Ou sommes nous dans l'Univers?

Basé sur les travaux de:
R. Brent Tully (Université Hawaii)
Hélène Courtois (Université Lyon1)
Yehuda Hoffman (Racah Institute of Physics Israel)
Daniel Pomarède (IRFU, CEA Saclay)

But de ce cours

- Le but de ce cours est de vous familiariser avec, d'une part le contenu de notre univers et d'autre part la structuration de ce contenu.
- Cette information est cruciale pour essayer de comprendre l'évolution de l'univers depuis sa naissance.
- Il a aussi pour ambition de vous faire comprendre la difficulté de mise en œuvre des observations nécessaires à cette cartographie 3D et leur interprétation.

Voyage aux confins de notre superamas Laniakea

Laniakea: du Hawaien Lani (Ciel) et Akea (Immense)

Introduction

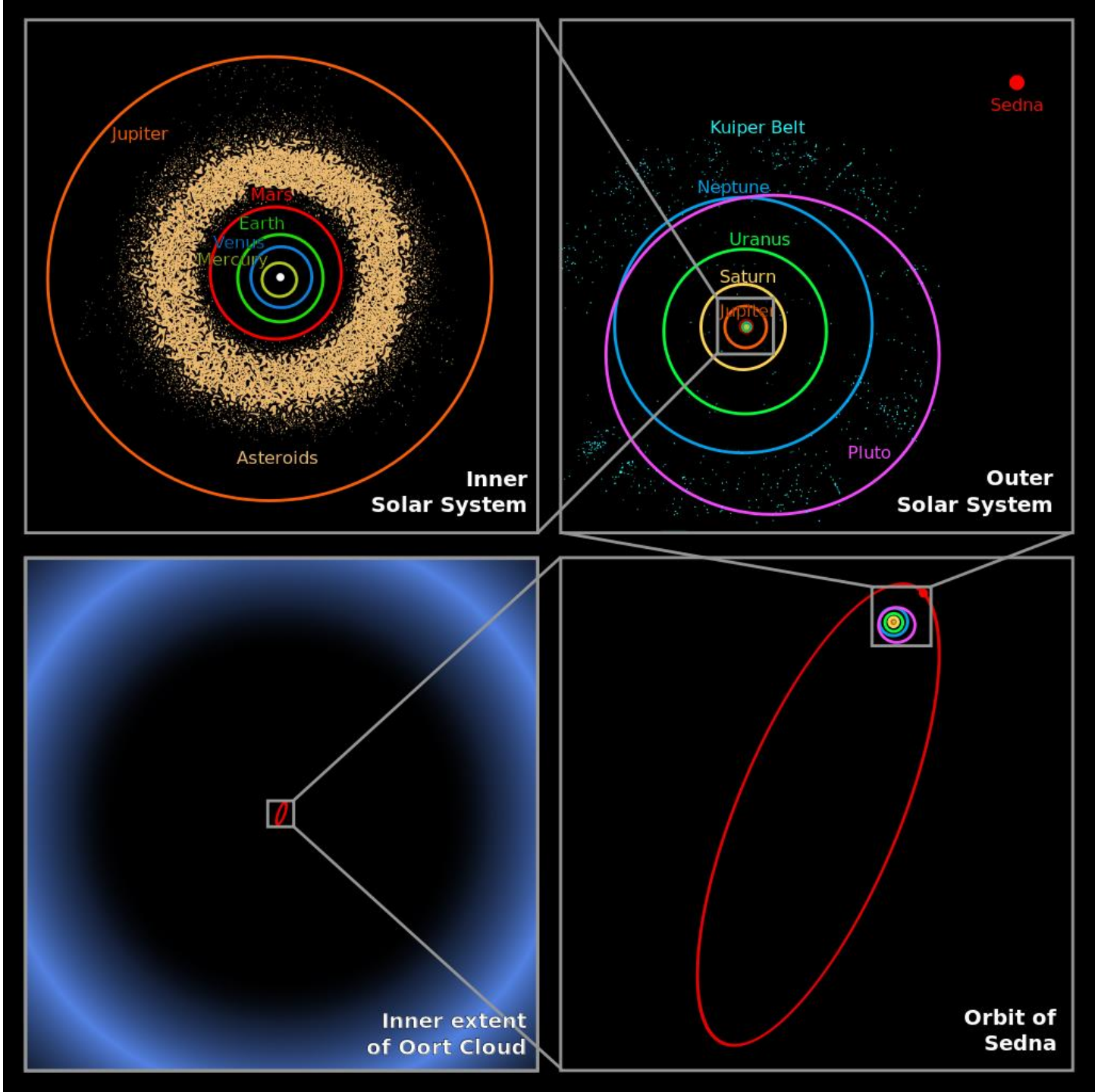
- Comprendre l'organisation de la matière dans l'univers est un véritable défi.
- Au cours des siècles nous avons cependant réussi à comprendre petit à petit la structure de notre univers proche. Ainsi du plus proche au plus lointain nous avons cartographié:
  - notre système solaire.
  - notre galaxie, la voie lactée.
  - les galaxies proches.
  - les amas de galaxies.
  - les super-amas..
  - Mais plus nous nous éloignons du système solaire, plus cette structuration est complexe à mettre en évidence.
- En 2014 des progrès significatifs ont été accomplis sur cette organisation de notre univers.
- Essayons d'y voir plus clair..

Notre voisinage

Le système solaire:

Notre système solaire a une taille d'environ **0.2 a.l. (0.06 pc)**.

La vitesse de la terre autour du soleil est de 30 km/s.


Jupiter
Mars
Earth
Venus
Mercury
Asteroids
Inner
Solar System
Sedna
Kuiper Belt
Neptune
Uranus
Saturn
Jupiter
Pluto
Outer
Solar System
Inner extent
of Oort Cloud
Orbit of
Sedna

Prenons de la distance

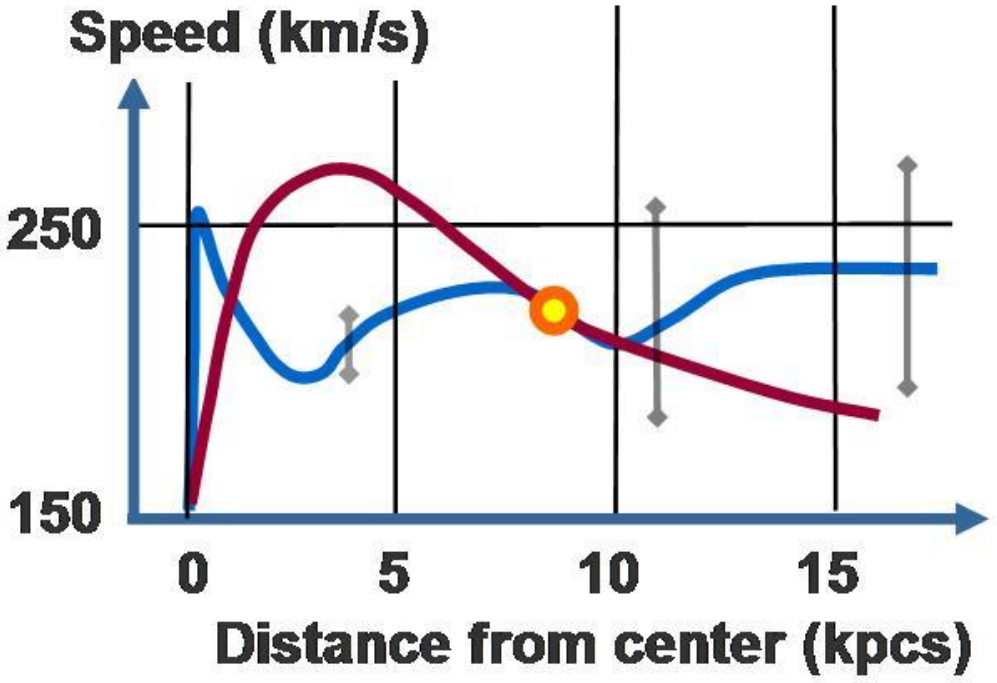
Notre système solaire fait partie d'un assemblage d'étoiles, de gaz, de poussières et de matière noire que l'on appelle galaxie.

La notre s'appelle "La voie Lactée".

Notre Galaxie: la Voie Lactée

Notre système solaire fait partie d'une galaxie spirale, la voie Lactée, qui contient environ **300 10^9** étoiles. Son diamètre est de **35 kpc (1.1 10^5 a.l.)** alors que l'épaisseur du disque galactique n'est que de **0.6 kpc (2 10^3 a.l.)**. Notre soleil est à **8.3 kpc** du centre.
Vitesse du système solaire autour de la galaxie: 230 km/s

Rapport de taille entre la voie lactée et le système solaire: 6 10^5.



Rouge: courbe théorique, bleue: observée

La voie Lactée en direction de la constellation du Sagittaire qui contient le centre de notre galaxie (SagA)

Une mosaïque d’images de la Voie Lactée prise au Fish-Eye au dessus de l’observatoire de Paranal (ESO) dans le désert d’Atacama au Chili.

Une photo de la galaxie NGC 6744 considérée comme très semblable à la voie lactée

Un panorama à 360 degrés de la voie Lactée prise au dessus de l'observatoire de Paranal (ESO-Chili).

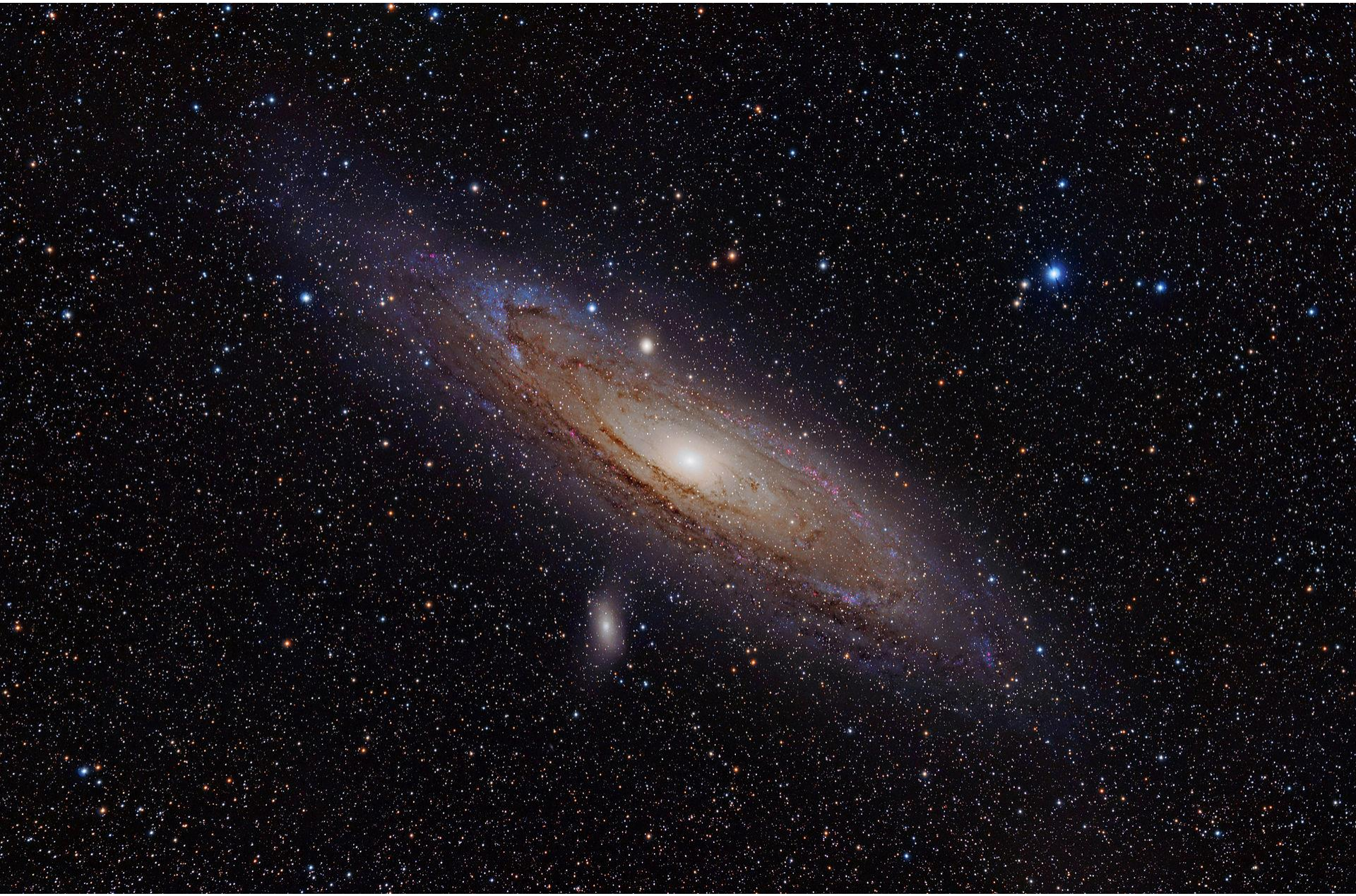
Plus loin!

Le groupe local

Le groupe local

- Le groupe local est composé de 54 galaxies **dont celle de la voie lactée** (La plupart d'entre elles sont des galaxies naines). Sa taille est de **3.1 10^6 pc (10^7 a.l.)**.
- Les deux membres les plus massifs du groupe sont la galaxie d'Andromède (M31) et la voie Lactée situées à **780 kpc** l'une de l'autre. Chacune de ces deux galaxies possèdent un système de galaxies satellites.
- La galaxie la plus importante du groupe est M31, avec un diamètre de **43kpc (1.5 10^5 a.l.)** , et qui contient **10^{12}** étoiles.
- La vitesse de la Voie lactée et de M31 vers le centre du groupe local est de 65 km/s. Elles se rapprochent donc l'une de l'autre à la vitesse de 130 km/s.

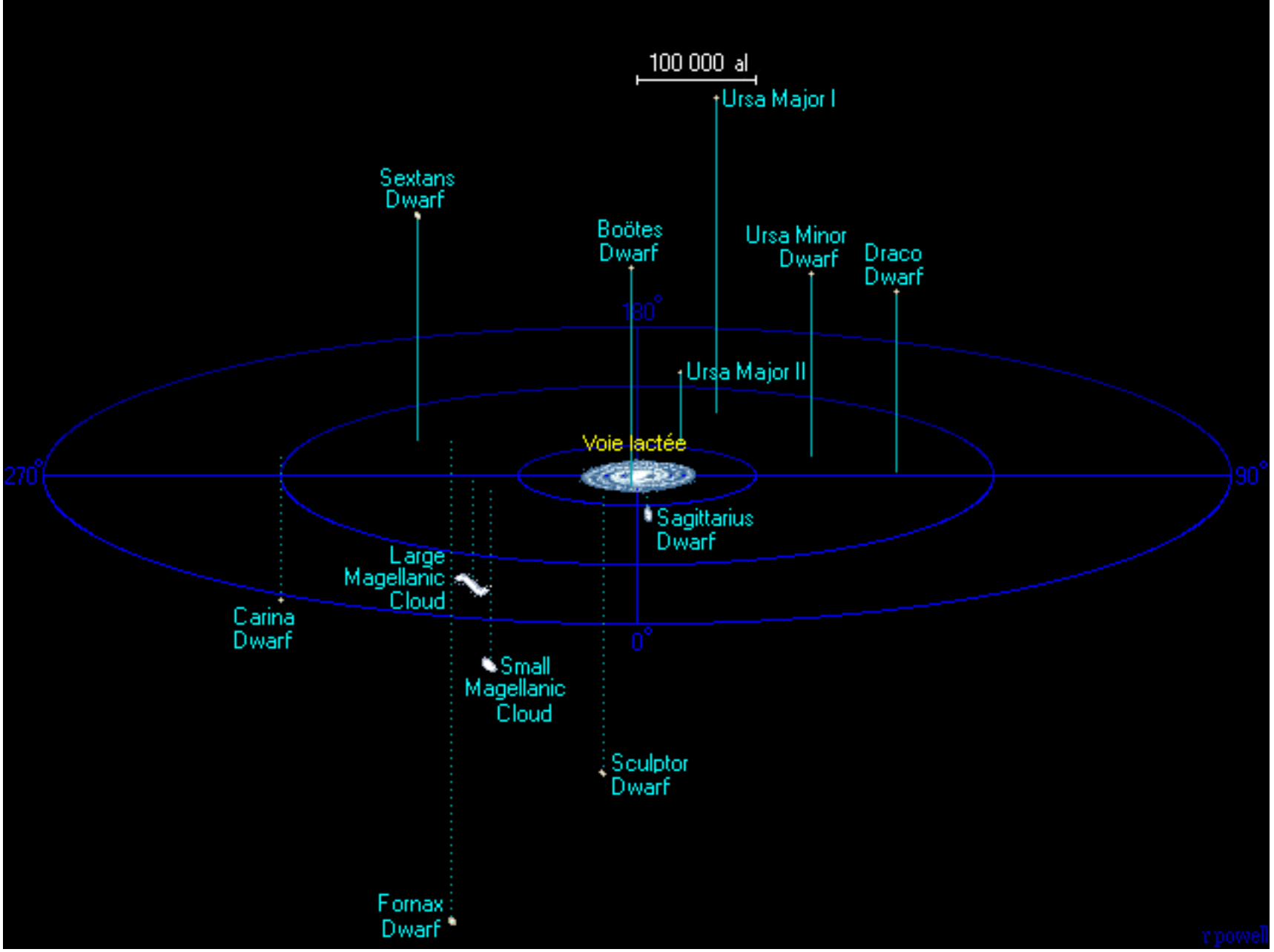
- **Rapports de taille:**
  - **entre groupe local et voie lactée: 85.**
  - **entre groupe local et système solaire : 5 10^7**



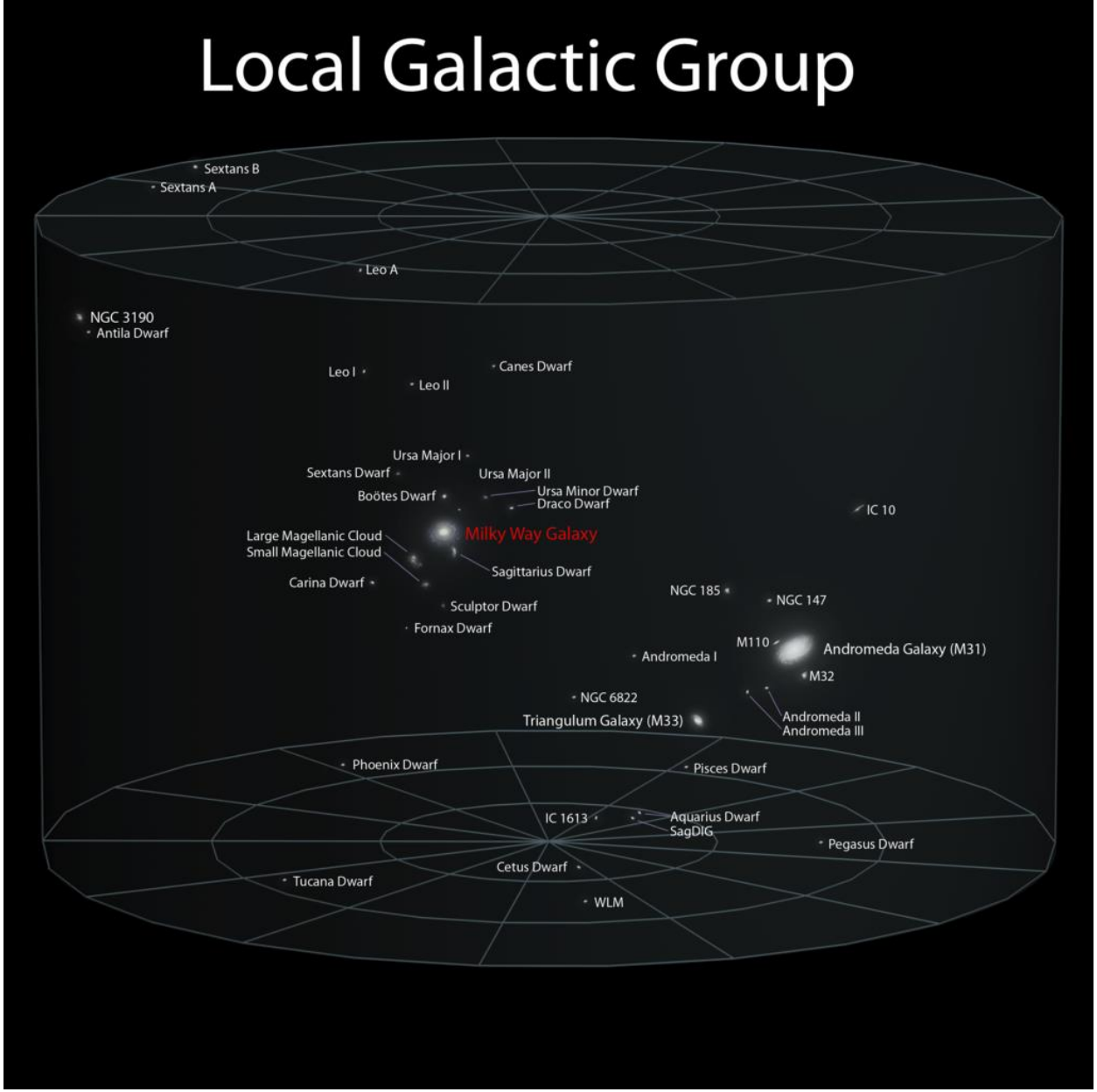
La galaxie d’Andromède ou M31; notre voisine! Nous nous rapprochons d’elle à 130 km/s

Les galaxies proches de nous dans le groupe local

- Parmi les galaxies satellites de la voie Lactée on trouve: les nuages de Magellan (irrégulières), le Sculpteur (naine), Le Fourneau (naine), le grand Chien (irrégulière), Saggittarius (elliptique naine) etc..
- Quelques galaxies satellites de M31: M32 (elliptique), M110 (elliptique naine), Andromède I, II, III, IV et V (toutes sont des galaxies naines) etc..
- la galaxie spirale du triangle (M33) est peut-être (ou peut-être pas!) un compagnon de M31.
- la densité volumique des galaxies du groupe local est comparable à la densité moyenne de l'Univers en galaxies.

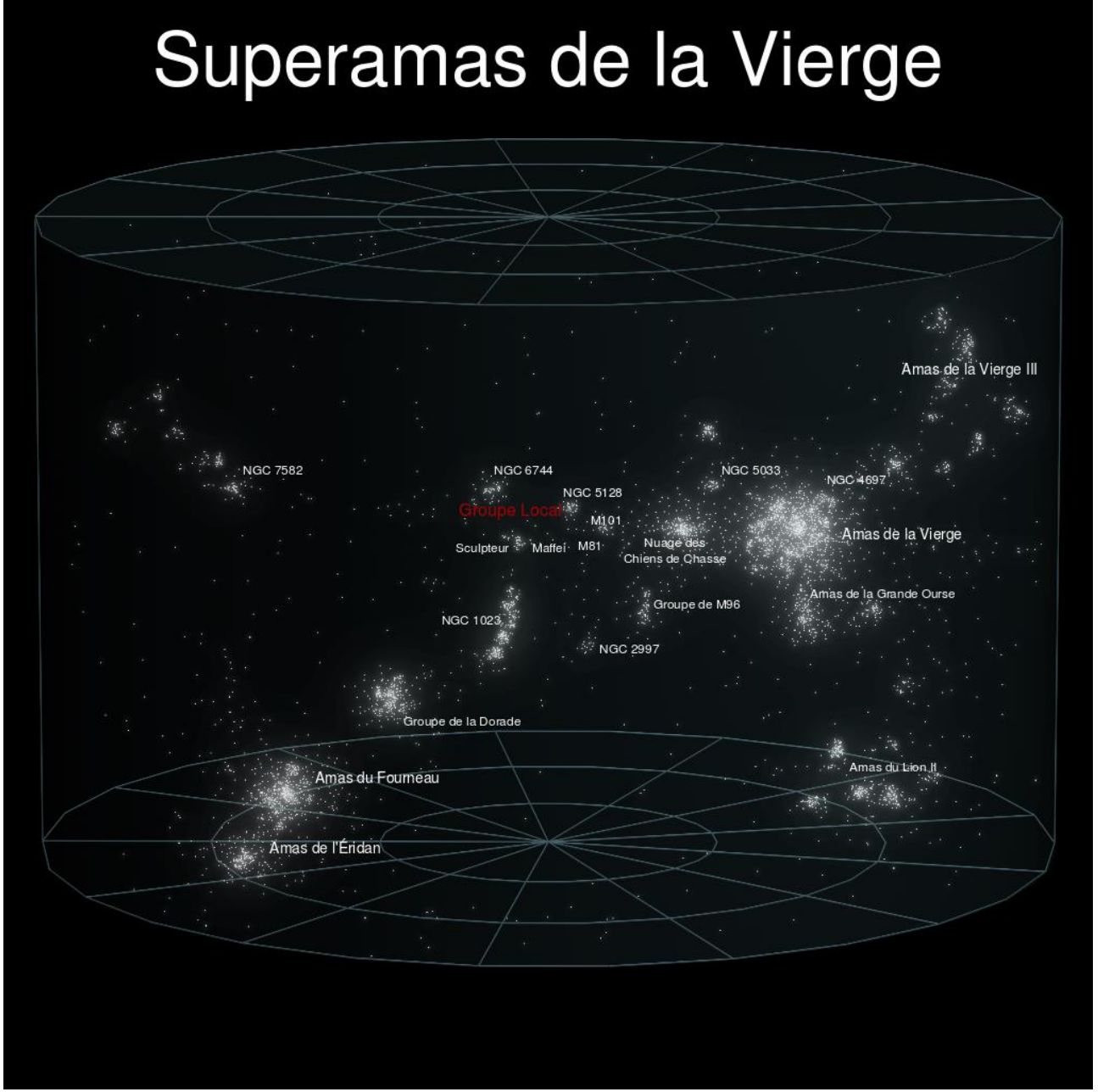


L'univers jusqu'à 150 kpc.
Les galaxies Satellites de la voie Lactée



Groupe Local: taille 3 millions de pc; on peut voir sur cette cartographie en 3D les galaxies satellites de M31

Localisation du groupe local au sein du superamas de la vierge



Le groupe local interagit faiblement avec ses voisins tels Maffei, le filament du Sculpteur ou le nuage des Chiens de Chasse. Tous sont situés en périphérie de l'amas de la Vierge

Un peu plus loin

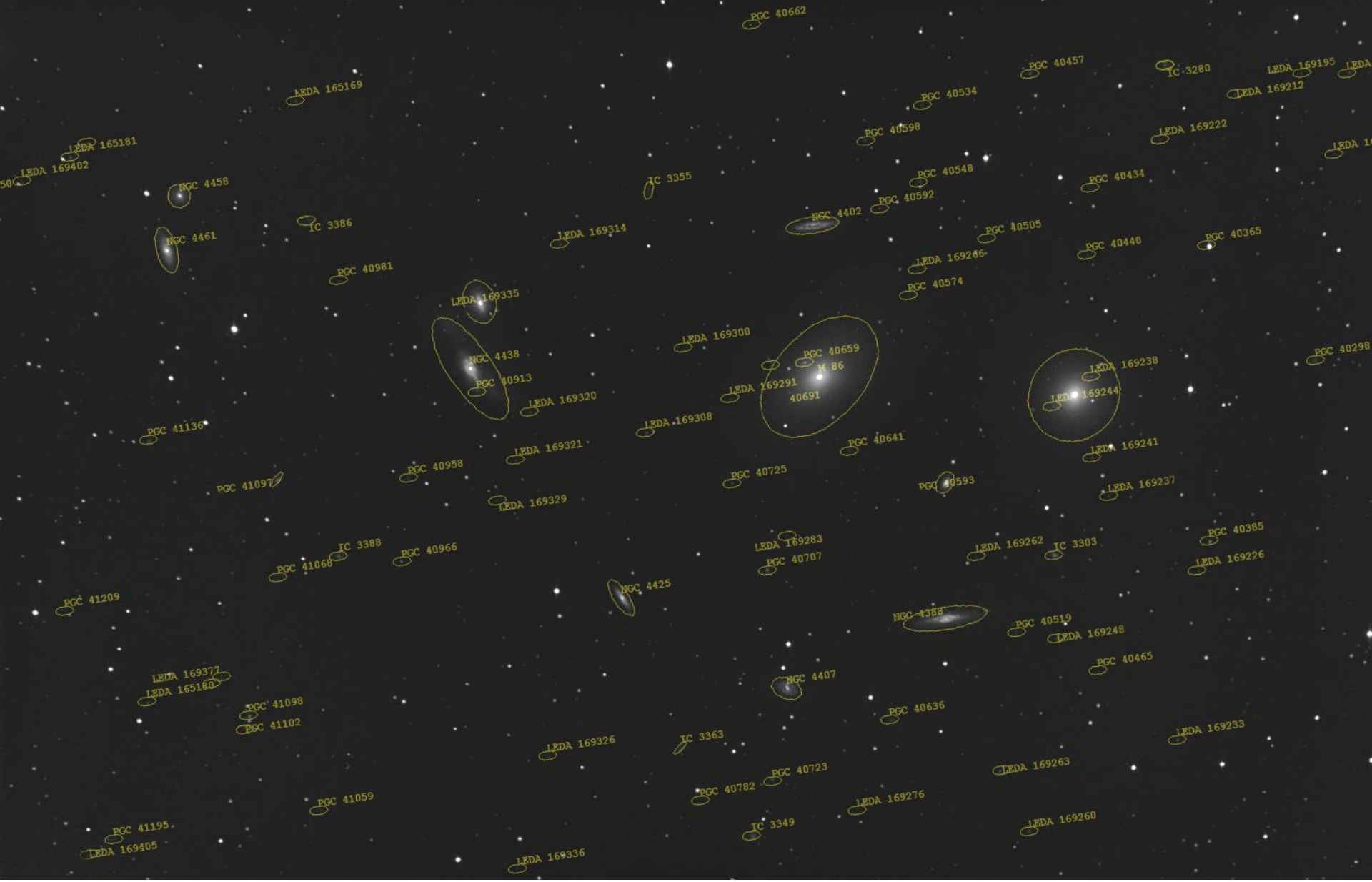
L’amas de la Vierge

L'amas de la vierge et le superamas local (appelé aussi superamas de la Vierge)

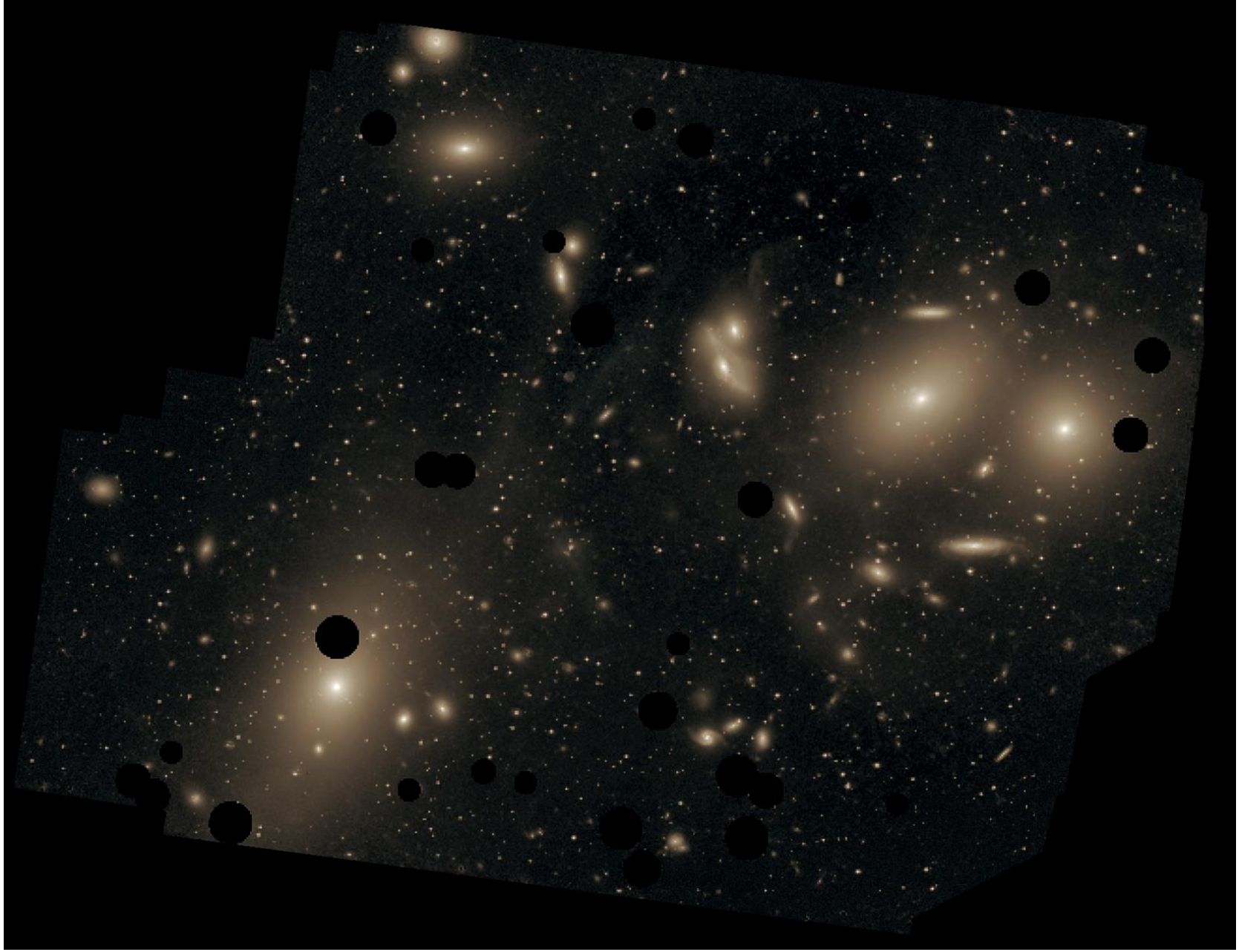
- Dans la constellation de la Vierge, à une distance de **17 Mpc (5.5 10^7 a.l.)** de nous, se trouve l'amas de galaxies du même nom qui contient environ **1300 à 2000** galaxies ainsi que du gaz chaud (détecté en X). Sa taille est de **2.2 Mpc** et contient une masse de **1.2 10^{15} $M_\odot$**.
- Dans le ciel il a une étendue de 8 degrés centré sur la constellation de la vierge. Il peut donc être vu avec l'aide d'un petit télescope. Bien que la galaxie la plus célèbre de cet amas soit M87, Il est centré sur la galaxie elliptique Messier 49.

Cœur du superamas local: amas de la vierge

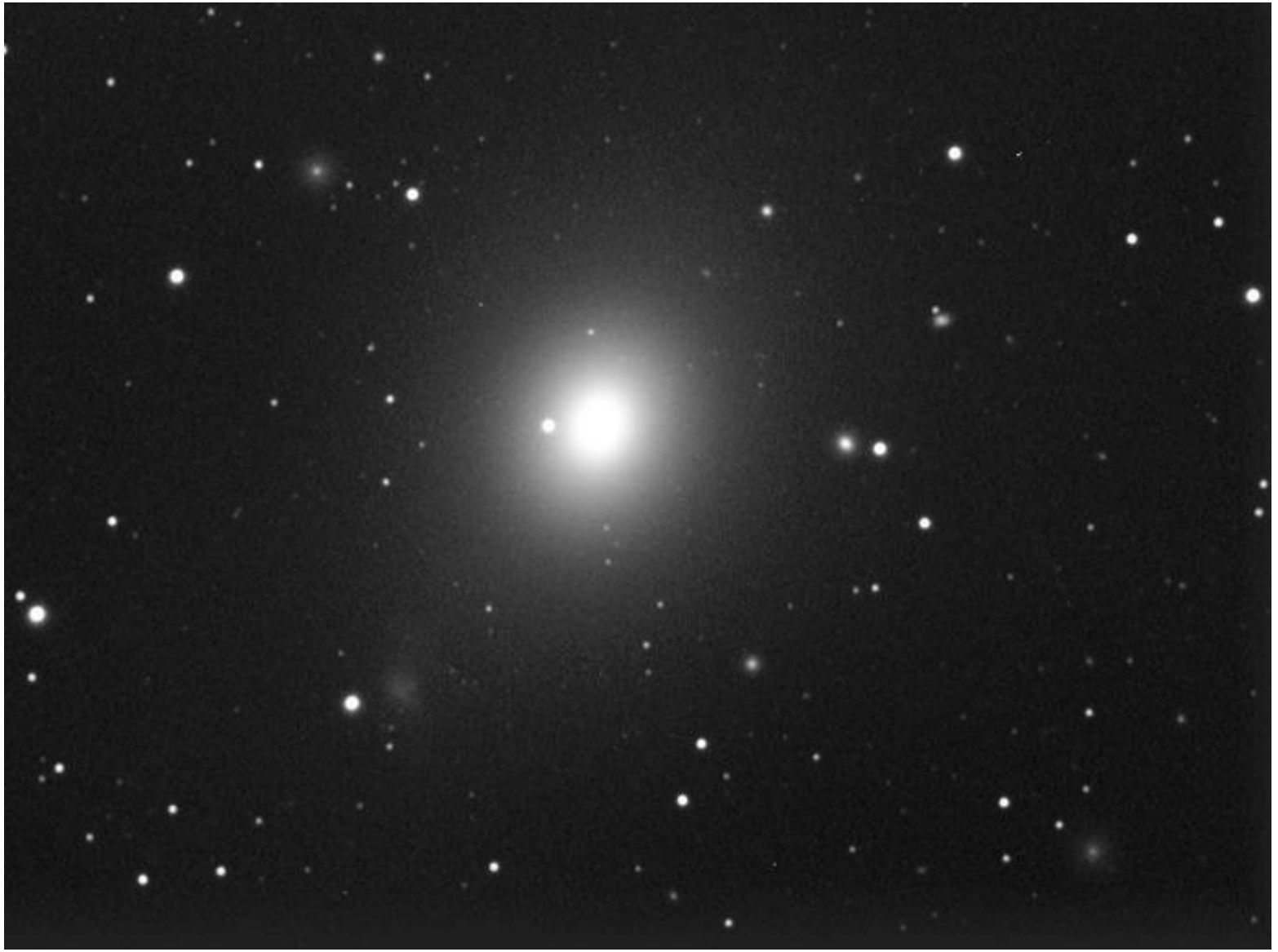
- L'amas de la vierge est le **cœur du superamas local** qui en plus de notre groupe local contient d'autres amas de galaxies (URSA MAJOR, FORNAX..).
- Notre groupe local est gravitationnellement attiré par l'amas de la Vierge et donc le superamas local. Les vitesses due à cette attraction dépendent de la galaxie considérée dans le groupe local (position et masse). Ces vitesses vont de 100 à 400 km/s.



L’amas de la Vierge



Le centre de l’amas de la Vierge. M86 est en bas à gauche



La Galaxie M49 centre de l'amas de la Vierge. Elle contient plus de 5900 amas globulaires qui ont, en moyenne, un âge de 10 10^9 années. Elle a en son centre un trou noir supermassif d'environ 5.65 10^8 $M_\odot$. En 2009 on a découvert un trou noir stellaire dans un amas globulaire.

Toujours plus loin

Les superamas: enfin on ressent l’expansion de l’univers!

Les Superamas: les grandes structures de l'univers Local

- On a vu que dans l'univers très proche les galaxies sont rassemblées en "groupes" et "amas"; les groupes contenant plusieurs dizaines de galaxies tandis que les amas peuvent en rassembler jusqu'à plusieurs milliers.
- A des distances plus importantes (>>**20 Mpc**), les galaxies ne se répartissent plus de façon uniforme dans l'Univers.
- A leur tour ces groupes et amas additionnées de quelques galaxies isolées vont former des structures encore plus grandes que l'on appelle **superamas**.

Superamas?

- En effet on s’est aperçu que, à très grande distance, les groupes et amas se répartissent, et cela sur des distances de quelques dizaines de millions d'années-lumière, le long de lignes de forces dont l’ensemble constitue ce que l’on appelle un superamas.
- Mais identifier un superamas est un travail difficile. Pourquoi?

Définition des superamas

- L'identification d'un superamas est difficile pour plusieurs raisons:
  - Leur grande taille fait que la gravité a un rôle moins déterminant. Les superamas sont donc des ensembles beaucoup plus lâches. .
  - En effet, un ensemble de corps liés mutuellement par la gravité n'est pas en expansion si l'attraction mutuelle est assez forte pour résister. C'est le cas dans les groupes ou amas de galaxies.
  - Par contre, la force gravitationnelle qui lie les amas entre eux n'est pas suffisamment puissante et l'expansion commence à se faire sentir. En conséquence nous ne sommes plus en présence de structures aux formes clairement définies.
- Toutefois depuis plus d'un siècle les efforts des astronomes ont permis de construire un schéma de notre univers au delà de l'amas local. Ils ont ainsi pu identifier **le superamas de la vierge ou superamas local**.

Le superamas local ou de la Vierge

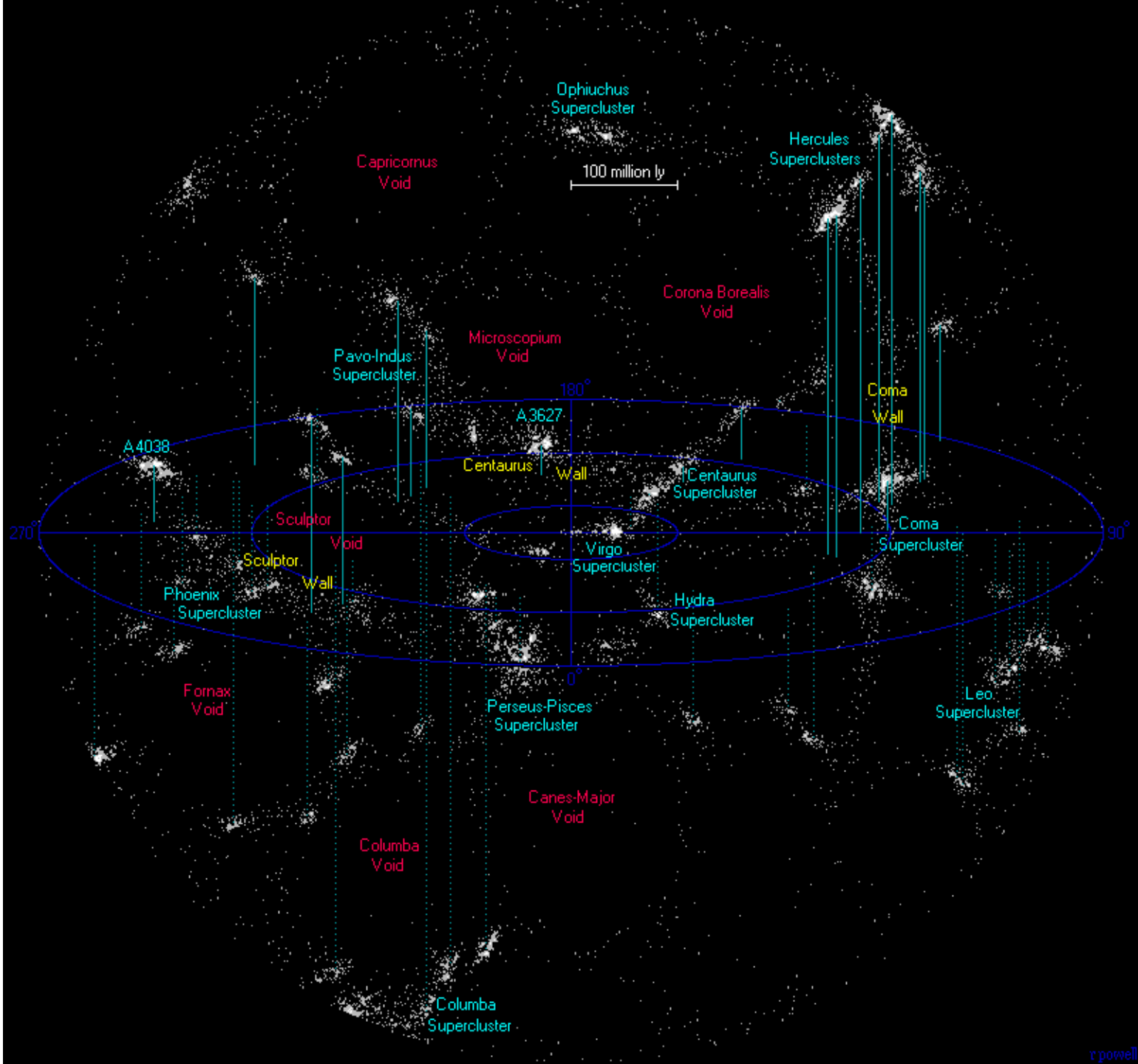
- Le superamas de la Vierge est une concentration d'une centaine d'amas et de groupes de galaxies. Son nom vient du fait que l'amas de la Vierge est situé en son centre.
- Il a un diamètre de **$3.3\ 10^7$** pc (**$1.1\ 10^8$** a.l.) et regroupe environ 100 groupes et amas, soit au total plus de 10000 galaxies (*Sa masse est de $10^{15}\ M_\odot$ pour une luminosité de $3\ 10^{12}\ L_\odot$ soit un rapport de 300 indiquant la présence d'une forte présence de matière noire*).
- C'est un superamas parmi les millions de l'univers visible.

- **Rapports de taille:**
  - **Entre superamas de la vierge et groupe local: 10.**
  - **Entre superamas et voie lactée: 850**
  - **Entre superamas et système solaire : $5\ 10^8$**

Le superamas de la Vierge.
Taille 33 Mpc
Ou
1.1 10^8 a.l.

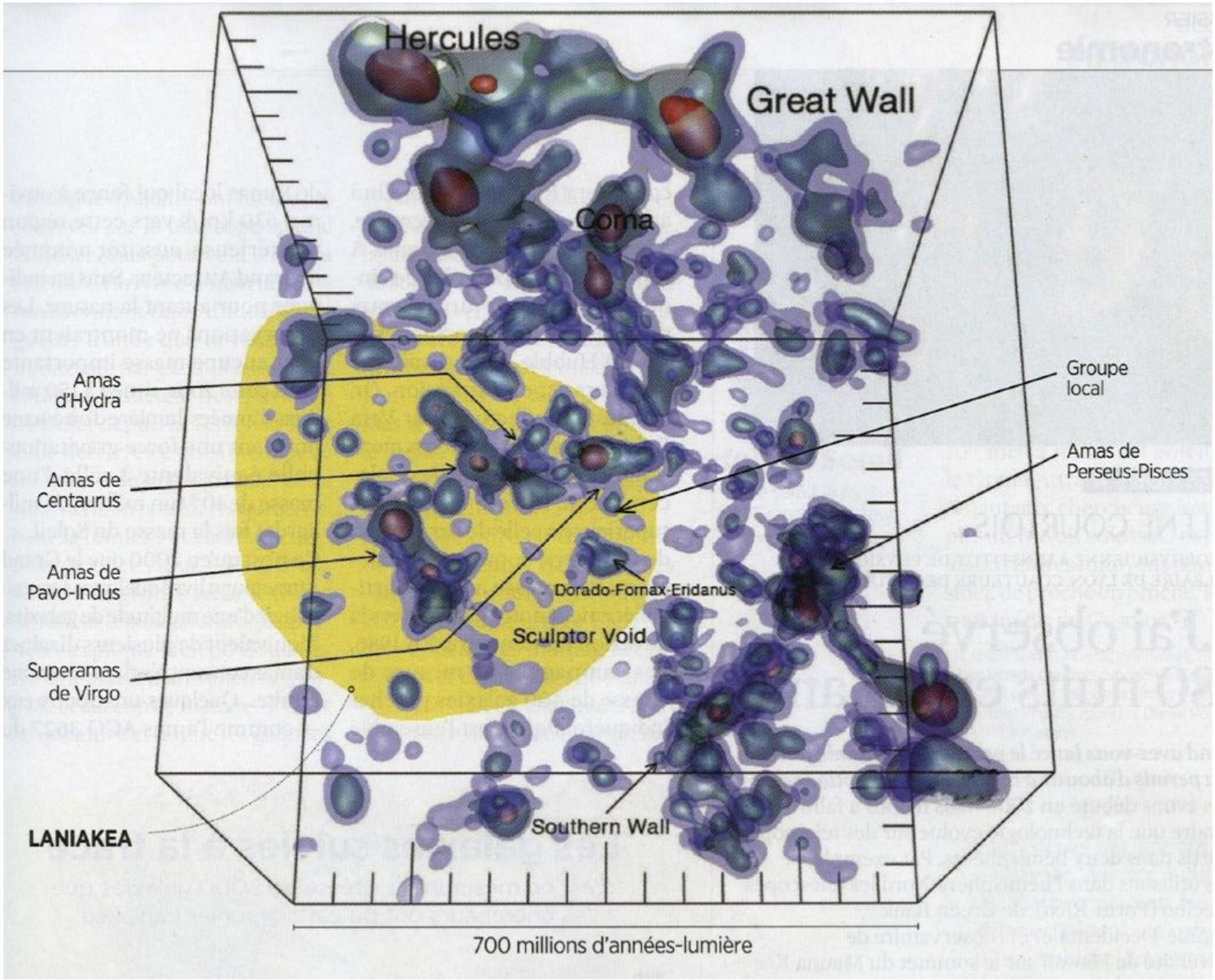
Les amas et superamas de l'univers notre univers proche.

Répartition des structures formées par les galaxies sur un rayon de 500 10^6 al.



Au delà des superamas

- Ces superamas forment à leur tour des structures appelées “filaments“ ou “murs“, qui peuvent s’étendre depuis 10^8 jusqu’à 10^{10} a.l. et qui représentent environ 5% de notre univers observable.
- L’observation de ces structures nous renseigne sur les conditions initiales présentes dans l’univers au moment de leur création.
- Dispersés au milieu, on observe de grands “espaces vides“ dans lesquels on trouve quelques galaxies.



Murs et filaments autour du groupe local. Le nouveau superamas Laniakea est indiqué!

Quelques superamas proches

Nom	Z Taille	Notes
Laniakea	Z =0 5 10^8 a.l.	Contient l'amas de la Vierge, le groupe local et bien sûr notre galaxie, la voie Lactée
Virgo	Z = 0 1.1 10^8 a.l.	Contient le groupe local, l'amas de la Vierge en son centre et est appelé aussi superamas local. Contient 47000 galaxies
Hydra-Centaure		Composé de 2 lobes contenant les superamas Hydra et Centaure. Est inclus dans Laniakea depuis 2014
Pavo-Indus		A été inclus dans Laniakea en 2014
Coma		Forme le centre du filament de galaxies appelé grand mur CfA2
Ophiucus	59 x 85 10^6 a.l.	Forme le mur du vide de Ophiucus. Il est connecté aux Pavo-Indus et Hercules superamas.
Shapley	Z = 0.046 (6.5 10^8 a.l.)	Le second surperamas après le superamas local

Plus Grand, plus loin..

Laniakea

Découverte du grand attracteur..dans Laniakea.

- Dans le passé on a constaté que le superamas local se rapproche des superamas de **Hydra-Centaurus** et de **Shapley** à la vitesse de 627 km/s. Le responsable de ce mouvement d'ensemble du groupe local a été identifié comme étant le "grand attracteur"!
- Le "grand Attracteur" est une anomalie gravitationnelle dans l'espace intergalactique, située entre 47 et 80 Mpc de nous à proximité du superamas **Hydra-Centaurus** au centre du **superamas Laniakea**. (*Son observation est très difficile car il est situé derrière le plan galactique de la voie Lactée*)

Qu'est-ce que cette anomalie ou "grand attracteur"?

- Cette anomalie serait due à la présence d'une concentration de masse de l'ordre de 5 10^{16} $M_{\odot}$ (*soit 10000 fois la masse de la voie Lactée*).
- Cette masse affecte le mouvement des galaxies et des amas associés, dans une région de plus de 10^{8} a.l. Les galaxies présentent des variations dans leurs "redshifts" qui révèlent la présence de cette anomalie.
- Toutefois des observations en X effectuées récemment indiquent que ce "grand attracteur" aurait en fait une masse 10 fois plus faible qu'indiqué précédemment.
- Ces observations ont aussi montré que le groupe local était plutôt attiré par le superamas de Shapley que par Hydra-Centaurus.

Le “grand“ attracteur n’est plus aussi attractif.

- Enfin la découverte de Laniakea en 2014, a montré que, en réalité, les superamas Hydra et Centaurus font partie de ce superamas et que le grand attracteur serait plutôt une vallée très profonde de Laniakea contenant de nombreuses galaxies en son centre.
- Le superamas de la Vierge ne serait en réalité qu’un lobe du superamas Laniakea, ce dernier étant centré sur ce fameux “grand attracteur“.

Depuis le début du 20ème siècle

- Toutes les cartes de distribution des galaxies de l'univers proche, ont été acquises depuis les années 1920. Elles reposent sur des « surveys » de la distribution des positions des galaxies et de leur "redshift", décalage cosmologique qui permet de déterminer leurs distances.
- Ce n'est qu'à partir des années 1980 que les techniques d'observations révélèrent la répartition des amas de galaxies à des échelles de centaines de millions d'années-lumière : la structure à grande échelle apparut alors bien plus complexe qu'on ne l'imaginait auparavant.

Améliorations

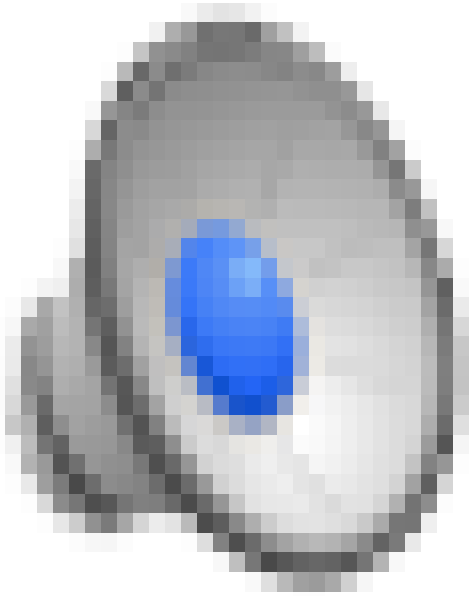
- Mais quand on considère des structures aussi grandes que les superamas, même si on met en évidence les zones de concentration de matière et de vides, on ne peut voir les zones ou les mouvements de galaxies proches divergent.
- Ces zones de divergence définissent des limites de régions bien différentes qui vont permettre d'identifier plus précisément les superamas.
- La vitesse d'une galaxie étant le résultat de la vitesse due à l'expansion de l'univers et de sa vitesse par rapport à son environnement, l'idée était d'extraire des observations cette vitesse propre qui est liée au champ de gravité dans lequel est plongée la galaxie.

Reconstruction des cartes de l'univers proche

- Plusieurs chercheurs ont alors décidé de redéfinir le concept de superamas en s'appuyant sur des mesures de la vitesse propre des galaxies.
- Ils ont alors sélectionné plus de 8000 galaxies de notre univers proche dont ils ont mesuré les vitesses. Ils ont alors soustrait des vitesses observées l'effet de l'expansion de l'univers et ainsi construit une base de données de la position et de la vitesse propre de ces galaxies.
- La construction de cartes en 3D à partir de cette base de données a permis de mettre en évidence le superamas Laniakea.

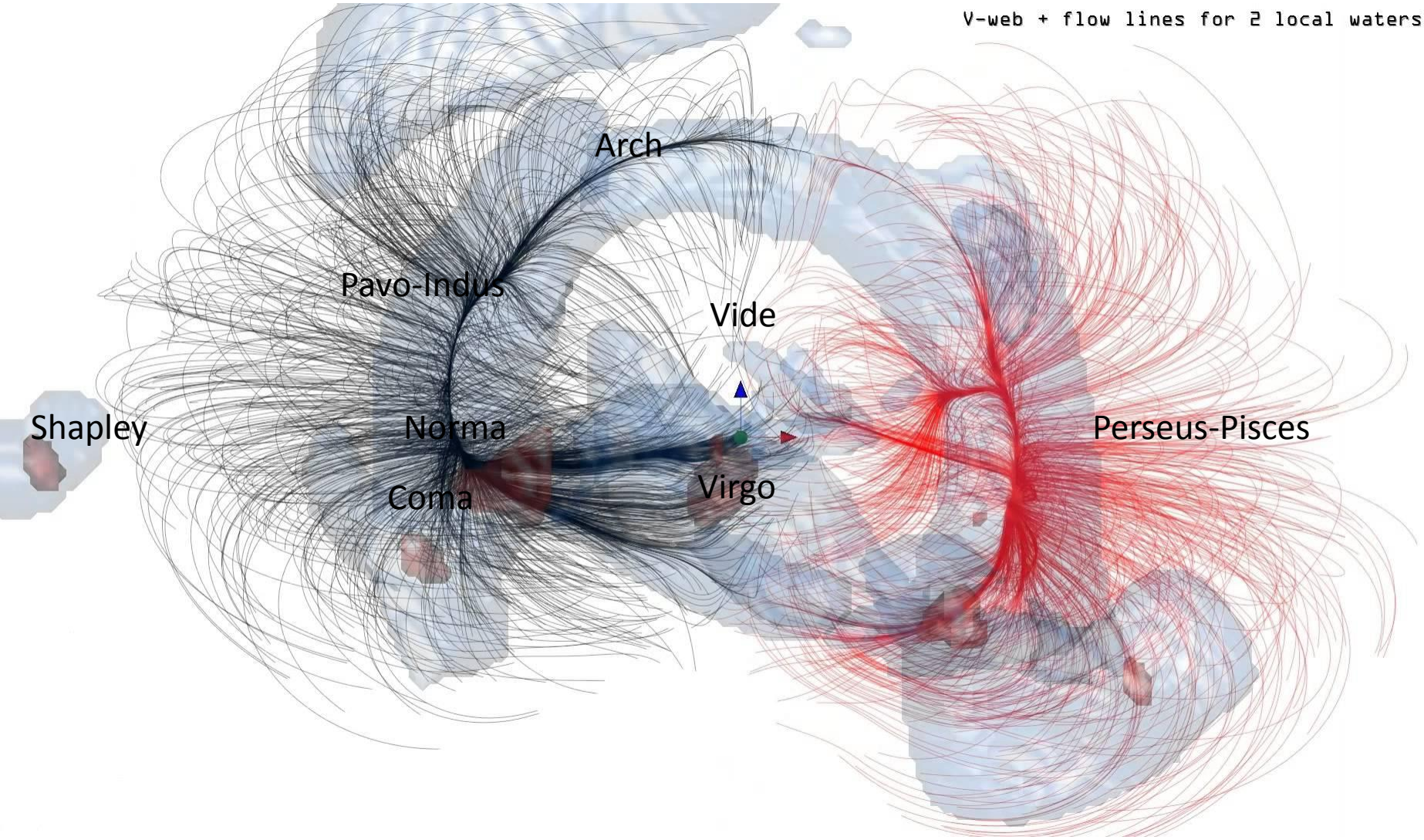
Laniakea: une nouvelle vision de notre univers proche

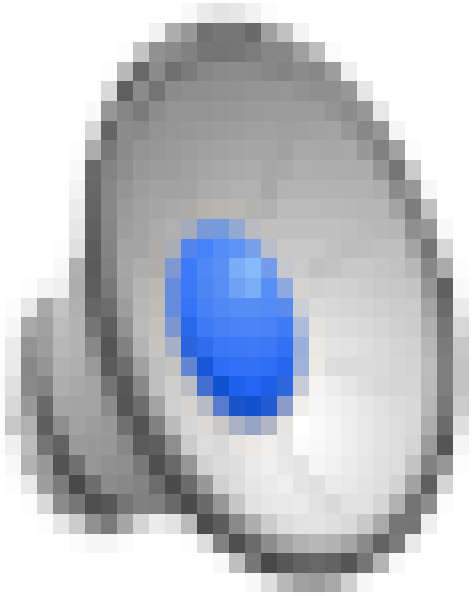
- La carte de positions et de vitesses propres à trois dimensions de ces 8000 galaxies ont permis de montrer l'existence d'un bassin local d'attraction de 180 Mpc de diamètre (5.8 10^8 a.l.) bassin que l'on peut considérer dorénavant comme notre superamas local.
- De plus ces cartes montrent la structure environnante à ce nouveau superamas ainsi que les interactions gravitationnelles avec des superamas plus lointains
- Il regroupe une masse de 10^{17} $M_\odot$, au sein de plus de 100 000 galaxies.
- Il a été baptisé **Laniakea** de Lani (ciel) et akea (immense)



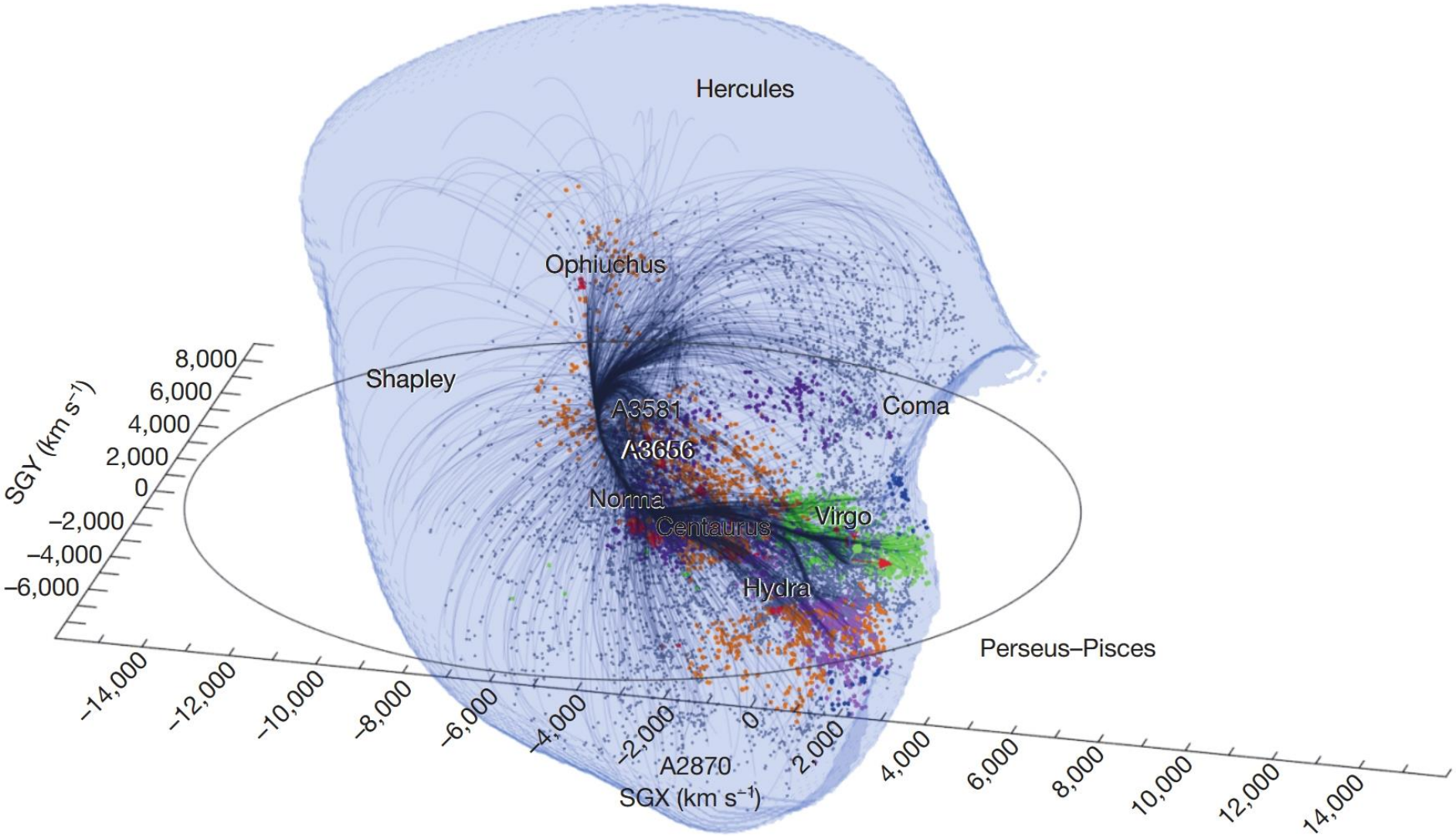
Laniakea par Hélène Courtois: présentation générale

Laniakea : our home supercluster and the “great attractor“

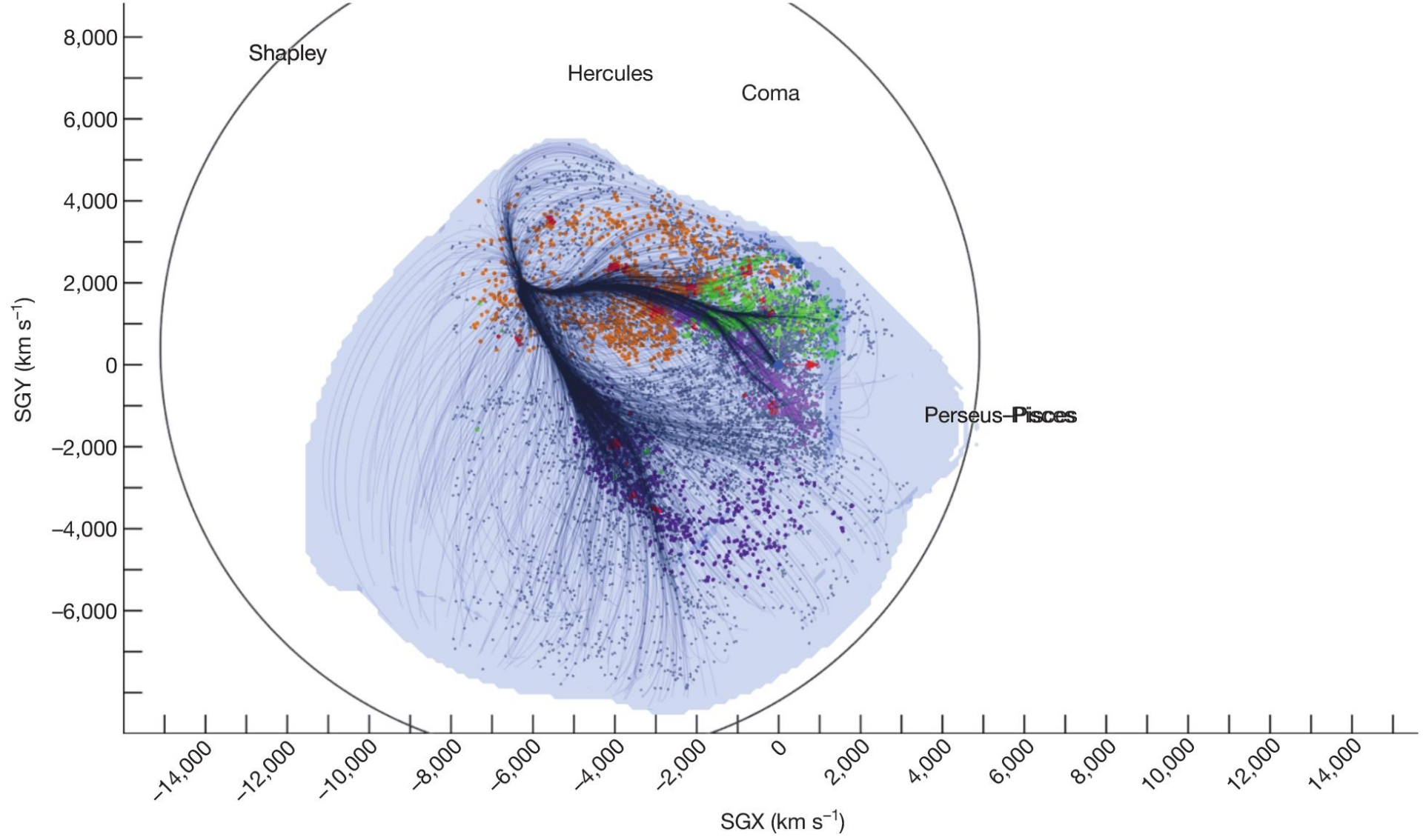

V-web + flow lines for 2 local watersheds
Arch
Pavo-Indus
Vide
Shapley
Norma
Perseus-Pisces
Coma
Virgo



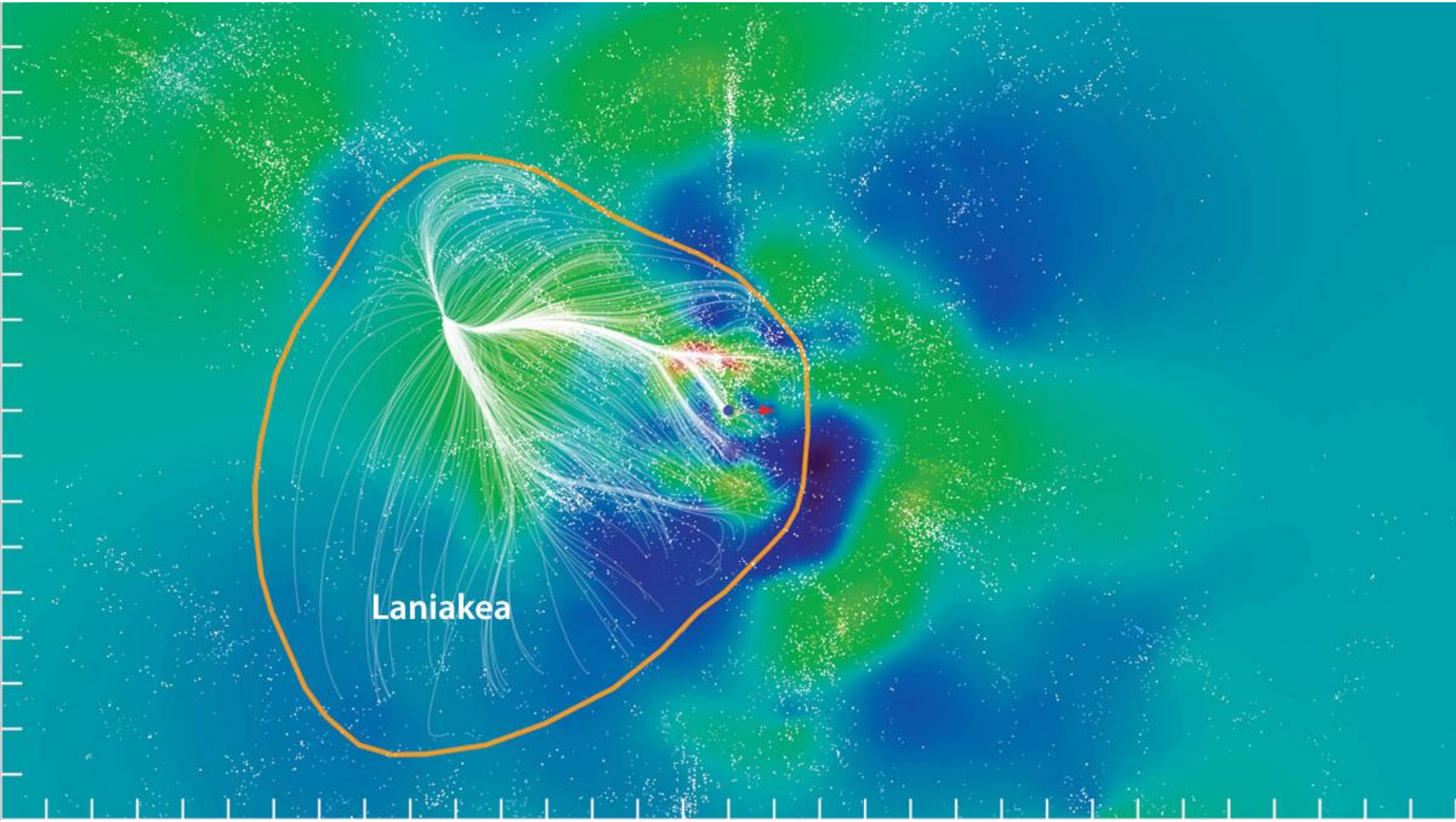
Laniakea et au delà: l’interaction avec Shapley



Vue en perspective de Laniakea. On voit les axes X et Y, l'axe Z étant comme dab perpendiculaire au plan X,Y.



Vue de dessus. Le zéro des axes correspond à la position du CADREF.



La limite de Laniakea, le superamas de galaxies auquel appartient la voie lactée. Les couleurs représentent en rouge, les régions les plus denses, en bleu les vides. Le gros point bleu représente la position de la voie Lactée.

Votre nouvelle adresse

- La prochaine fois que vous indiquerez votre **adresse universelle**, pensez à ajouter un mot qui facilitera la livraison de vos paquets, à l'échelle extragalactique: Terre, Système solaire, Voie Lactée, Groupe local, Laniakea, Univers..
- Ainsi vous faciliterez le travail de votre facteur cosmique!

Blog de Guillaume Canat auteur scientifique: 4 septembre 2014