

Gaia DR2: Conséquences sur la nature des galaxies naines sphéroïdales et sur la masse de la Galaxie

Présenté par François Hammer

Co-auteurs: Yang, Y.B.; Wang, J.L., Arenou, F.; Li, H.; Jiao, Y; Bonifacio, P. and Babusiaux, C.

2 Papiers (2020-21):

- I. Orbital evidences for dark-matter free Milky-Way dwarf-spheroidal galaxies (2020, ApJ 892, 3)
- II. The Milky Way rotation curve: Navarro Frenk & White dark matter profile generates a strong methodological systematic against low masses (2021, MNRAS submitted)

Voir aussi sur la chaîne Youtube de l'Observatoire de Paris:

Re-explication de la dynamique des galaxies naines situées au voisinage de la Voie lactée

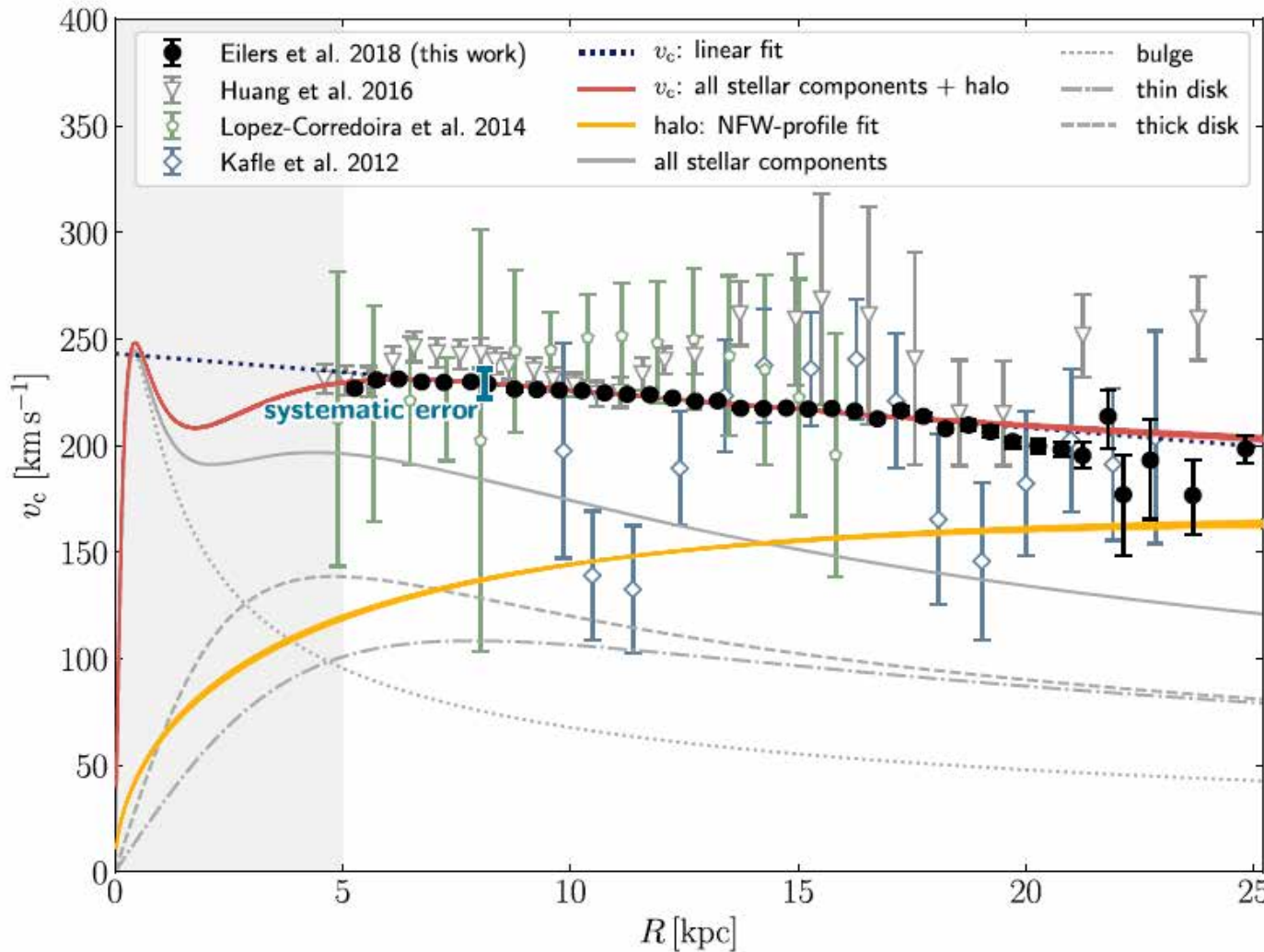
<https://www.youtube.com/watch?v=qy-EFXFJhQA> (FR)

<https://www.youtube.com/watch?v=m55iBXISyE> (EN)

Les revolutions Gaia DR2

- La première courbe de rotation précise pour la Galaxie, jusqu'à 25 kpc
- Les premières mesures de mouvements propres pour 44 galaxies naines sphéroïdales au lieu de seulement pour les 9 plus massives

Eilers et al 2019, Gaia DR2, courbe de rotation légèrement déclinante



Coordonnées en 6D (3 espace, 3 vitesse) pour 23 000 étoiles géantes rouges dans le disque Galactique;

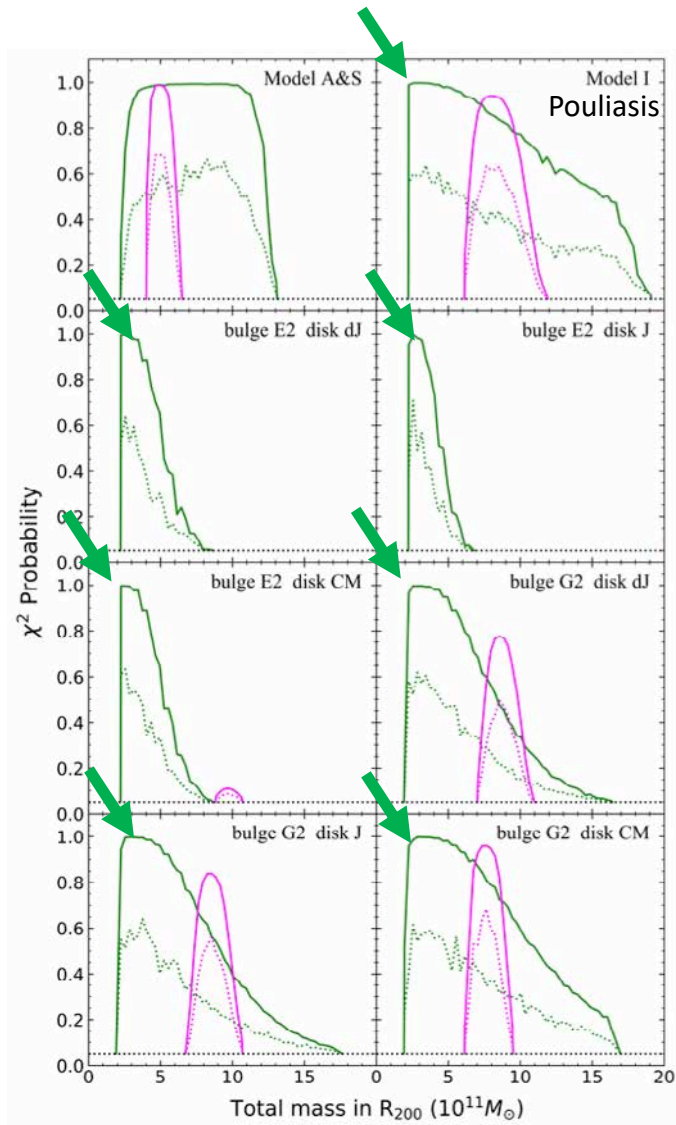
Distances? Confirmé par Mroz et al. 2019, avec 773 étoiles variables Cepheides avec des distances précises;

Erreurs diminuées par plusieurs magnitudes;

Utilisant NFW Eilers et al. trouvent:

- $M_{\text{DM}} = 7.25 \cdot 10^{11} M_{\text{O}}$
- $M_{\text{baryons}} = 0.895 \cdot 10^{11} M_{\text{O}}$

Courbe de rotation légèrement déclinante: quelle masse totale?



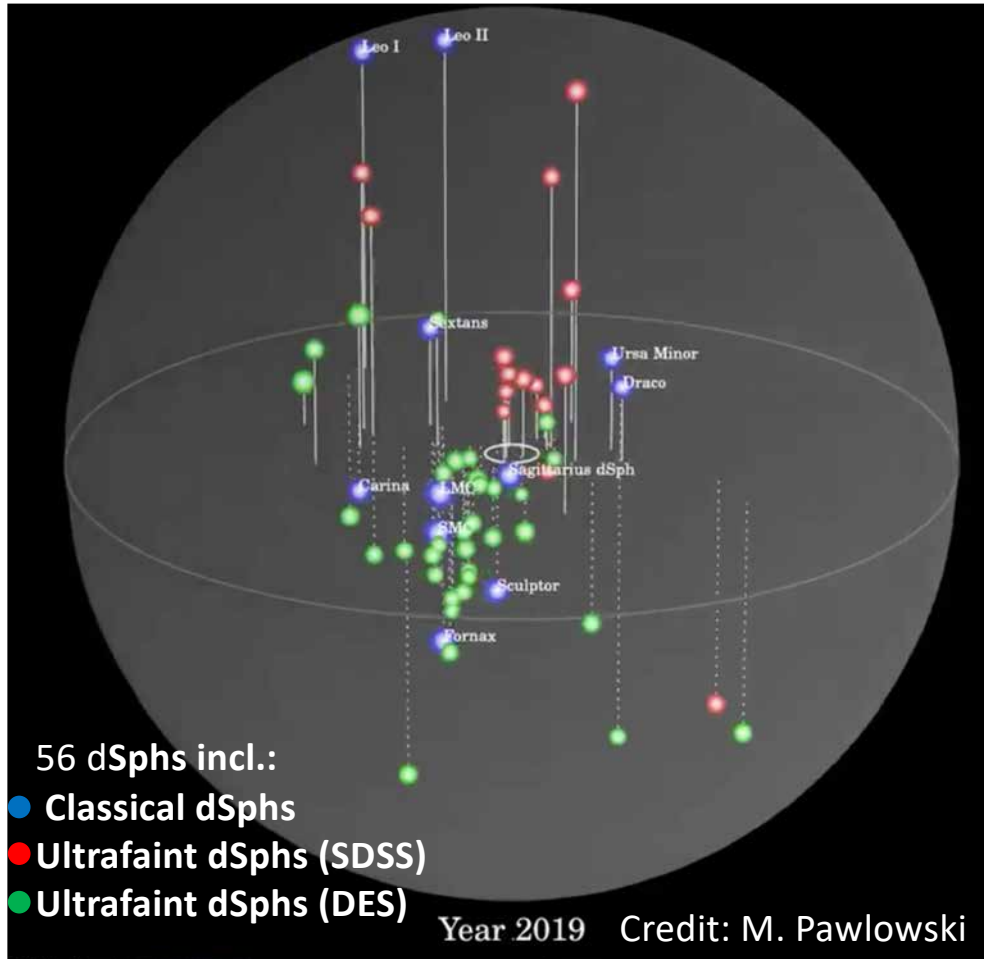
- La matière sombre froide est mieux représentée par un profil d'Einasto à 3 paramètres (Navarro et al. 2008).
- **Jiao et al. 2020** ont étudié comment reproduire la courbe de rotation en combinant la matière visible à cette matière sombre. La qualité de la reproduction est calculée via un test statistique et une probabilité associée (Einasto, en vert).

Il en résulte que les meilleures probabilités sont obtenues pour des masses totales petites, mais n'exclut pas des masses jusqu'à $15 \cdot 10^{11} M_{\text{sun}}$; consistant avec les orbites des amas globulaires.

Les revolutions apportées par Gaia DR2

- La courbe de rotation précise de la Galaxie est déclinante jusqu'à 25 kpc
→ favorise des masses totales faibles pour la Galaxie ($\sim 3 \cdot 10^{11} M_{\text{sun}}$)
- Les premières mesures de mouvements propres pour 44 galaxies naines sphéroïdales au lieu de seulement pour les 9 plus massives
- Ce sont les plus petites galaxies détectables (parfois moins de mille étoiles)

Scénario standard: les galaxies naines sphéroïdales



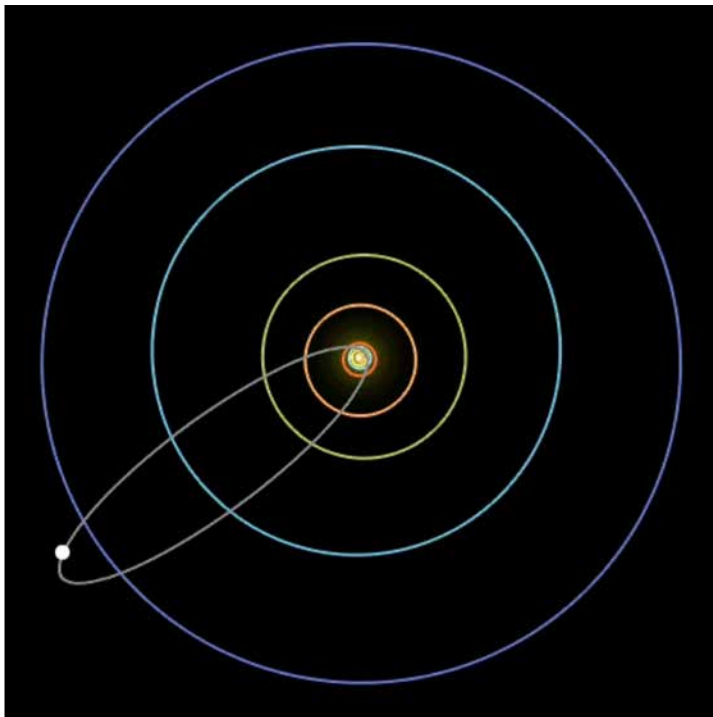
Les galaxies naines seraient des **satellites** de la Galaxie, dominés par la matière sombre:

- Le modèle standard prédit un très grand nombre de "sous halos" de matière sombre;
- Matière sombre "protège" les galaxies contre les puissants effets de marée;
- jusqu'à plus de mille fois plus de matière sombre que de matière ordinaire?
- Une explication de la vitesse de dispersion interne de leurs étoiles.

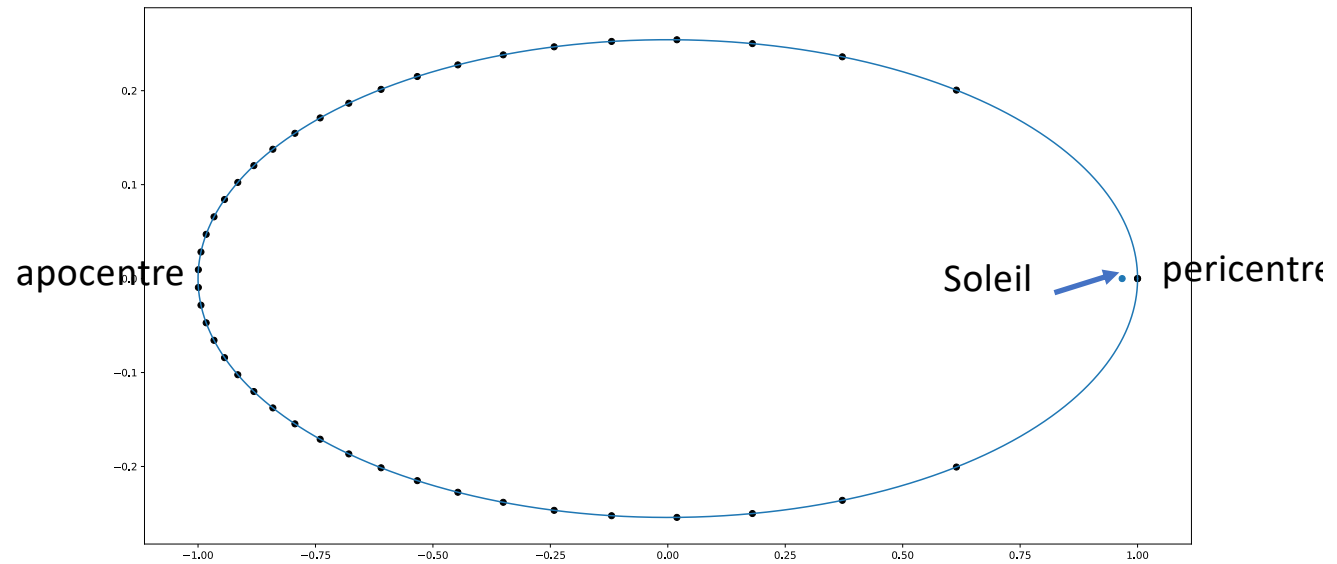
Gaia DR2 : La plupart des naines sphéroidales sont proches de leurs péricentres (Fritz et al. 2018; Simon, 2019) sur des orbites très excentriques (elliptiques).

Est-ce compatible avec le fait que ce soient des satellites de la Galaxie?

Orbites elliptiques (e.g., comète de Halley)

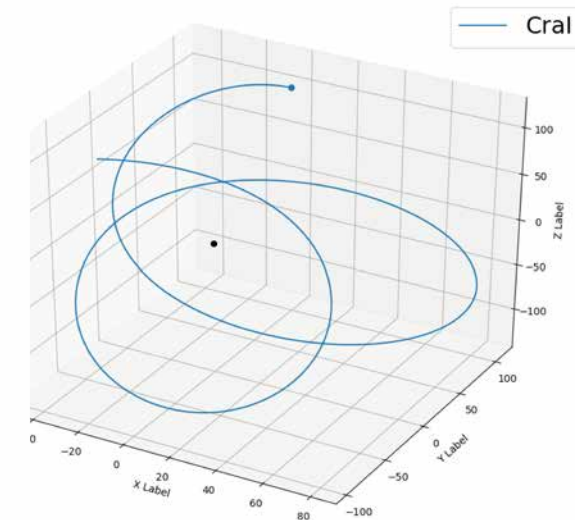
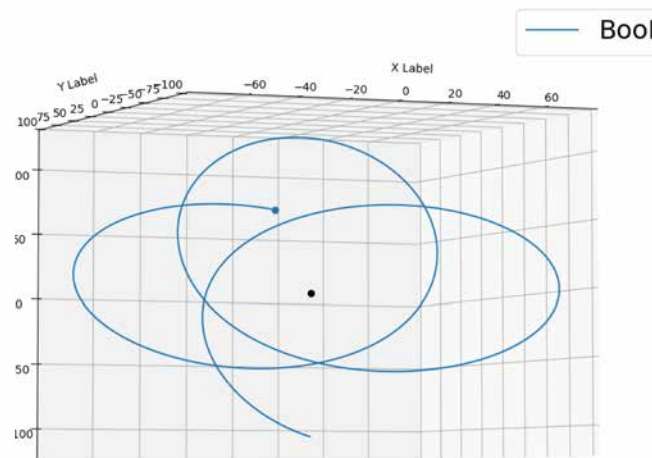
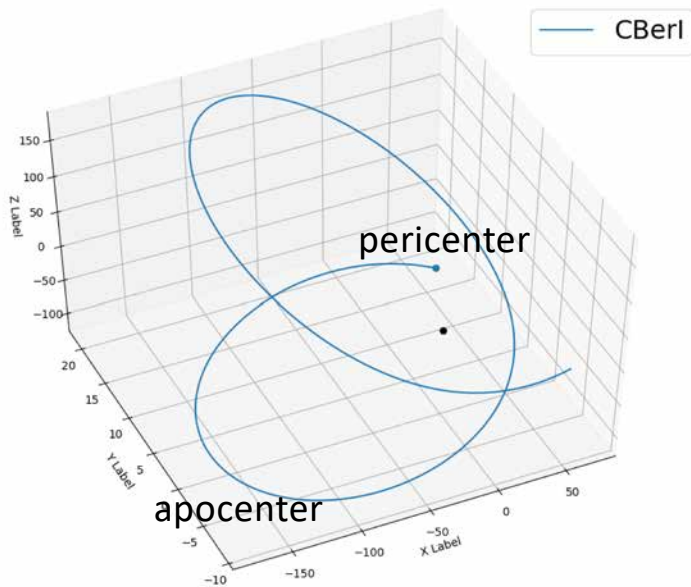


Gaia EDR3

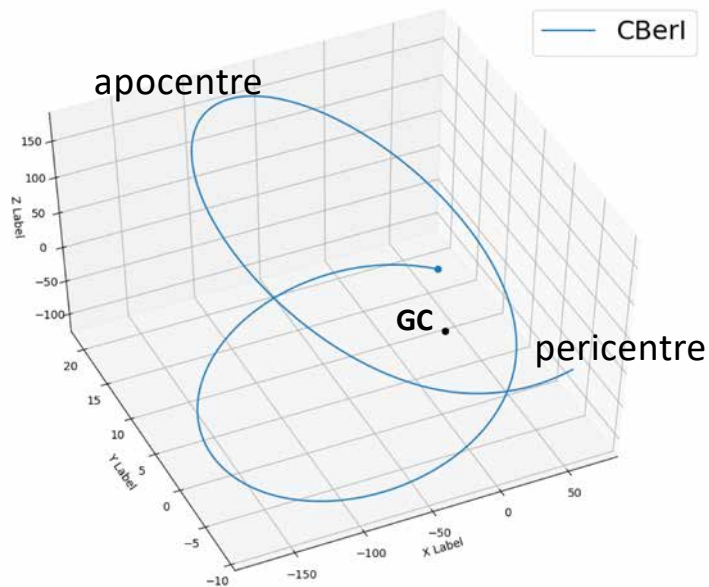


F. Hammer - galaxies naines et courbe de rotation de la Galaxie

Cependant la Galaxie a une masse étendue

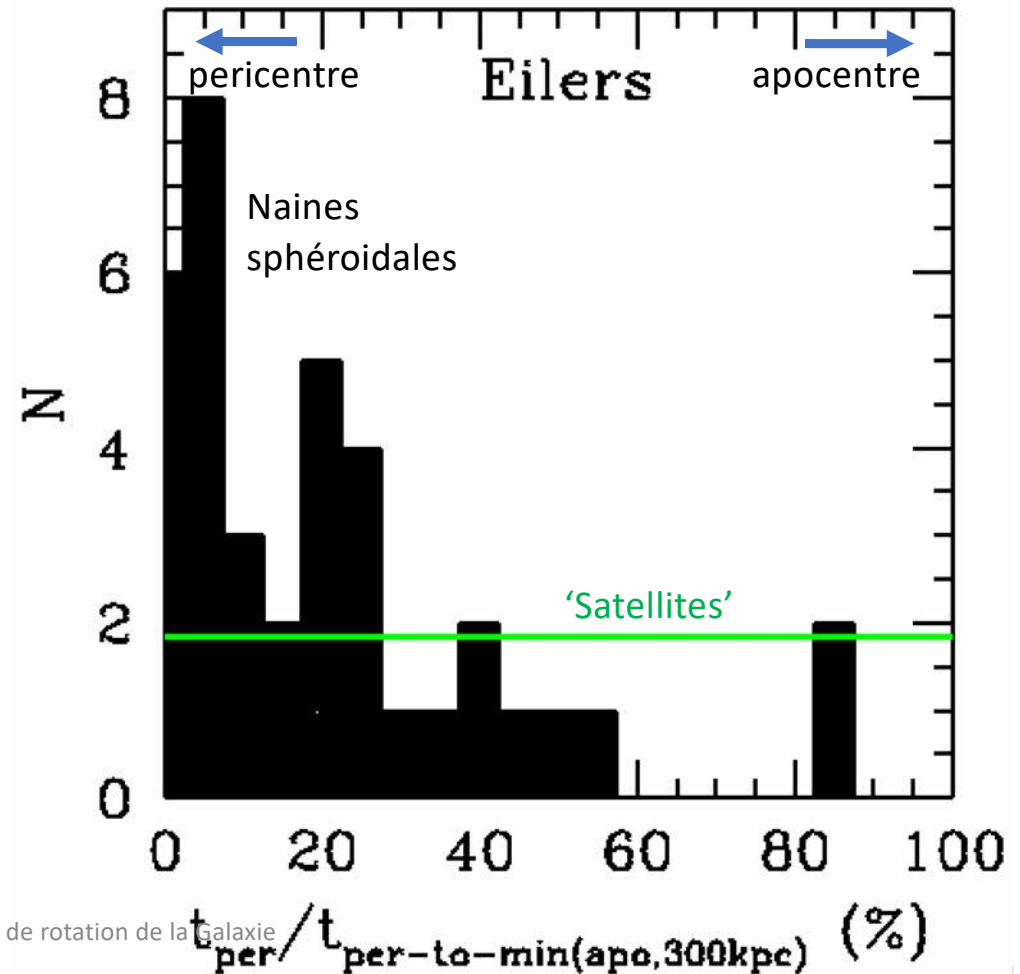


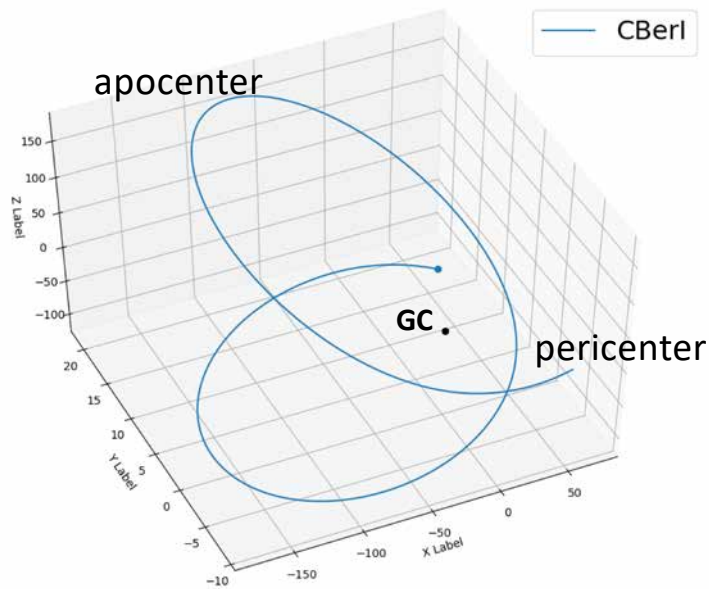
- Et les orbites sont des “rosettes” plutôt que des ellipses
- Calculs fait avec le modèle d'Eilers et al. (2019), utilisant ‘galpy’ (Bovy 2015)



- 2 échantillons sont comparés: (1) des 'satellites' virtuels de la Galaxie, (2) les galaxies naines observées;
- La fraction du temps orbital passé à quitter ou à rejoindre le péricentre nous donne la probabilité de la position de la galaxie naine sur son orbite;
- On applique aussi une limite de détectabilité pour éviter les biais causés par la difficulté de détecter les plus petites au delà de 300 kpc (Simon, 2019; Drlica-Wagner et al. 2020).

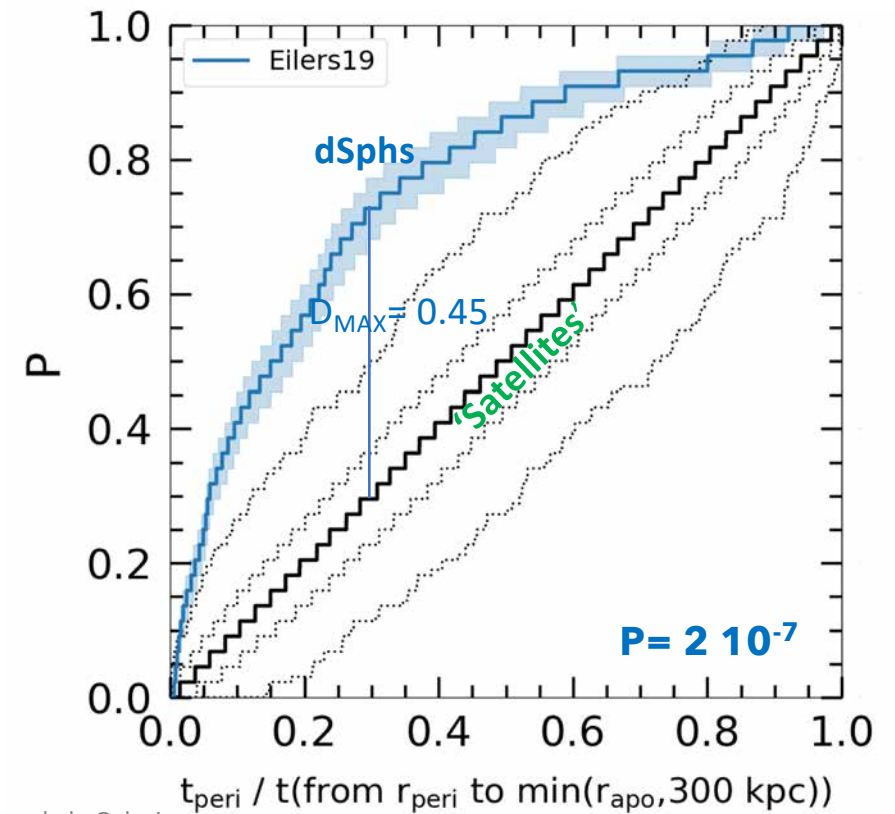
MW mass model from Eilers et al. 2019
(very similar to Bovy, 2015)





- 2 échantillons sont comparés: (1) des 'satellites' virtuels de la Galaxie, (2) les galaxies naines observées;
- La fraction du temps orbital passé à quitter ou à rejoindre le péricentre nous donne la probabilité de la position de la galaxie naine sur son orbite;
- On applique aussi une limite de détectabilité pour éviter les biais causés par la difficulté de détecter les plus petites au delà de 300 kpc (Simon, 2019; Drlica-Wagner et al. 2020).

Test statistique de Kolmogorov-Smirnov sur la distribution cumulée



Les résultats Gaia DR2 sur la nature des galaxies naines (dSphs):

- Les galaxies naines sont trop proches de leur pericentre;
- La probabilité que ce soient des **satellites** de la Galaxie, distribuées au hasard sur leur orbite, est de **$P = 2 \cdot 10^{-7}$** (Hammer et al. 2020);
- Ce ne sont pas des sous-halos orbitant autour de la Galaxie;
- Consistant avec un premier passage, comme les Nuages de Magellan (Kallivayalil et al. 2013);
- Compatible avec le scénario de chocs de marée (Hammer et al, 2018-20)?.

Les résultats GAIA DR2 :

- Compatible avec le scénario de chocs de marée (Hammer et al, 2018-20)?

Ces galaxies après avoir perdu leur gaz sont en déséquilibre à cause de leur passage au péricentre, ce qui expliquerait bien les grandes vitesses de leurs étoiles.

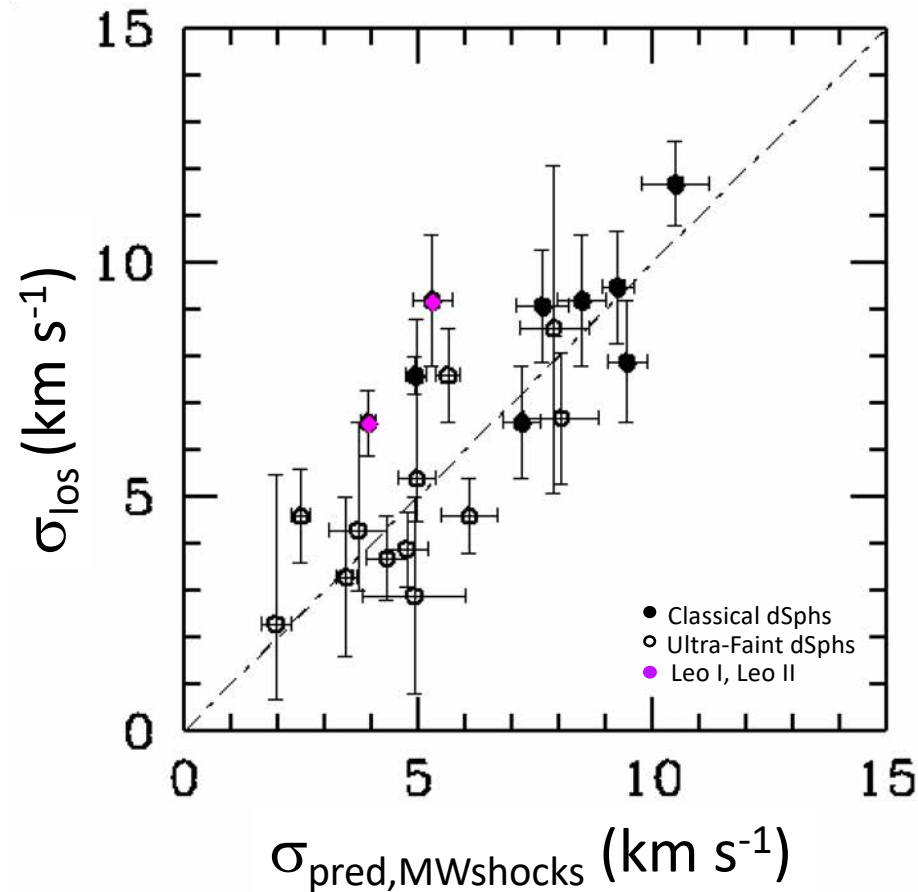
Voir: **Re-explication de la dynamique des galaxies naines situées au voisinage de la Voie lactée**

<https://www.youtube.com/watch?v=qy-EFXFJhQA> (FR)

<https://www.youtube.com/watch?v=m55iBXISYyE> (EN)

Les effets de chocs de marée du à la Galaxie expliquent bien les vitesses de dispersion (σ_{los}) des galaxies naines

Chocs de marée: le long de la direction du Centre Galactique
 \approx
Ligne de visée



MW mass model from Bovy 2015 or from Eilers et al. 2019

Scenario chocs de marée vs matière sombre

La mesure des vitesses de dispersion se fait le long de la ligne de visée:

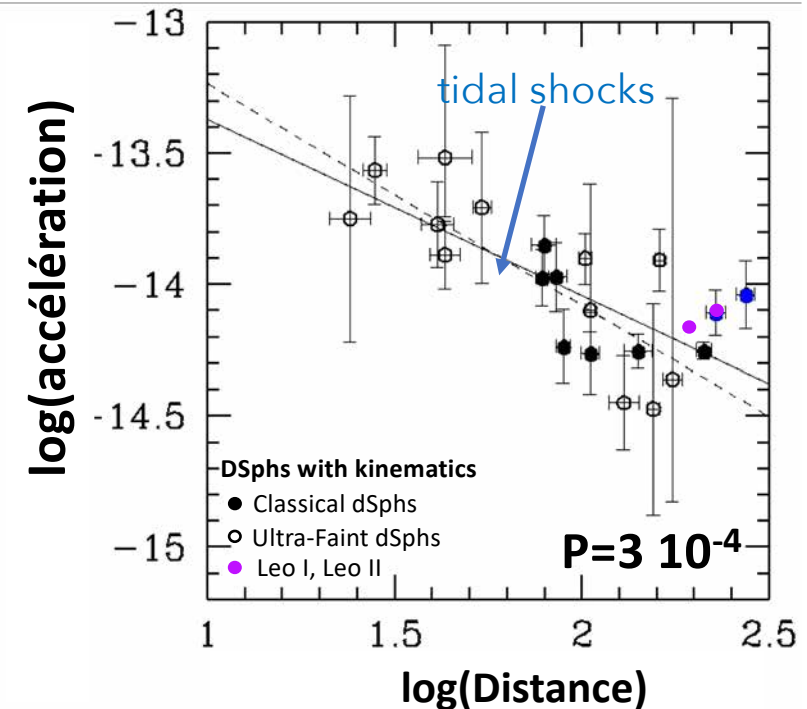
En fait ce que l'on mesure c'est l'accélération le long de la ligne de visée due soit aux chocs de marée (Hammer et al. 2020), soit à la matière sombre (Walker et al. 2009, Wolfe et al 2010).

Chocs de marée: **dépendent** de la distance à la Galaxie

$$\rightarrow \text{accélération}_{\text{shocks}} = (\sigma_{\text{los}}^2 - \sigma_{\text{stars}}^2) / r_{\text{half}} = 2\sqrt{2} \times f_{\text{shocks}} \times a_{\text{MW}}$$

Matière sombre: **ne dépend pas** de la distance à la Galaxie

$$\rightarrow \text{accélération}_{\text{DM}} = (\sigma_{\text{los}}^2 - \sigma_{\text{stars}}^2) / r_{\text{half}}$$



Les révolutions Gaia DR2

Les mouvements en 3D dévoilent les orbites et ainsi la présence, l'impact ou l'absence de matière sombre

- Les galaxies naines de la Voie Lactée sont trop proches de leurs pericentre: ce ne sont pas des satellites en rotation autour de la Galaxie depuis plusieurs milliards d'années (**$P=2 \cdot 10^{-7}$**).
- La courbe de rotation de la Galaxie est déclinante ce qui favorise des masses totales plutôt faibles.
- Les vitesses de dispersions (σ_{los}) des galaxies naines s'expliquent mieux par des chocs de marée du au passage près du péricentre: l'anti-correlation entre l'accélération $a_{DM} = GM_{DM}/r_{half}^2$ et la distance (**$P=3 \cdot 10^{-4}$**) ne peut être reproduite par des naines dominées par la matière sombre.
- Gaia EDR3: vérification ou infirmation de la présence ou non de matière sombre dans les galaxies naines locales / meilleure estimation de la courbe de rotation à 20-25 kpc.

Gaia EDR3

F. Hammer - galaxies naines et courbe de rotation de la Galaxie

