

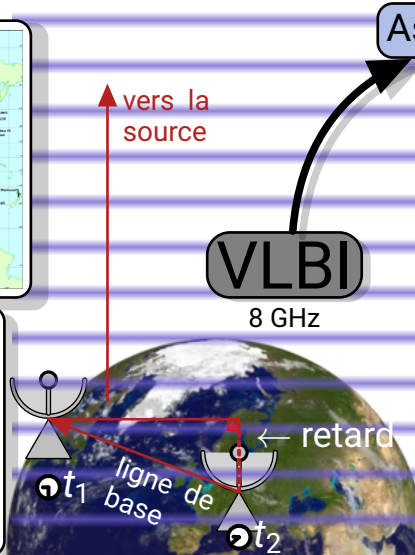
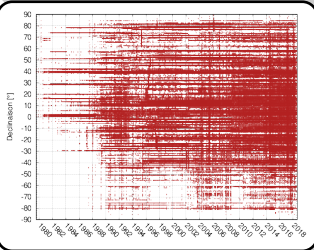
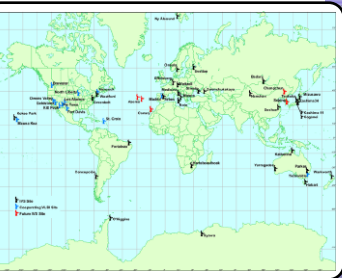
Caractérisation de la position des sources extragalactiques qui définissent le repère céleste

Gattano César, Charlot Patrick

Laboratoire d'astrophysique de Bordeaux, Univ. Bordeaux, CNRS, B18N, allée Geoffroy
Saint-Hilaire, 33615 Pessac, France.

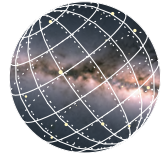
Interférométrie radio à très longue base

Réseau et observations :

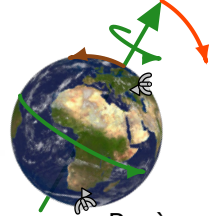


Astrogéodésie

Repère céleste



Rotation de la Terre



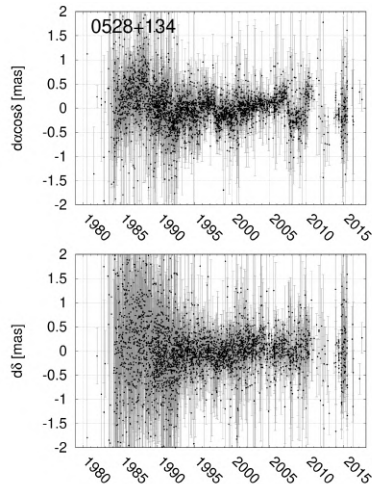
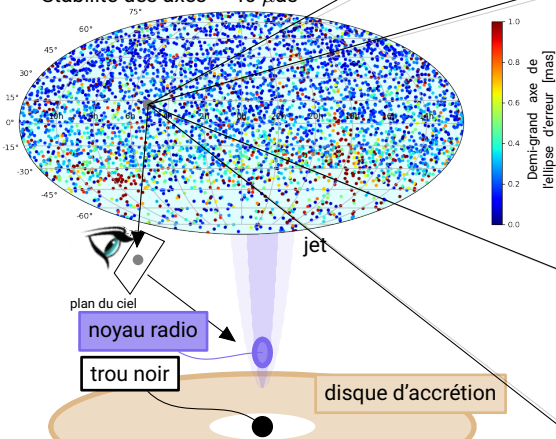
Repère terrestre

La réalisation du repère céleste

État de l'art : ICRF3 (4536 sources)

Charlot et al. (2019) → voir poster

- Sources de définition : 303
- Incertitude minimale $\sim 30 \mu\text{as}$
- Stabilité des axes $\sim 10 \mu\text{as}$



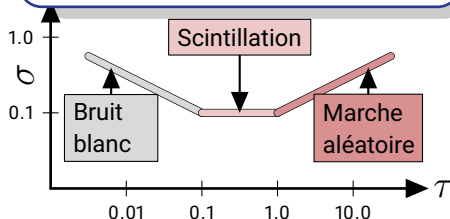
→ Fig. – Écart à la position moyenne de la source 0528+134.

La variance d'Allan pour caractériser la stabilité d'un signal

Estimateur de la variance d'Allan [Allan, 1966]

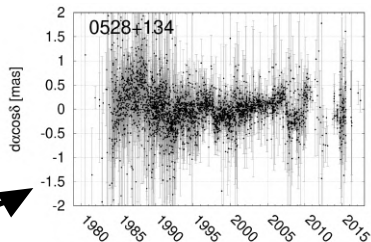
$$\sigma^2(t, \tau) = \frac{\sum_k^{1/2} (\bar{y}_k - \bar{y}_{k+1})^2}{N}$$

où t est le début d'observation, τ est la période séparant deux mesures et N leur nombre.

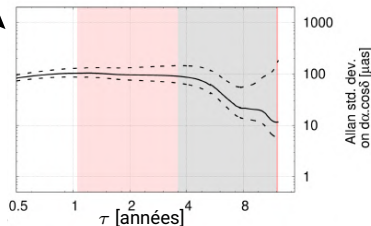


pente du diagramme

Bruit rouge = Marche aléatoire	0.5
Bruit rose = Bruit de scintillation	0
Bruit blanc	-0.5



→ Fig. – Écarts horizontaux à la position moyenne de la source 0528+134.



→ Fig. – Diagramme de l'écart-type d'Allan correspondant

Classification des sources [Gattano et al., 2018]

Principe de la classification :

AV0 Ces sources ne présentent **pas de phase instable** dans leurs diagrammes d'écart-types d'Allan



phase instable = écart-type d'Allan croissant avec l'échelle de temps

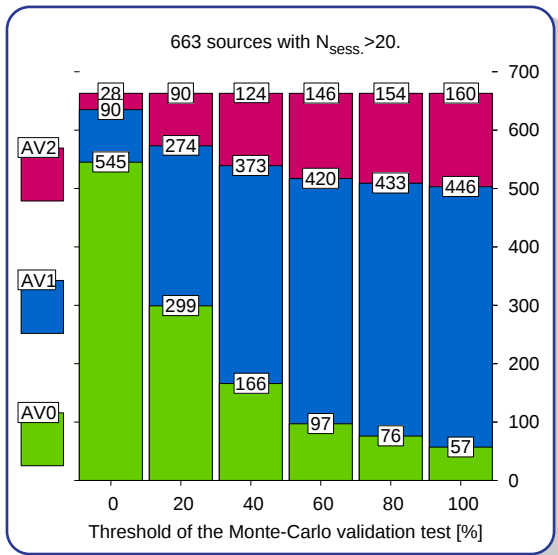
AV1 Ces sources ne présentent **pas de phase instable aux plus longs termes** de leurs diagrammes

AV2 Ces sources présentent une **phase instable aux plus longs termes** de leurs écart-types d'Allan

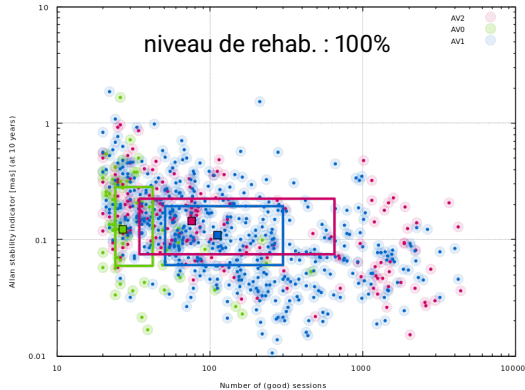
+ Principe de réhabilitation :

AV2 → **AV1** ou **AV0**

AV1 → **AV0**



Analyse des résultats [Gattano et al., 2018]



Les sources **AV0** (comportement stable) sont moins observées.

Le processus de réhabilitation :

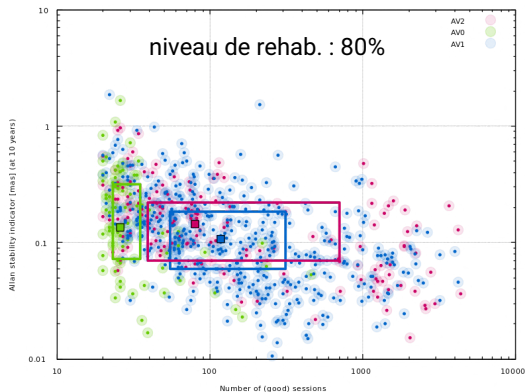
AV2 → **AV1** ou **AV0**

AV1 → **AV0**

ne supprime pas cette distinction.

Toutes les sources du repère de référence **seraient** ainsi **susceptibles de montrer des instabilités** en position à la précision de mesure du VLBI ($\sim 0.1 \text{ mas}$) lorsqu'on observe suffisamment longtemps.

Analyse des résultats [Gattano et al., 2018]



Les sources **AV0** (comportement stable) sont moins observées.

Le processus de réhabilitation :

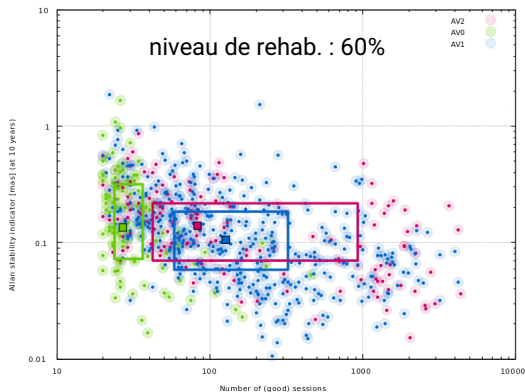
AV2 → **AV1** ou **AV0**

AV1 → **AV0**

ne supprime pas cette distinction.

Toutes les sources du repère de référence **seraient** ainsi **susceptibles de montrer des instabilités** en position à la précision de mesure du VLBI ($\sim 0.1 \text{ mas}$) lorsqu'on observe suffisamment longtemps.

Analyse des résultats [Gattano et al., 2018]



Les sources **AV0** (comportement stable) sont moins observées.

Le processus de réhabilitation :

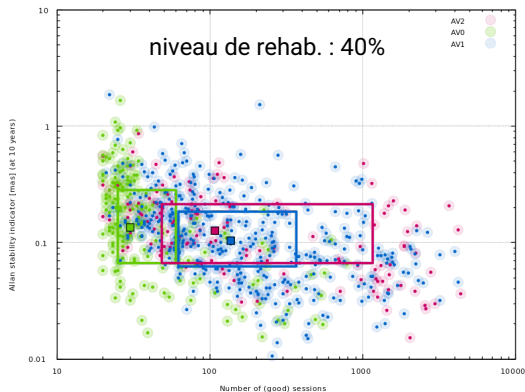
AV2 → **AV1** ou **AV0**

AV1 → **AV0**

ne supprime pas cette distinction.

Toutes les sources du repère de référence **seraient** ainsi **susceptibles de montrer des instabilités** en position à la précision de mesure du VLBI ($\sim 0.1 \text{ mas}$) lorsqu'on observe suffisamment longtemps.

Analyse des résultats [Gattano et al., 2018]



Les sources **AV0** (*comportement stable*) sont moins observées.

Le processus de réhabilitation :

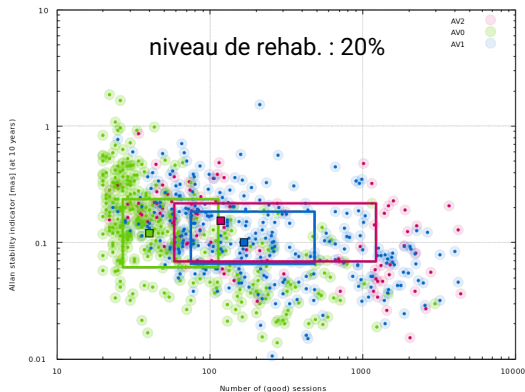
AV2 → **AV1** ou **AV0**

AV1 → **AV0**

ne supprime pas cette distinction.

Toutes les sources du repère de référence **seraient** ainsi **susceptibles de montrer des instabilités** en position à la précision de mesure du VLBI ($\sim 0.1 \text{ mas}$) lorsqu'on observe suffisamment longtemps.

Analyse des résultats [Gattano et al., 2018]



Les sources **AV0** (comportement stable) sont moins observées.

Le processus de réhabilitation :

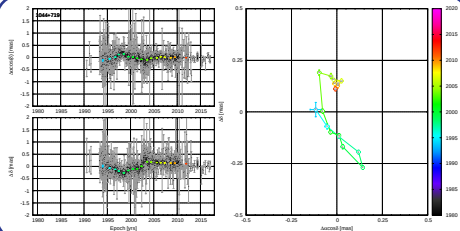
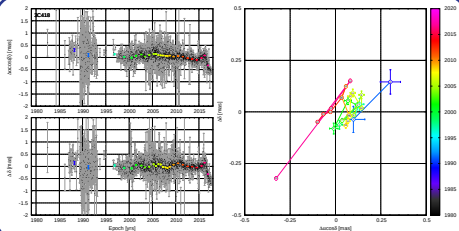
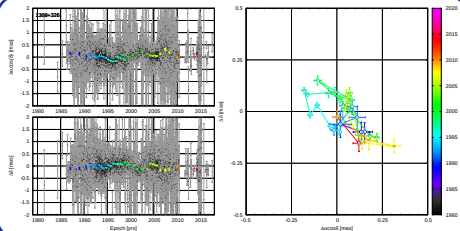
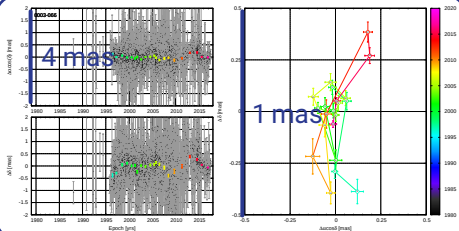
AV2 → **AV1** ou **AV0**

AV1 → **AV0**

ne supprime pas cette distinction.

Toutes les sources du repère de référence **seraient** ainsi **susceptibles de montrer des instabilités** en position à la précision de mesure du VLBI ($\sim 0.1 \text{ mas}$) lorsqu'on observe suffisamment longtemps.

Des directions privilégiées ?



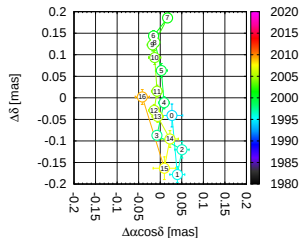
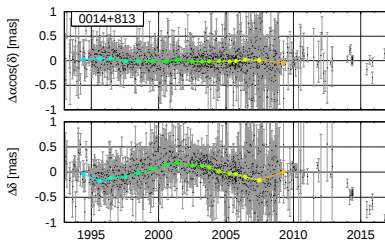
1) Réduction des séries de positions :

1 point

=

50-100 mesures

2) Conversion des points successifs sur le plan du ciel en vecteur (θ, ρ) .



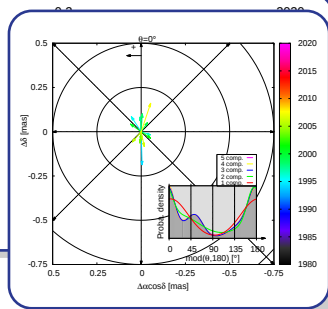
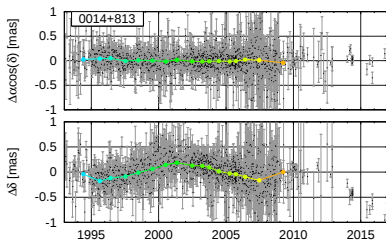
1) Réduction des séries de positions :

1 point

=

50-100 mesures

2) Conversion des points successifs sur le plan du ciel en **vecteur** (θ, ρ) .



À chaque vecteur est associée une fonction gaussienne dont :

- le centre est la valeur θ de la direction du vecteur
- la largeur est reliée à l'incertitude calculée σ_θ
- l'amplitude est le rapport entre la longueur ρ du vecteur et son incertitude calculée σ_ρ .

3) Calcul de la **fonction de probabilité** [PDF] sur la direction en sommant les fonctions gaussiennes.

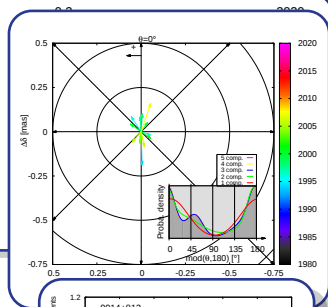
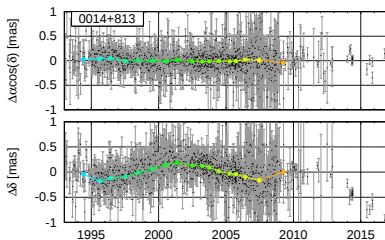
1) Réduction des séries de positions :

1 point

=

50-100 mesures

2) Conversion des points successifs sur le plan du ciel en vecteur (θ, ρ) .



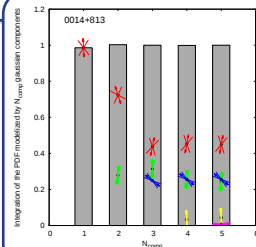
À chaque vecteur est associée une fonction gaussienne dont :

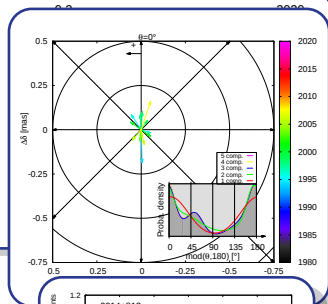
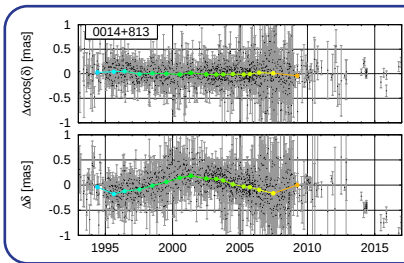
- le centre est la valeur θ de la direction du vecteur
- la largeur est reliée à l'incertitude calculée σ_θ
- l'amplitude est le rapport entre la longueur ρ du vecteur et son incertitude calculée σ_ρ .

3) Calcul de la **fonction de probabilité** [PDF] sur la direction en sommant les fonctions gaussiennes.

4) **Ajustement de 1-5 composantes gaussiennes** à partir de la PDF. Θ_i sont les directions privilégiées et σ_{Θ_i} , leurs incertitudes.

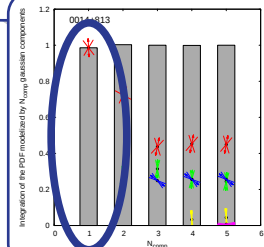
La pertinence du jeu de composantes ajustées est donnée par la proximité de l'intégrale de leur somme à 1.



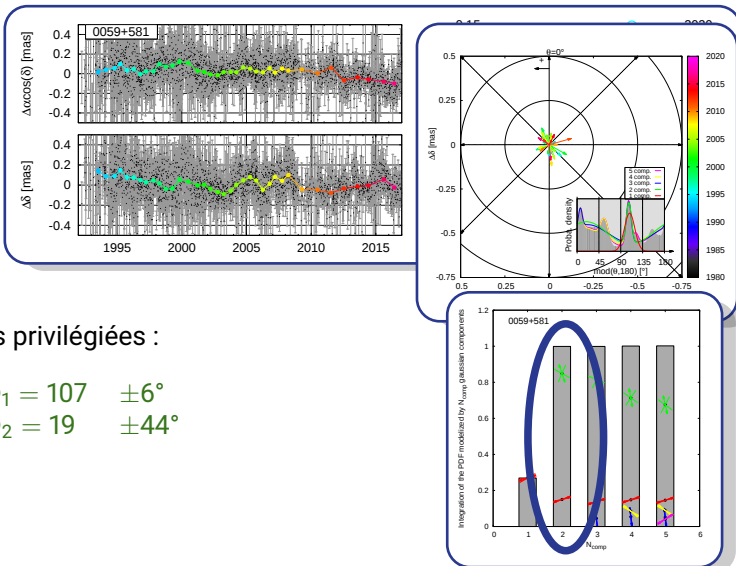


Exemple d'une source avec une seule direction privilégiée :

→ 0014+813 : $N = 1$, $\Theta_1 = 3 \pm 35^\circ$.

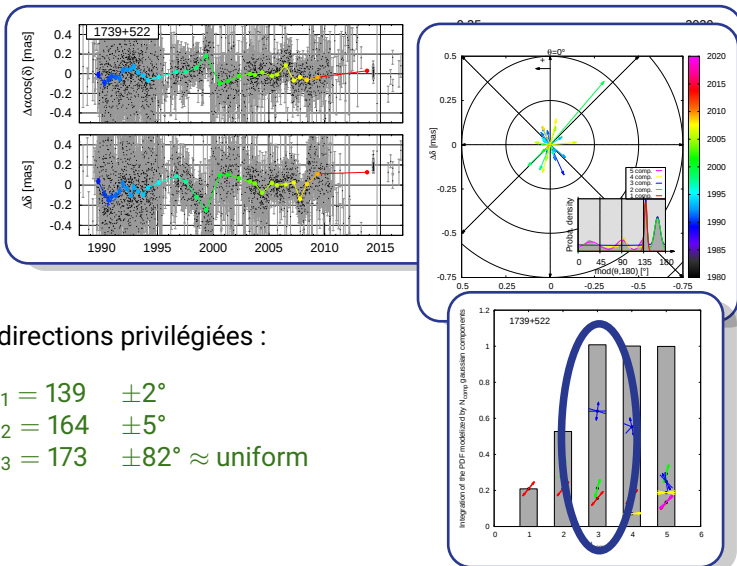


→ Autre exemple [Gattano and Charlot, en prep.]

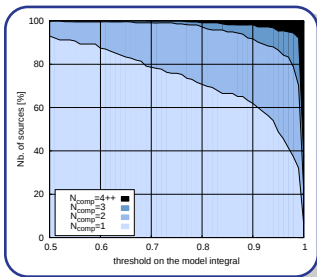


Cas à 2 directions privilégiées :

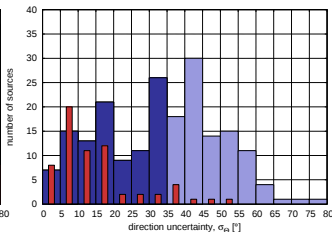
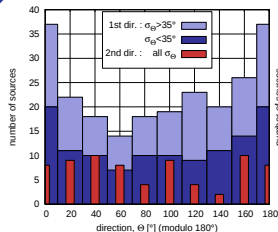
→ 0059+581 : $\Theta_1 = 107 \pm 6^\circ$
 $\Theta_2 = 19 \pm 44^\circ$



→ Résultat global [Gattano and Charlot, en prep.]

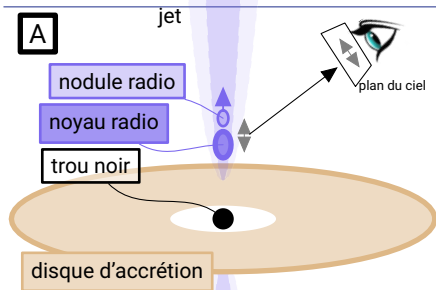


- La méthode permet d'**extraire des directions privilégiées pour une majorité** ($\sim 90\%$) des 215 sources étudiées.
- Les incertitudes des résultats sont comprises entre 10 et 80° pour les directions primaires, plus petites pour les directions secondaires.
- **Excès suivant l'axe de déclinaison** → Effet astrophysique improbable. Plutôt l'effet du réseau moins performant suivant l'axe nord-sud.



- Près de 30% des sources sujettent à **deux directions privilégiées**.

Vers l'astrophysique des NAG



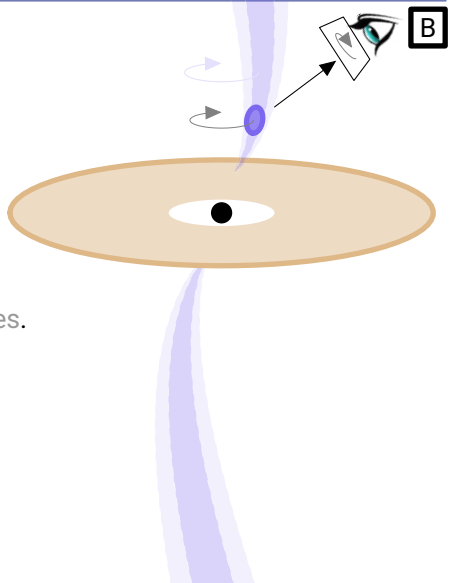
Noyau radio principal :

- **"core shift"** = position du noyau radio dépend de la fréquence d'observation.

Nodules radio (multiples) :

- stationnaires ou mobiles le long du jet.

Vers l'astrophysique des NAG



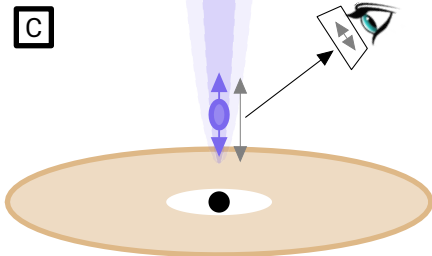
Mouvement du jet :

- mouvement de précession
→ le jet apparaît courbé sur les images.

Vers l'astrophysique des NAG

Instabilités de position du noyau radio dans le jet

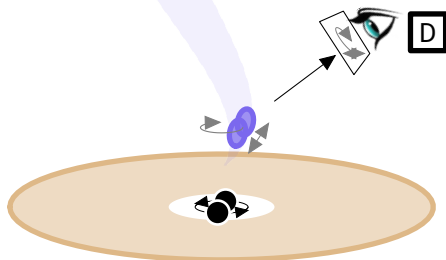
→ aux moments d'activités intenses du NAG ?



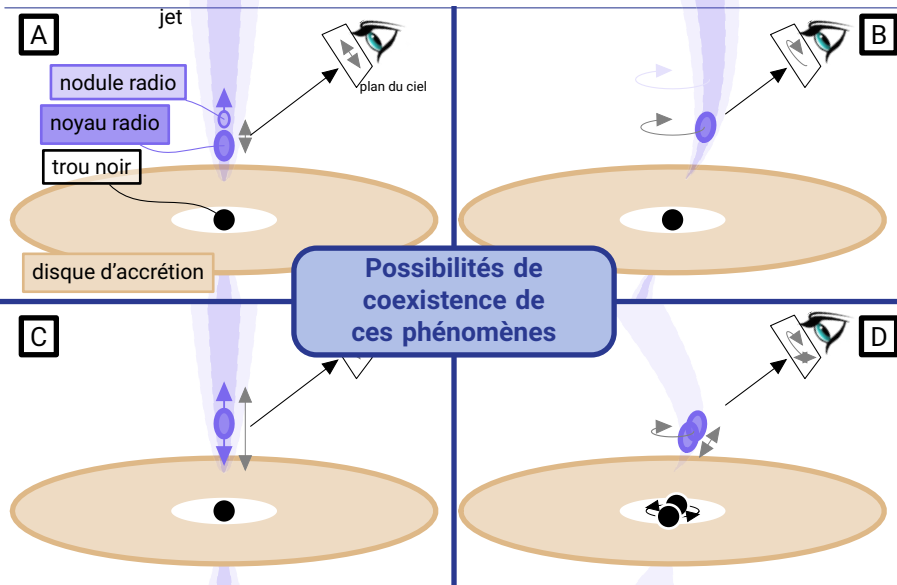
Vers l'astrophysique des NAG

Influence d'un système binaire de trous noirs supermassifs :

→ hypothèse développée à partir de l'évolution cosmologique impliquant la fusion de galaxies.



Vers l'astrophysique des NAG



Perspectives : Comparaison de données astrométriques et astrophysiques



Direction radio-optique

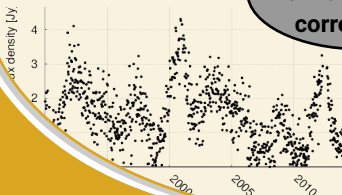
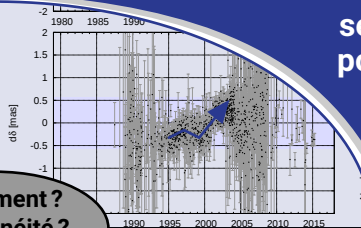
radio : VLBI (IVS)

optique : GAIA
(ESA)

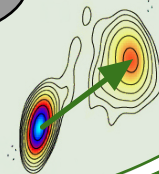


alignement ?
simultanéité ?
corrélation ?

Directions tirées des séries de positions



Courbes de lumière



Base de
données BVID

Direction tirée de la structure

Exemple d'apport de l'astrométrie

Roland et al. [in review] → Intégration d'un modèle de **système de trous noirs supermassifs** aux positions de composantes extraites d'images VLBI.
 → suggère un système de **3 trous noirs**.
 → Calcul du **barycentre des masses**.

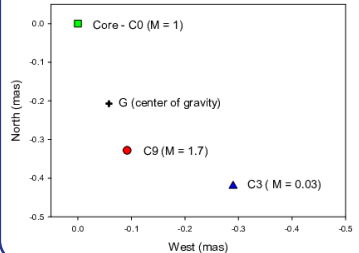
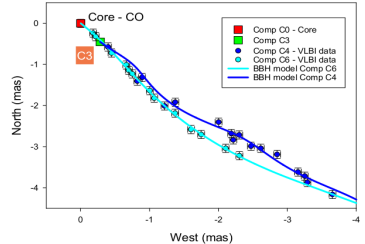
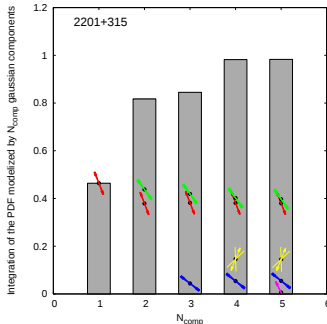
Astrométrie :

$$\Theta_1 = 22 \pm 3^\circ$$

sens de $\overrightarrow{C_0 C_9}$

$$\Theta_2 = 37 \pm 6^\circ$$

sens de $\overrightarrow{C_0 C_3}$
sens du jet



Merci de votre attention !

Bibliographie :

- D. W. Allan. Statistics of atomic frequency standards. *IEEE Proceedings*, 54 :221–230, February 1966. doi: 10.1109/PROC.1966.4634.
- C. Gattano and P. Charlot. On the directions of variation of agn astrometric position measured with geodetic vlbi. *Sera soumis à A&A*, en prep.
- C. Gattano, S. B. Lambert, and K. Le Bail. Extragalactic radio source stability and VLBI celestial reference frame : insights from the Allan standard deviation. *A&A*, 618 :A80, October 2018. doi: 10.1051/0004-6361/201833430.
- J. Roland, C. Gattano, S. Lambert, and F. Taris. A binary black hole system in 2201+315. *subm. A&A*, in review.