« Propriétés et évolution des galaxies »

David Elbaz (delbaz@cea.fr)

Service d'Astrophysique - CEA Saclay
Tel: 01 69 08 54 39

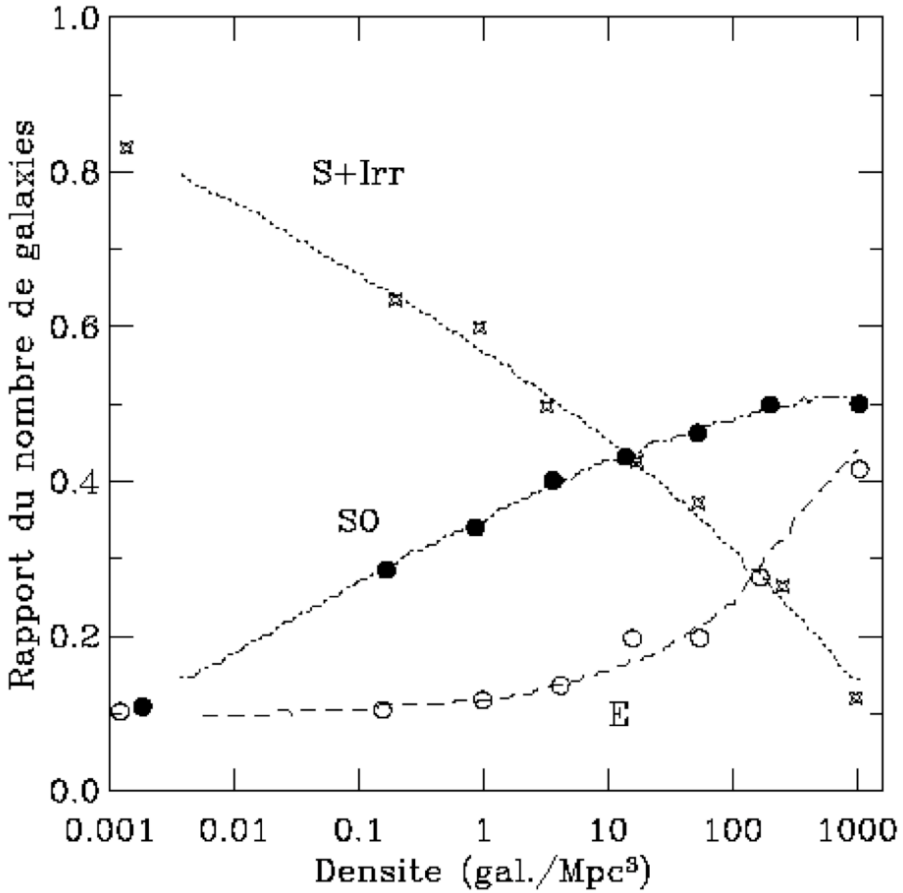
Formation d'étoiles: effets d'environnement et lois d'échelle

Master Recherche M2 Astronomie & Astrophysique

Enseignement thématique des parcours M2 - Galaxies

http://david.elbaz3.free.fr/master_m2

Effets d'environnement dans les amas de galaxies



"Ségrégation morphologique" :
(cf Dressler 1980, ApJ 236, 351):

– Interactions gravitationnelles : **Sp → E**
  – fusions (mergers)
  – passages non fusionnels (fly-by) avec effets de marée (tidal effects)
  = galaxy harassment

– Epluchage par pression dynamique (Ram Pressure Stripping) par le gaz intra-amas:
  Sp → S0

Lenticulaires (S0) : 10-20 % dans le champ -> 50 % dans les amas riches
Spirales : 80 % dans le champ -> 10-20 % dans les amas riches !

Ségrégation morphologique, bimodalité et effets d'environnement

- L'étude des amas de galaxies a permis de mettre en évidence un effet de *ségrégation morphologique*: la proportion de galaxies spirales diminue des régions peu denses aux régions très denses en galaxies, de 80% à 10% des galaxies en nombre.
- L'article de Dressler (1980, ApJ 236, 351) est la référence classique à cet effet de ségrégation morphologique, qui a d'abord été mesuré grâce à l'étude des amas de galaxies. On a d'abord pensé qu'il s'agissait d'un effet propre à la physique des amas de galaxies riches en galaxies mais aussi en gaz, dont l'effet est d'éplucher les galaxies de leur réservoir de gaz (RPS= Ram Pressure Stripping).
- Mais les galaxies d'amas ne représentent que 5 à 10% des galaxies dans l'univers local et la ségrégation morphologique a été mesurée jusqu'à des densités bien plus faibles que celles des amas.

Evolution morphologique en fonction de l'environnement

L'environnement des galaxies joue un rôle fondamental dans leurs processus de formation et d'évolution:

1. dans le paradigme actuel, les galaxies se forment de manière hiérarchique (hierarchical clustering), c'est-à-dire par fusions successives des plus petites aux plus grosses, par opposition à la formation monolithique (monolithic collapse), où les galaxies naissent d'un bloc à grand redshift. Dans ce contexte, la différence entre formation et évolution disparaît puisqu'une galaxie comme la Voie Lactée résulte de la fusion d'une centaine de galaxies au cours de 10 Gyr. La morphologie, mais aussi la formation d'étoiles et la croissance d'un trou noir supermassif au centre des galaxies, sont donc influencées de manière forte par l'environnement.
2. dans les structures gravitationnellement liées les plus massives de l'univers que sont les amas de galaxies, ces effets sont exacerbés et l'on voit effectivement la distribution des galaxies en types morphologiques fortement altérée dans les amas par rapport au champ.

Le point 1 implique que les galaxies sont de plus en plus affectées par l'environnement en remontant dans le passé où l'univers était plus dense et les galaxies plus nombreuses.

Le point 2 implique qu'à une époque donnée (un z donné), les galaxies subissent des effets différents selon la région de l'univers où elles se trouvent.

Les estimateurs de densité

- Over-density inside given volume (Hogg et al. 2003, 2006)
  - $\delta = N/N_a - 1 = (N-Na)/Na$ where N: number of galaxies in the volume of given co-moving distance, Na: predicted number of galaxies in this volume if they are randomly distributed or from luminosity function

- Number of neighbors inside given volume (Kauffmann et al. 2004, Elbaz et al. 2007): Σ (2D) ou ρ (3D).

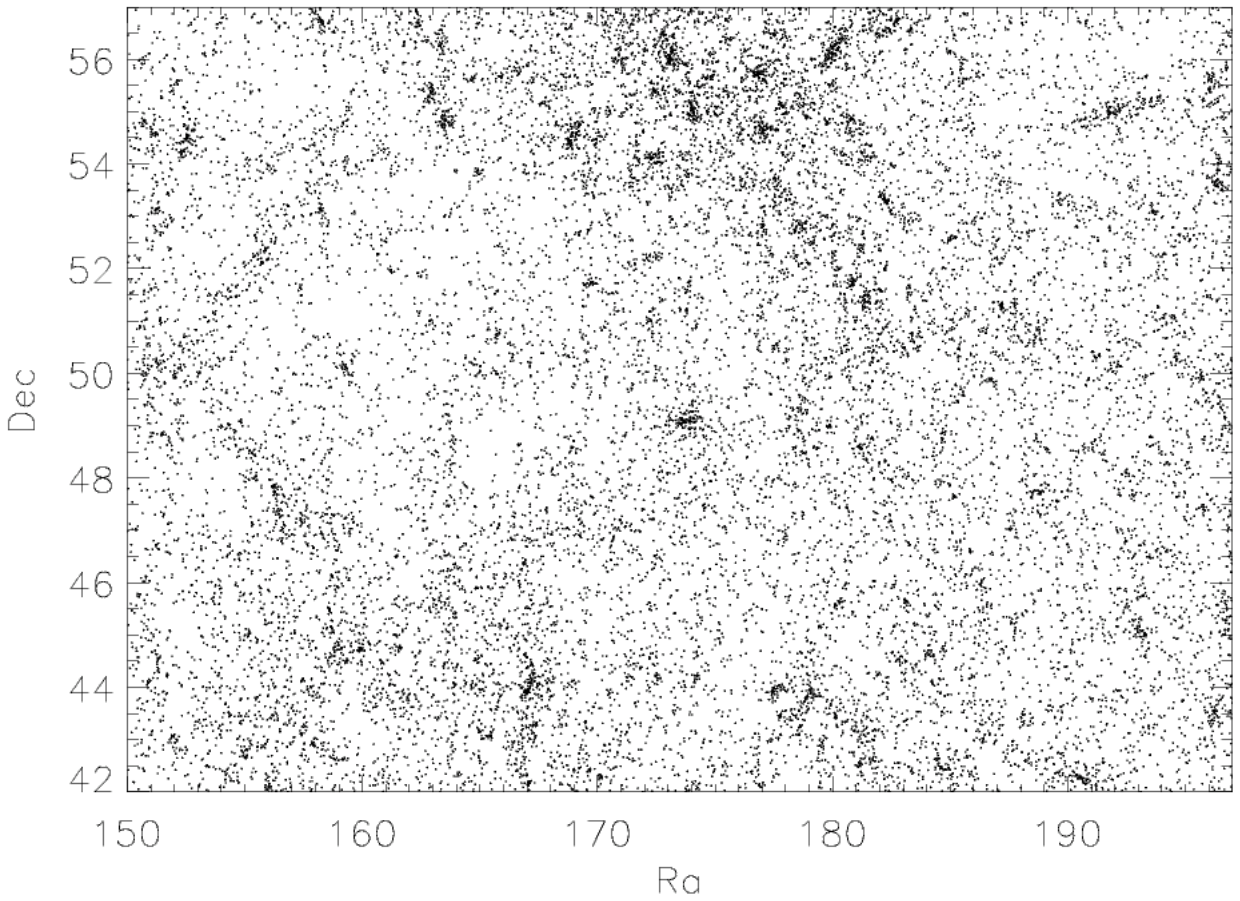
- *k*-th Nearest neighbors distance (Clemens et al. 2006) or associated surface (Balogh et al. 2004)
  - $\Sigma_5 = 5 / (4\pi R_5^2)$, R_5= distance de la 5^{è} gal. la + proche

- Distance pondérée au groupe le plus proche: Dg / Rvir
  - Dg = distance au groupe de + de 5 galaxies le plus proche
  - Rv (viriel)~ masse du groupe

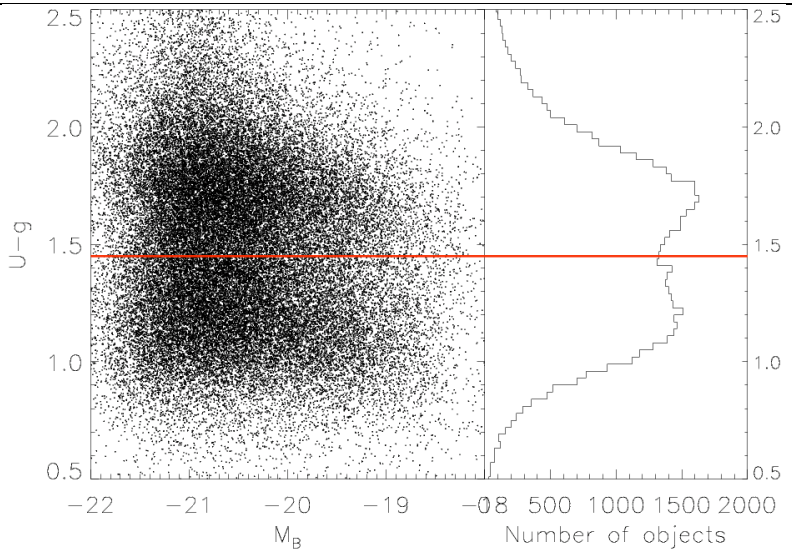
- Distance to known cluster center (Bernardi et al. 2006, Mateus et al. 2006)
  - e.g. C4 cluster catalog (Miller et al. 2005), group catalog (Yang et al. 05, Berlind et al. 06)
  - cluster catalog completeness

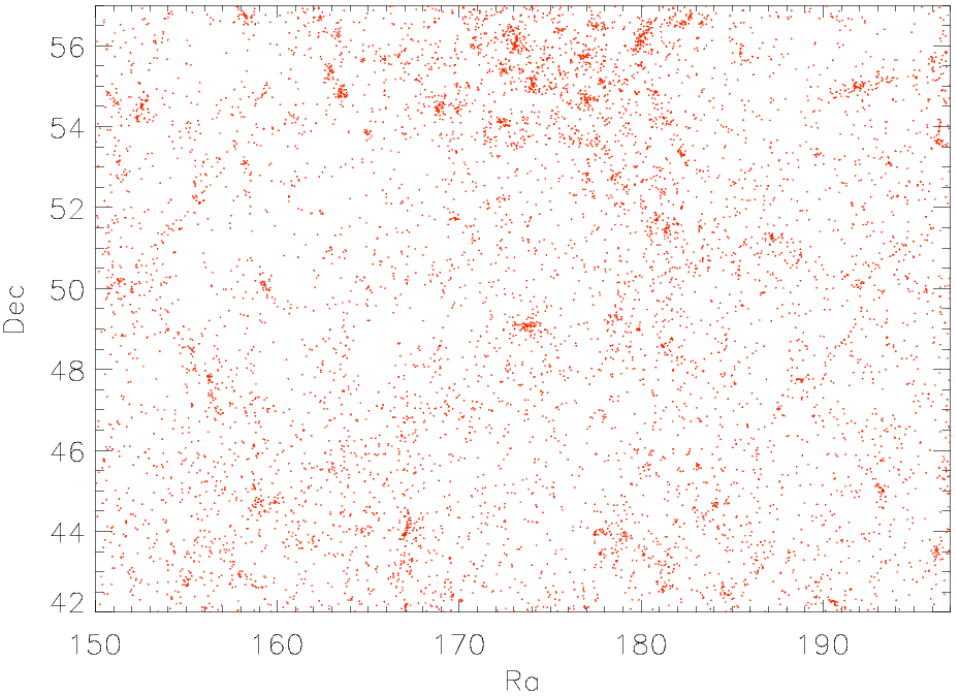
- Pair statistics, 2 point correlation function

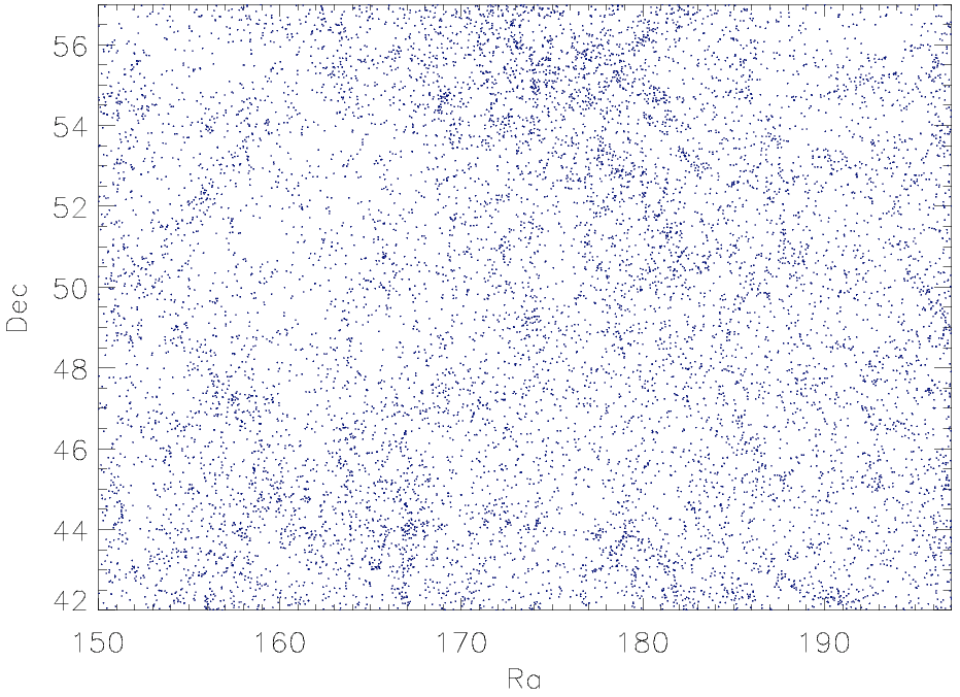
Distribution spatiale des galaxies (z<0.2) dans le SDSS



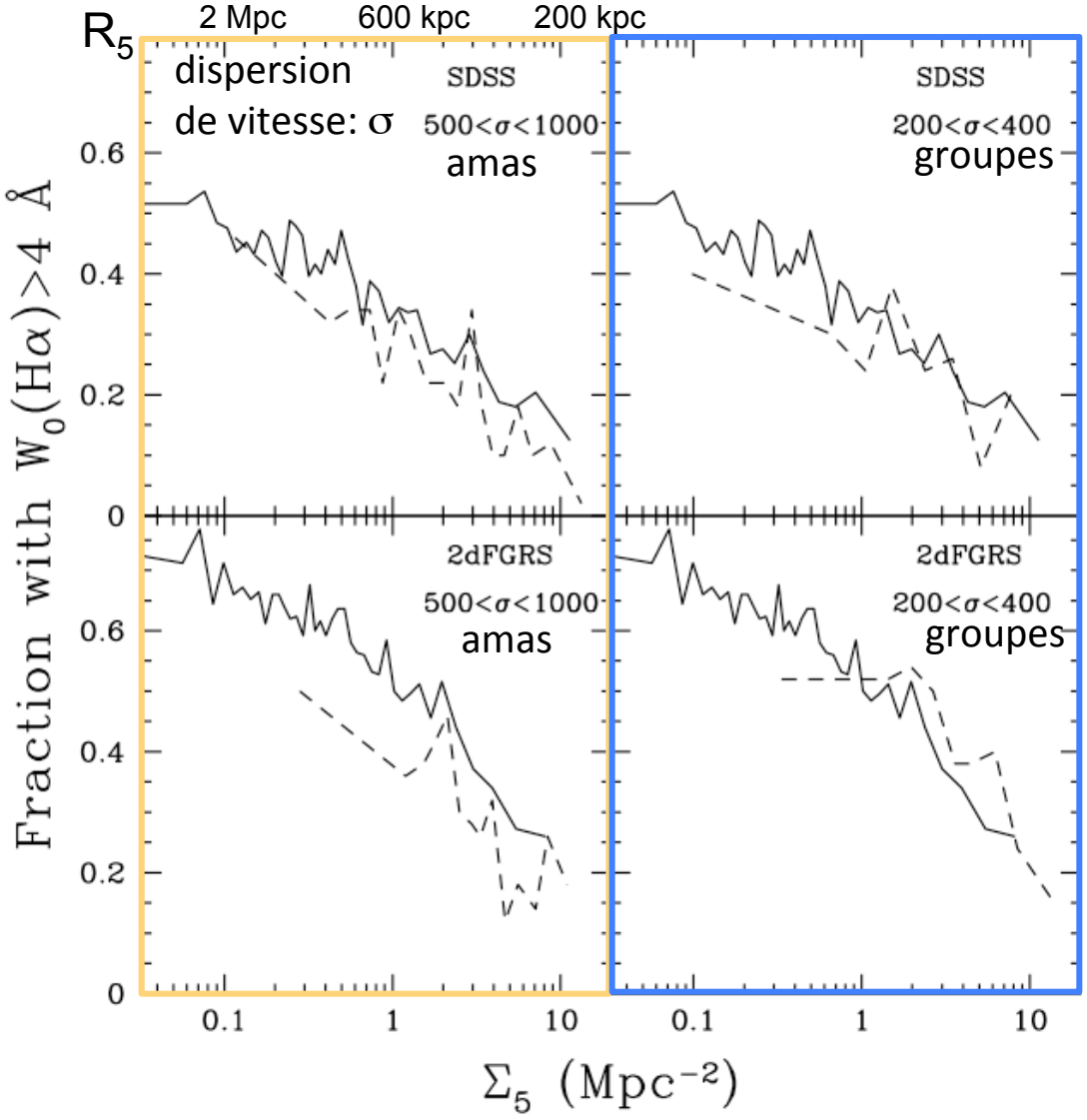
Distributions spatiales des galaxies rouges et bleues







La relation formation stellaire - densité : le rôle des groupes

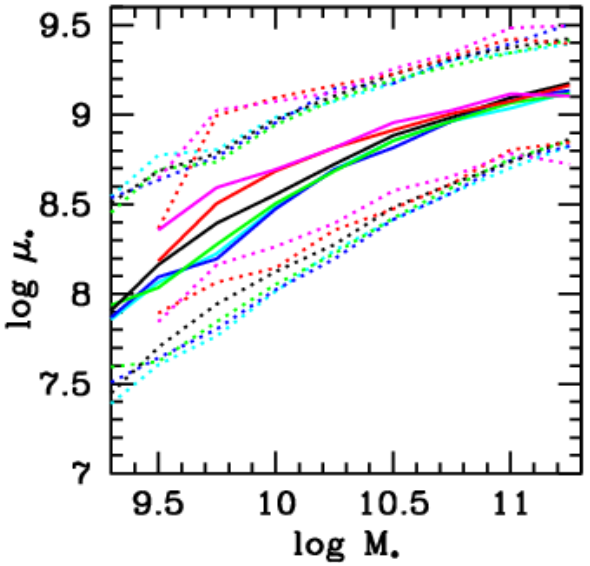


Etude des amas (Balogh et al. 2000): *"le principal effet de l'environnement est la suppression du SFR par épluchage dynamique du réservoir de gaz »*

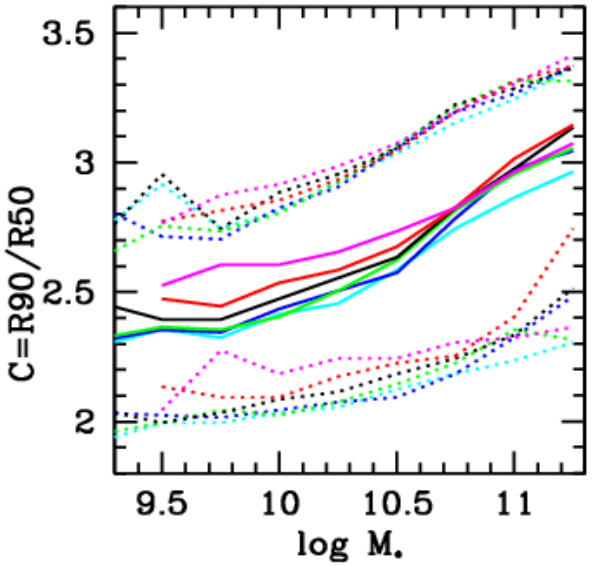
Etude de l'environnement des groupes (Balogh et al. 2004): *"l'épluchage ne peut agir à ces densités, il faut donc qu'il y ait eu accélération de la formation d'étoiles dans le passé avec l'environnement »*

$\Sigma_5 = 5 / (4\pi R_5^2)$, R_5= distance de la 5è gal. la + proche

densité projetée en masse



indice de concentration



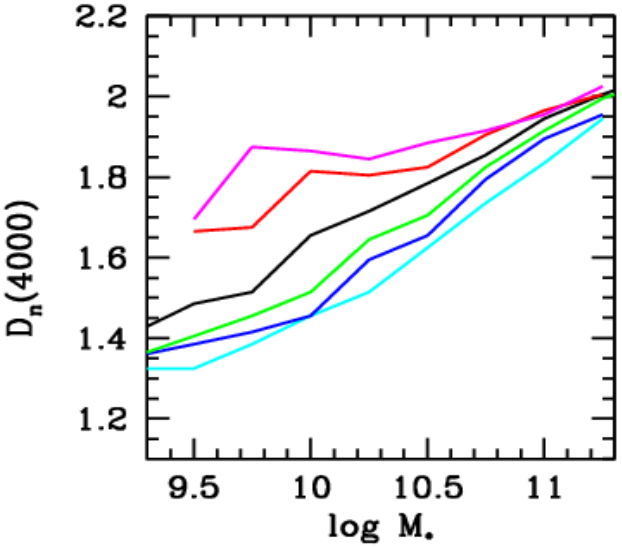
Kauffmann 2004 (MNRAS 353, 713)

Forte variation avec M*
Faible variation avec densité

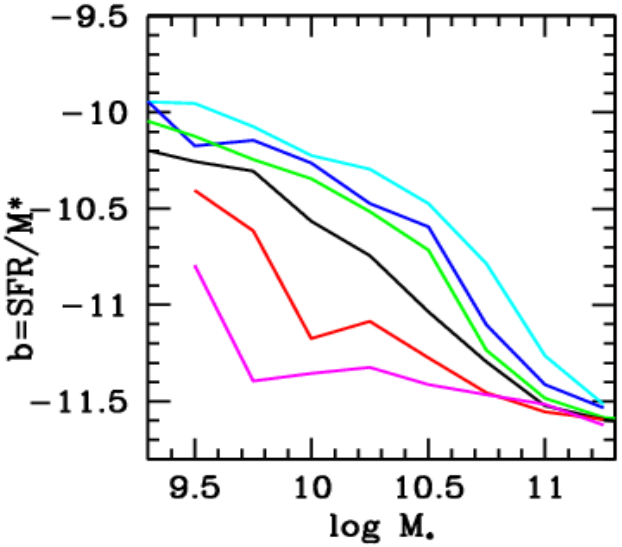
La densité n'affecte pas la distribution spatiale de lumière (morphologie)

Les courbes de couleur ≠ correspondent à des densités ≠: bleu clair= galaxies ayant 0 ou 1 voisine dans un rayon de 2Mpc et ±500km/s bleu foncé: 2-3 voisins, vert: 4-6, noir: 7-11 , rouge: 12-16 , violet: >17 voisins
courbes pointillées: 10-90% des gals

Age des étoiles (D4000)



taux spécifique de formation d'étoiles



Les indicateurs d'âge et de formation d'étoiles sont sensibles à l'environnement et à la masse

(SFR/M* ~ SFR/<SFR>)

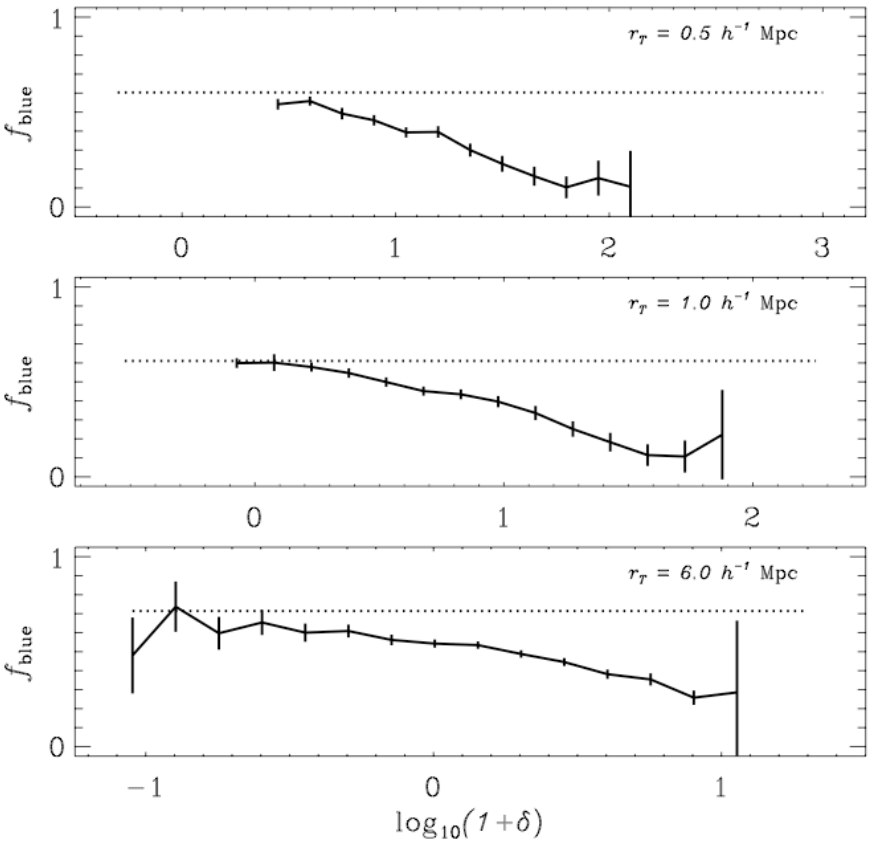
Quelle échelle de distance affecte les galaxies ?

Blanton et al. (2006 ApJ 645, 977)

Fraction de galaxies bleues (formation stellaire active) en fonction de la densité locale de galaxies sur des échelles de 0.5, 1 et 6 Mpc (galaxies du SDSS, échantillon de 28089 galaxies)

Mesure de la sur-densité locale de galaxies, δ, par rapport à la densité moyenne: on considère un échantillon limité en magnitude absolue (ici M_r<-18.5) et on compte le nombre de galaxies, N_i, entre 10 kpc et 1 Mpc (ou 6 Mpc), dans un intervalle de redshift, ±1000km s^{-1}.On fait le rapport de ce nombre avec le nombre moyen de galaxies attendues dans ce volume, $N_{exp,i}$. La mesure de la sur-densité locale de galaxies est:

$$1+\delta = \frac{\sum_i N_i}{\sum_i N_{\mathrm{exp},i}}$$



Attention: la taille caractéristique est ici mesurée en h^{-1} Mpc, pour

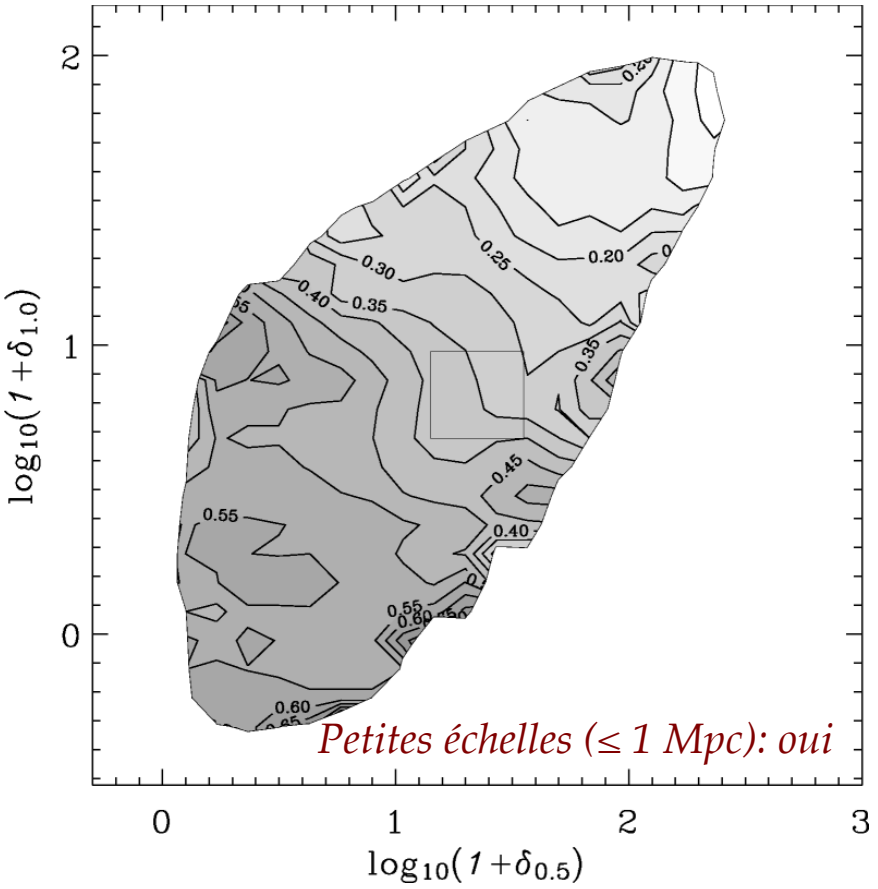
H_0=100 h km/s/Mpc

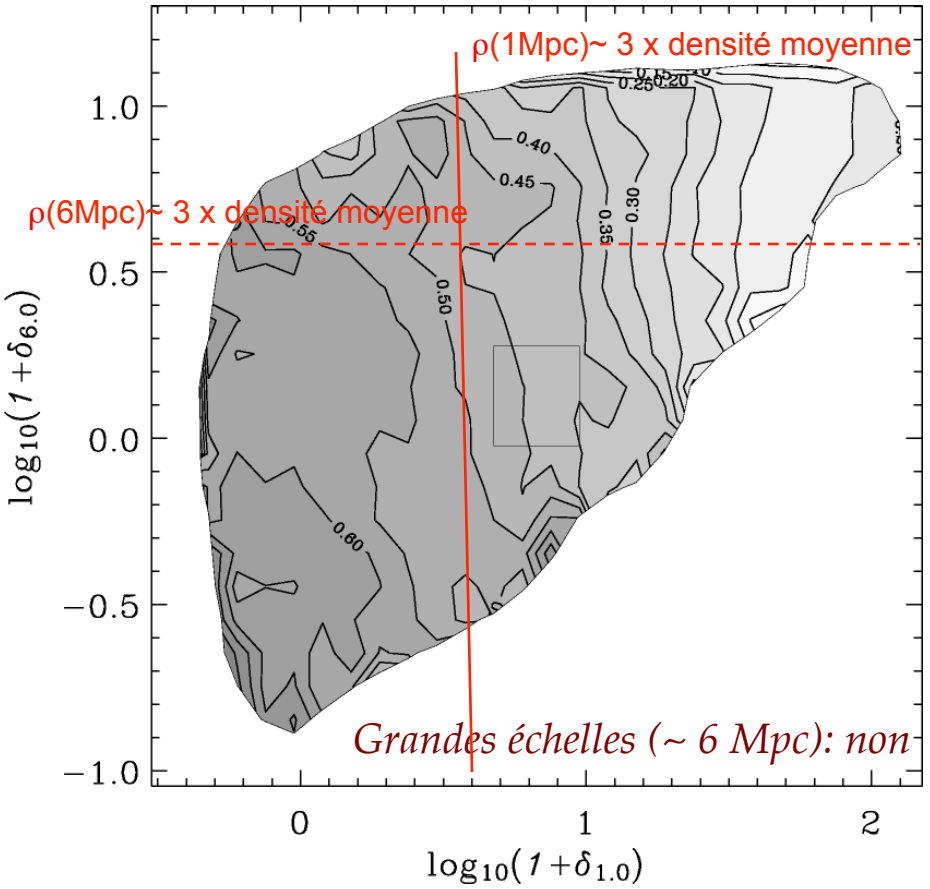
Dans le cas de la cosmologie actuelle, H_0~72km/s/Mpc et donc 1 h^{-1} Mpc correspond en réalité à 1.4 Mpc

Quelle échelle de distance affecte les galaxies ?

Blanton et al. (2006 ApJ 645, 977)

Fraction de galaxies bleues (formation stellaire active) en fonction de la densité locale de galaxies sur des échelles de 0.5, 1 et 6 Mpc (galaxies du SDSS)





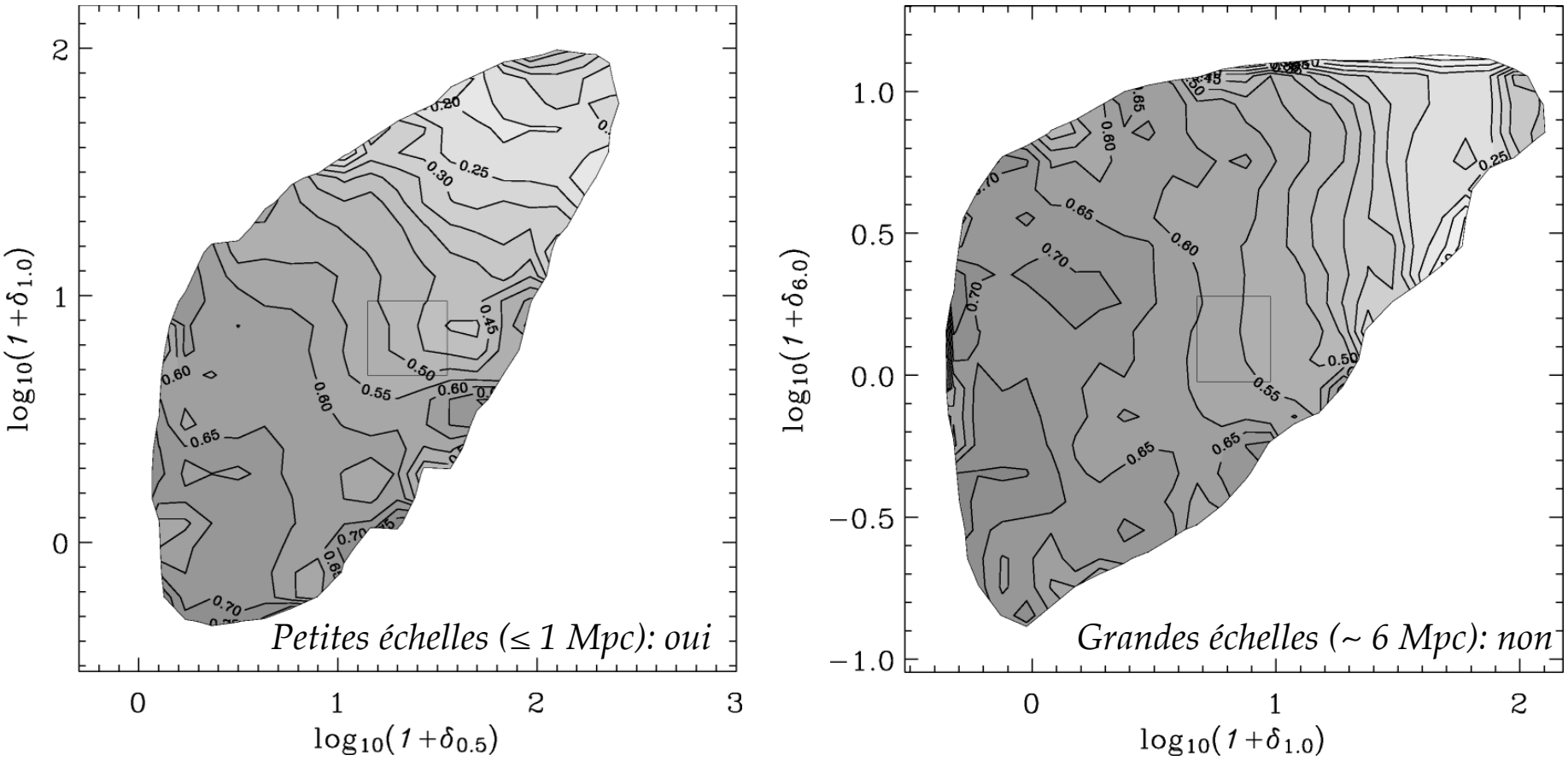
Ces deux figures montrent que la fraction de galaxies bleues varie très peu avec les sur-densités de galaxies aux échelles de 6 h^{-1} Mpc (~8 Mpc), comme l'indiquent les lignes d' "iso-fraction":

quand la sur-densité local de galaxies sur des échelles de 1 h^{-1} Mpc est égale à 3 fois la densité moyenne à ces échelles, on ne voit aucune variation en fonction de celle à 6h^{-1} Mpc. Au contraire, quand elle est 3x>moyenne à 6h^{-1} Mpc, celle à 1 h^{-1} Mpc varie entre 15 et 60% !

Quelle échelle de distance affecte les galaxies ?

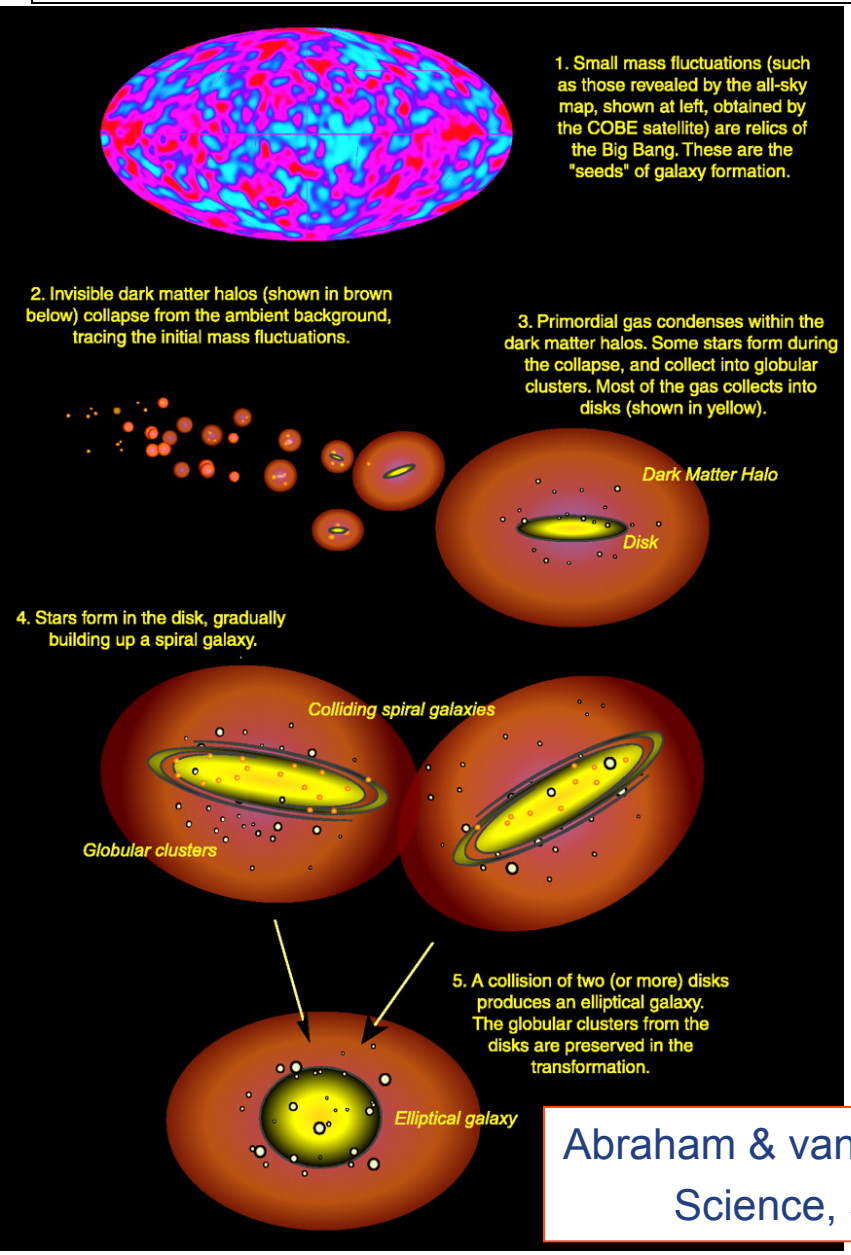
Blanton et al. (2006 ApJ 645, 977)

Fraction de galaxies à formation stellaire active mesurée par la largeur équivalente de la raie Hα, en fonction de la densité locale de galaxies sur des échelles de 0.5, 1 et 6 Mpc.



Même tendance avec l'indicateur de formation d'étoiles instantané Hα qu'avec la fraction de galaxies bleues: la variation la plus forte se produit aux échelle de ~1h^{-1} Mpc, plus encore qu'à des échelles de 0.5 h^{-1} Mpc.

Formation hiérarchique des structures & amas de galaxies



Abraham & van den Berg 2000, Science, 5533, 1273

Effets d'environnement dans les amas de galaxies

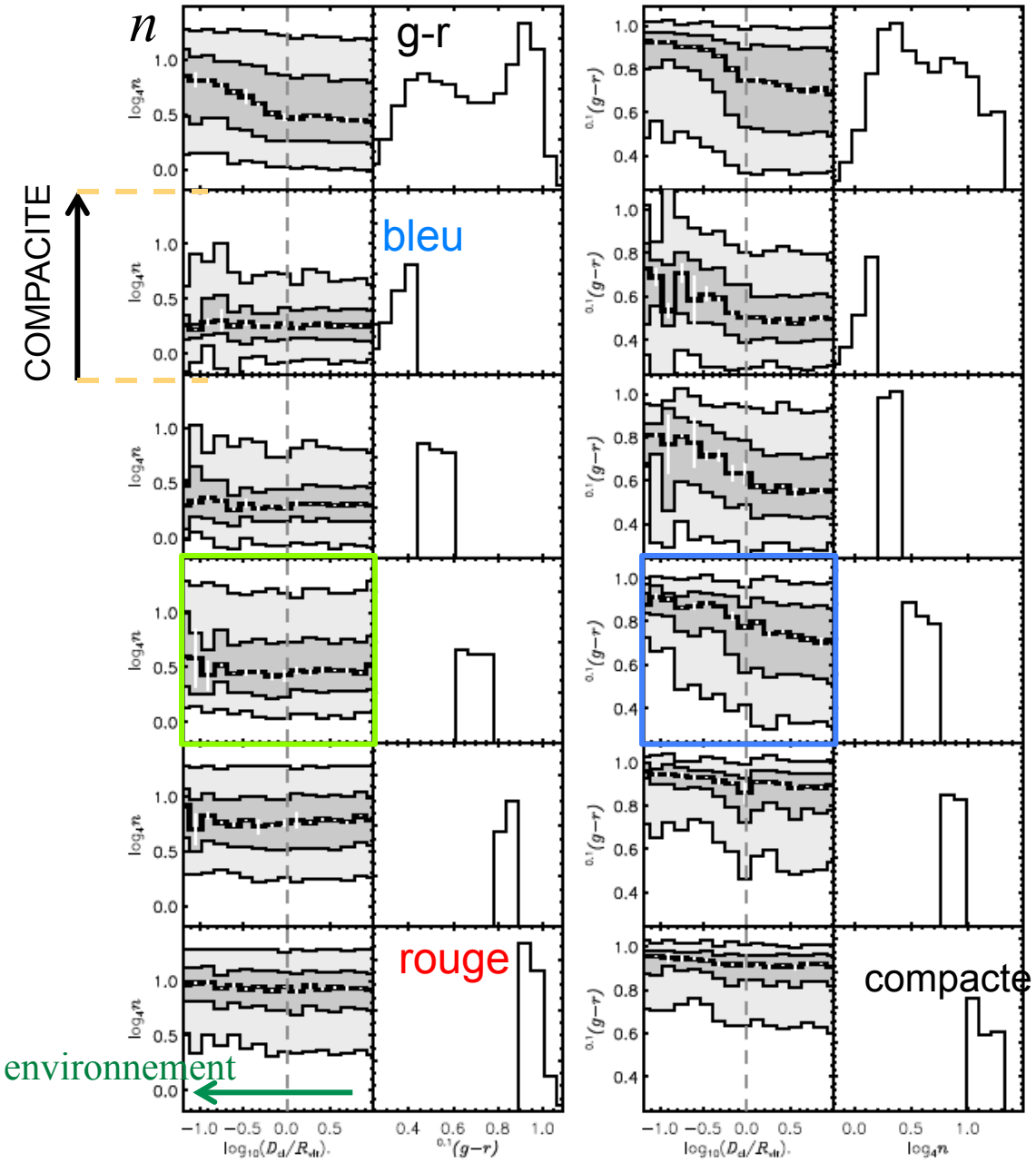
Alors que la distance entre étoiles au sein d'une galaxie sont très grandes:
20 x 10^6 x leur diamètre

La distance moyenne entre 2 galaxies est bien plus réduite dans un amas:
15-20 x leur diamètre

Il en résulte que les collisions entre galaxies sont bien plus fréquentes qu'entre étoiles, mais la dispersion de vitesses des galaxies d'amas (σ_v~1000 km s^{-1}) est beaucoup plus grande que celles des étoiles des galaxies (σ_v~200-300 km s^{-1}), donc l'énergie cinétique >> potentiel gravitationnel et la fusion de deux galaxies est peu probable dans un amas. Par contre, les effets de marée multiples (harcèlement, harassment, en anglais), affectent les galaxies.

Le gas intra-amas de son côté a pour effet d'éplucher les galaxies de leur réservoir de gaz (RPS= Ram Pressure Stripping; épluchage par pression dynamique).

La relation morphologie-activité-densité vue par le SDSS



$$I(r) = A \exp\left[-\left(\frac{r}{r_0}\right)^{1/n}\right]$$

Profil de Sersic:
n = indice de Sersic
est une mesure de la compacité
n = 1: profil exponentiel (Sp)
n = 4: profil de de Vaucouleurs (E)

Environnement: Dg / R_{vir}
Dg = distance au groupe de + de 5 galaxies le plus proche
Rv (viriel)~ masse du groupe

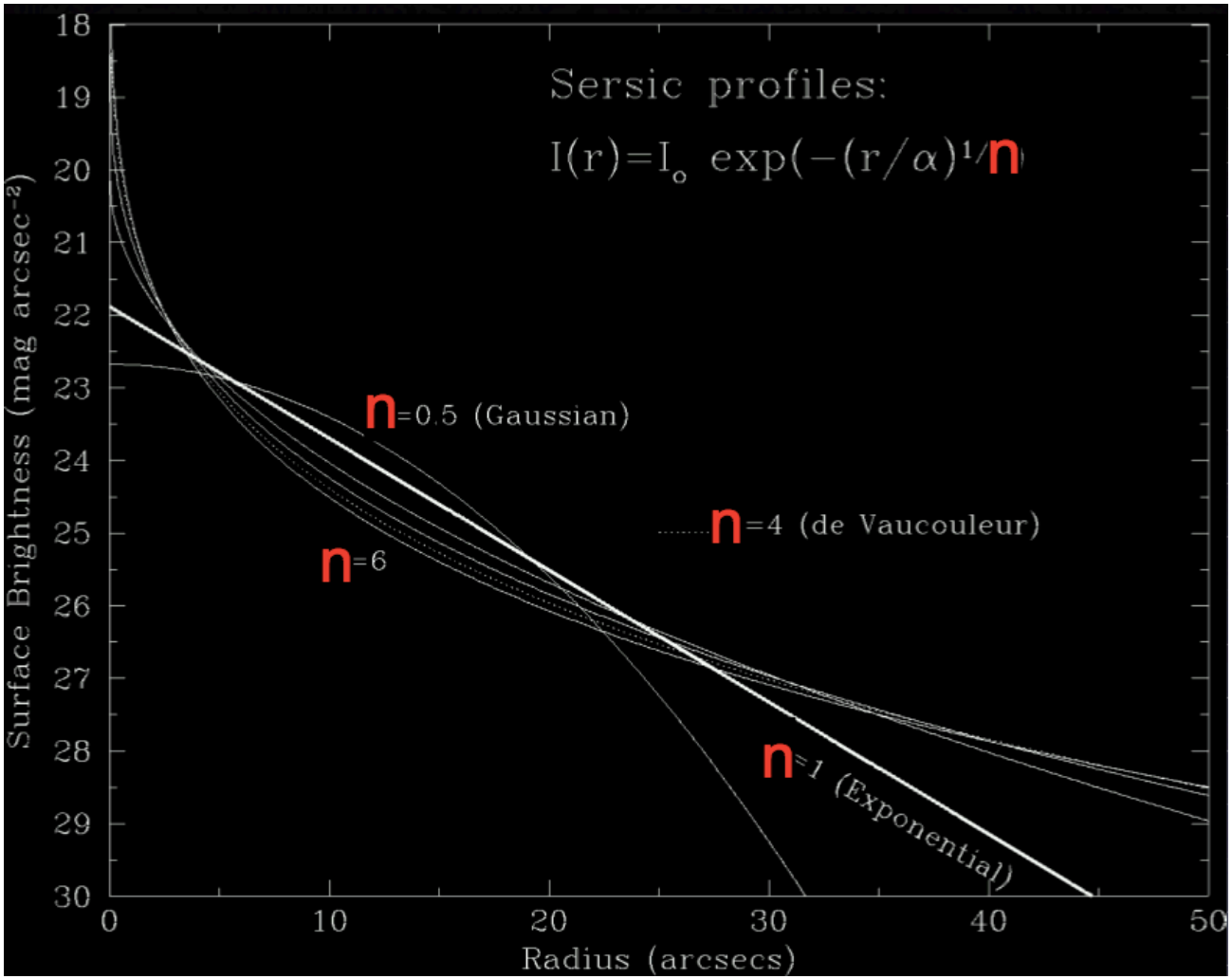
A gauche: compacité indépendante de l'environnement, varie uniquement des galaxies bleues aux rouges

La couleur, à droite, dépend de l'environnement

→ L'environnement affecte affecte l'histoire de la formation d'étoiles, mais pas de trace mesurable de l'effet des fusions (n)...

Hogg (2005)

Compacité lumineuse et indice de Sersic



D.Hogg (2005)

« There is no morphology-density relation »

« What physical processes can « tell » a galaxy star-formation rates about their environments but not do much to the morphologies independantly ?

I think that the conclusion has to be that the processes that set the morphology are somehow internal to the galaxies. That's going to be hard to reconcile with CDM cosmogony. »