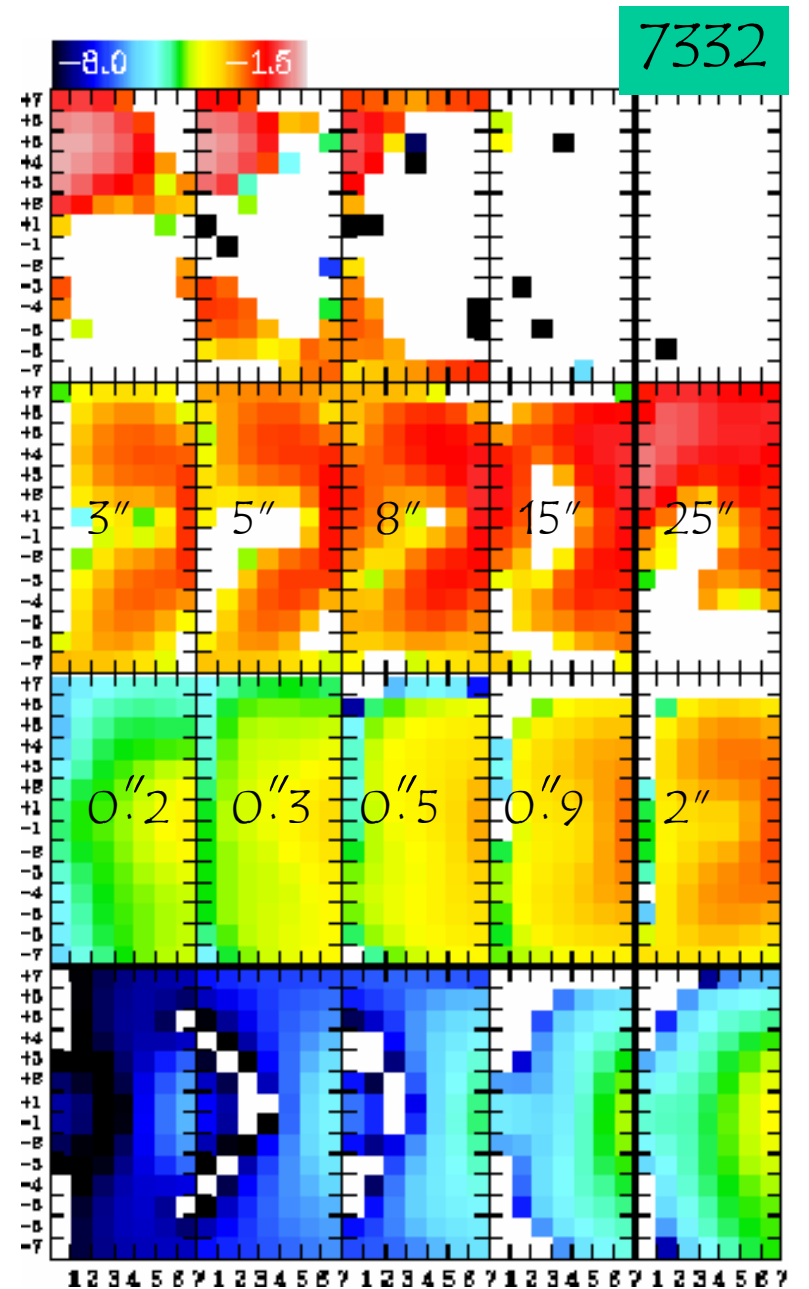
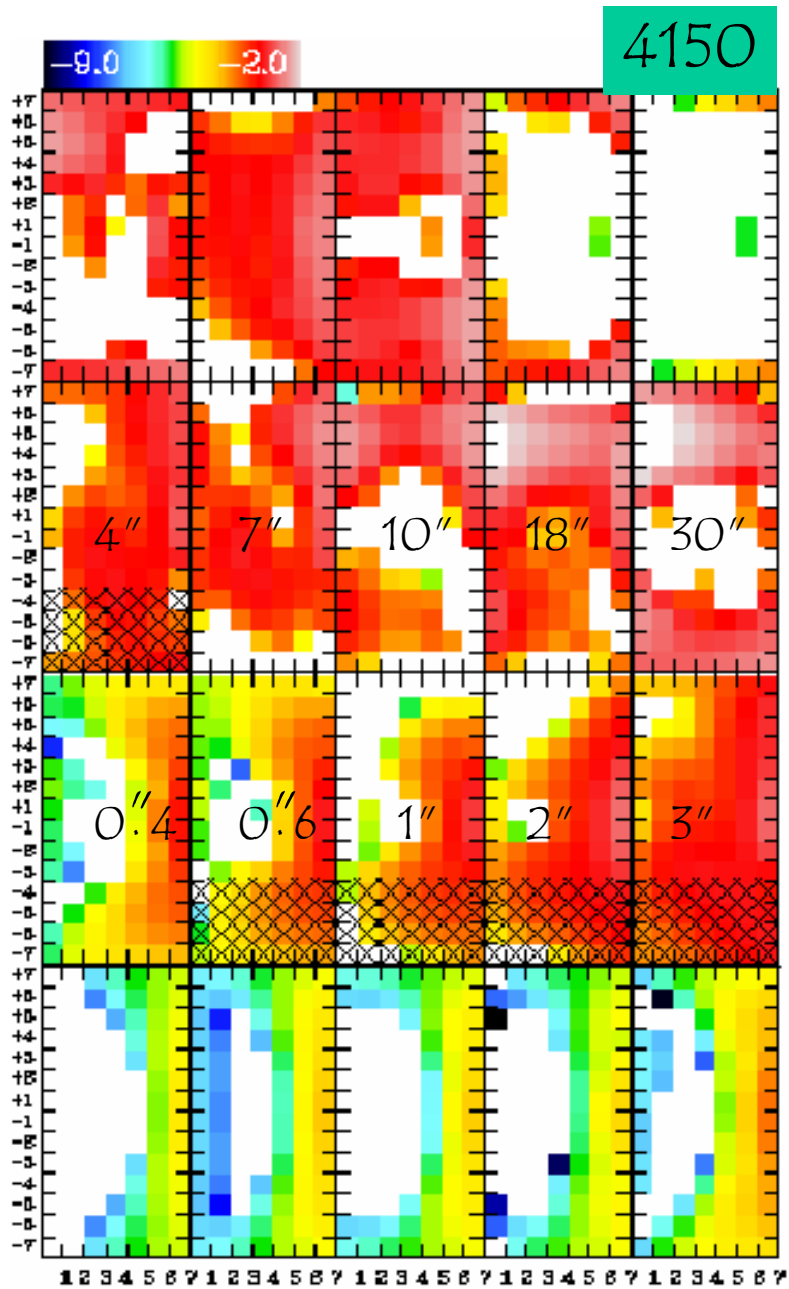
NGC 7332

- SAURON + STIS
- CRC de 1"
- σ double-piquée

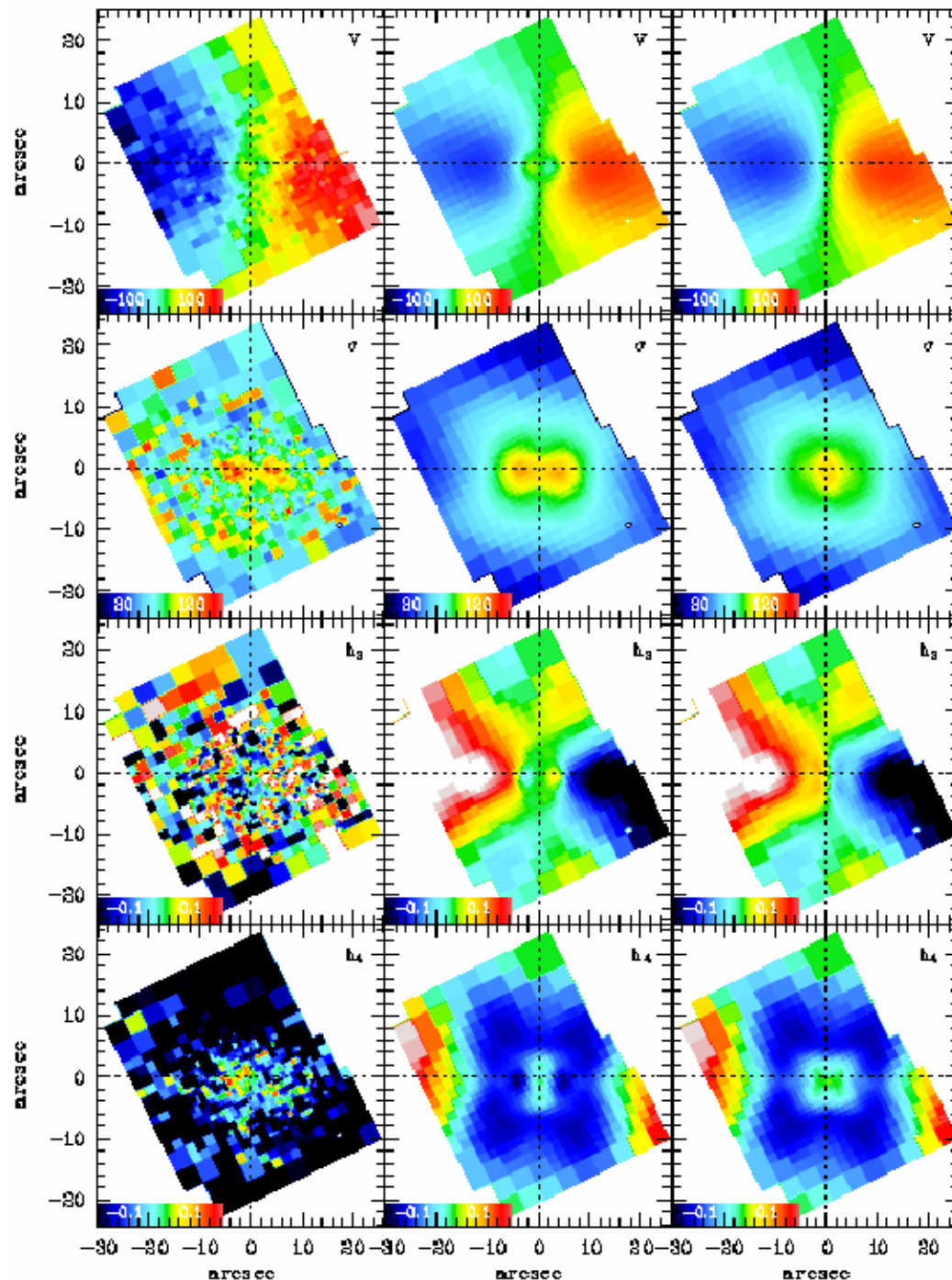


Falcón-Barroso (Thèse)

Signatures Orbitales Schwarzschild



Signature orbitale de NGC 4150



• Structure double-piquée
en σ disparaît

• Double-disque en contre-
rotation détecté même si
non-résolu!

Conclusions

- Deux CRC *a priori* similaires (structure du σ) mais à différente échelle
- CRC de NGC 7332 et NGC 4621 même échelle
- Signatures orbitales similaires entre 4621 et 4150
- Structures froides en contre-rotation
- Signature orbitale particulière de NGC 7332: large disque en contre-rotation à associer avec le gaz
→ Notion de CRC dynamique

Modélisation des indices de raies

Résultats préliminaires et perspectives

Ajout de contraintes

• Approximation: Indice de raie linéaire (*Worthey 94*)

$$\forall k = 1, \dots, N_b \quad LS_k = \sum_{j=1}^{N_o} \frac{\omega_j \cdot A_{k,j}}{m_k} \cdot ls_j$$

→ LS_k indice de raie pour l'ouverture k

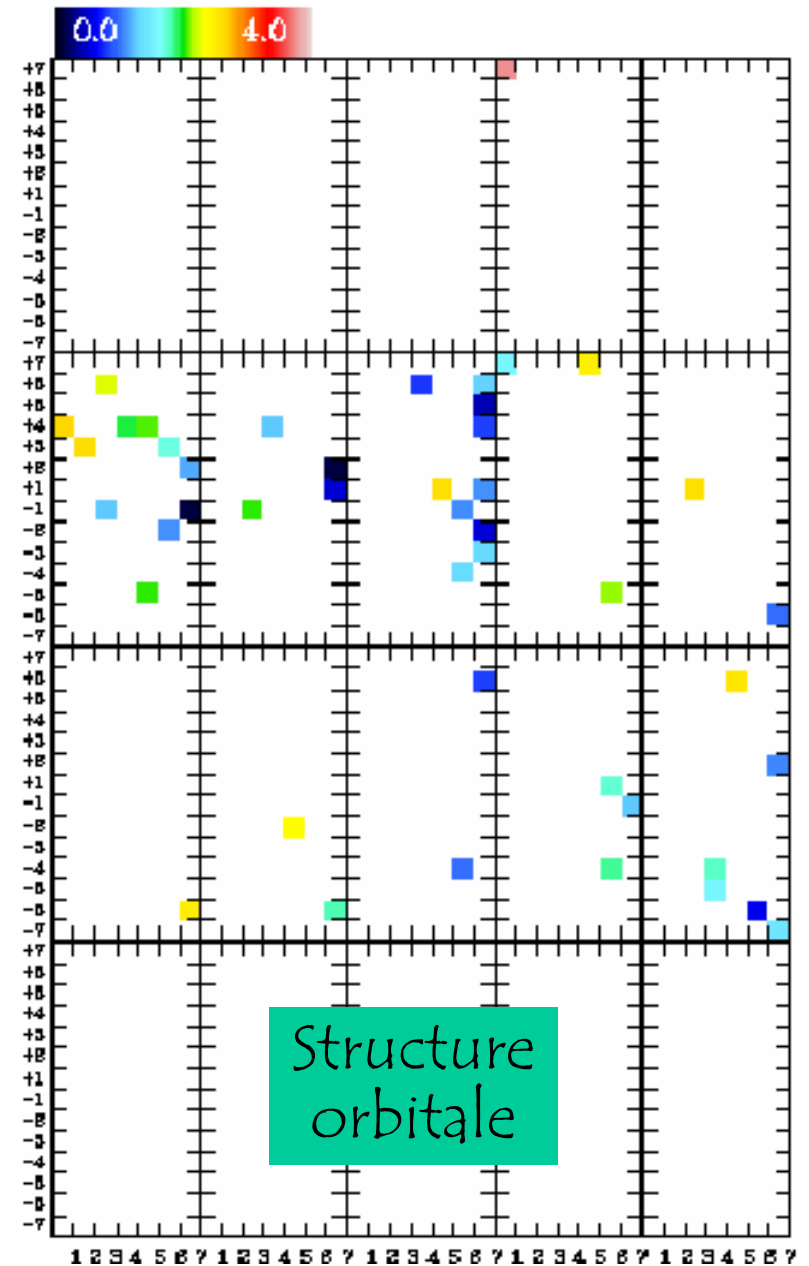
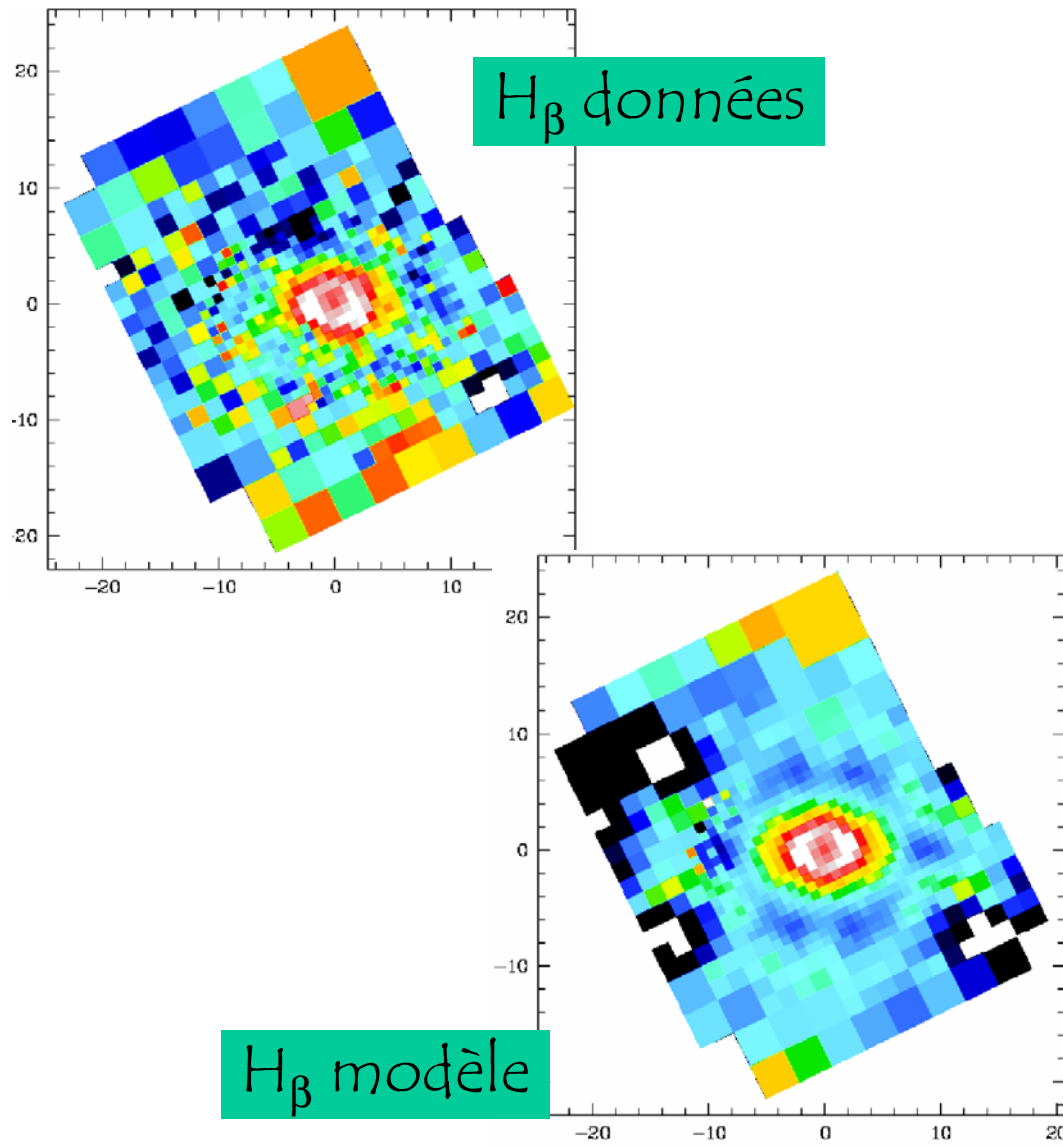
→ ls_j indice de raie pour l'orbite j

→ m_k masse de l'ouverture k

• But: résoudre $[O_{k_j}] \cdot [ls_j] = [LS_k]$ par MCNN

$$\rightarrow O_{k_j} = \omega_j A_{k_j} / m_k$$

Résultat préliminaire NGC 4150



Indices de raies: Conclusion et Perspectives

- Méthode permet d'ajuster convenablement carte d'indices de raies
- Permettra à terme d'assigner un indice au CRC et au corps de la galaxie
- Régularisation nécessaire!
- Etape suivante: ajuster cinématique et couleur simultanément

Conclusion Générale

- Similarités de signature orbitale sur 3 objets
- Distinction CDC cinématique et dynamique
- Modèles dynamiques révèlent propriétés non résolues
- Signature orbitale permet d'exclure certains scénarii de formation

-) Achever la modélisation des indices de raies
 - couleur des CDC dynamiques
 - critère supplémentaire de classification
-) Réaliser l'étude sur un grand nombre d'objets
 - travail de classification
 - tendances, dichotomies
 - contraintes sur l_3 ?
-) Réaliser l'étude sur objets non-CDC
-) Triaxialité