

## CINEMATIQUE DANS LE CŒUR DE M 87, Vers un Modèle Systémique

Bernard Lempel.

E-Mail : [Lempel.Bernard@wanadoo.fr](mailto:Lempel.Bernard@wanadoo.fr)

**Résumé.** L'image du jet de M87, obtenue au VLT (fig. 1), après traitement informatique (fig. 2), fait apparaître des phénomènes surprenants. Le jet émerge depuis et selon le plan d'un tore de plasma confiné par le champ magnétique fermé d'un Trou Noir central (TN). La structure qui apparaît ainsi, nous permet de formuler une hypothèse sur la cinématique en œuvre dans le noyau de cette galaxie. Les influences gravitationnelles et magnétiques d'un deuxième trou noir ( $E_1$ ), extraient et accélèrent le plasma du tore, le projettent vers  $E_1$  formant ainsi un jet collimaté. Nous abordons ainsi les interactions et la cinématique entre TN, le jet de plasma et  $E_1$ . Nous montrons comment et pourquoi  $E_1$  n'obéit pas aux lois Képlériennes, comment  $E_1$  est immobilisé dans l'espace, comment et pourquoi le jet est quasiment rectiligne sur plus de 5000 al de distance.

**Mots clés :** Galaxie / Trou Noir / Trou Noir de Kerr / Jet / M87 / Tore / Modèle Systémique

### *KINEMATICS IN THE M87 CORE - Toward a Systemic Model.*

**Abstract.** *The reprocessed picture of the M87 jet, gotten at the VLT makes appear some surprising phenomena. The jet emerges since and according to the plan of a plasma torus confined by the closed magnetic field of a central Kerr Black Hole (TN) The gravitational and magnetic influences of a second Black Hole ( $E_1$ ), extract and accelerate the plasma of the torus, throw it toward  $E_1$  and form thus a jet. We show here the interactions and the kinematics between TN, the plasma jet and  $E_1$ . We show how and why  $E_1$  doesn't obey to the Keplerian laws; how  $E_1$  is immobilized in the space; how and why the jet is nearly straight on a greater distance than 5000 years of light.*

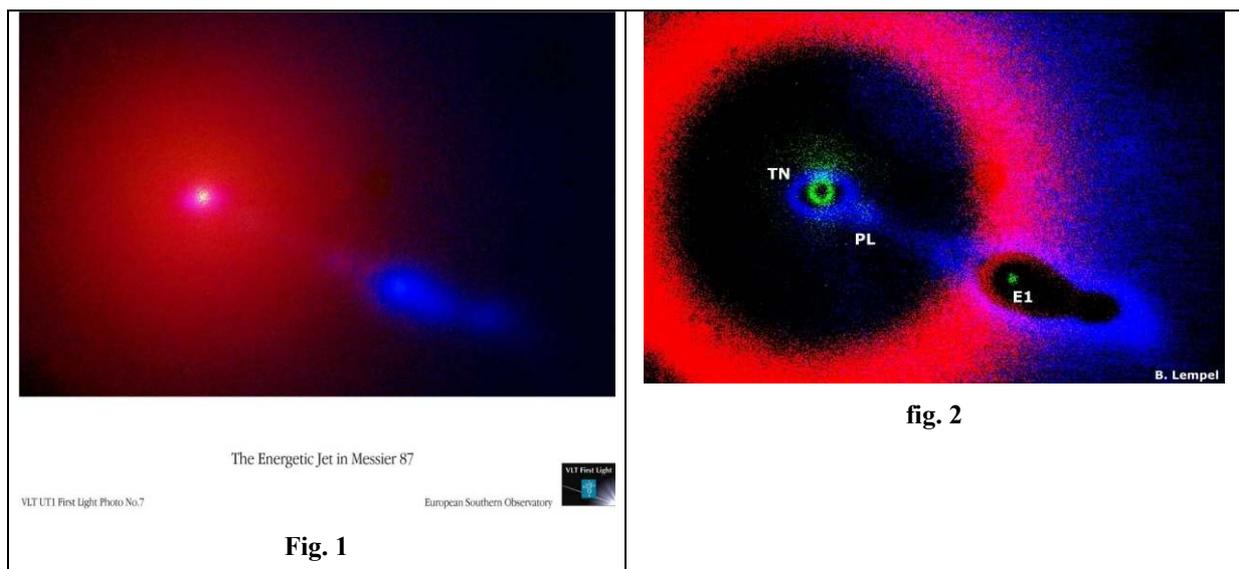
**Keywords:** Galaxy / Black Hole / Kerr Black Hole / Jet / M87 / Tore / Systemic Model

### INTRODUCTION

Les images de l'ESO sont disponibles sur le site <http://www.eso.org/outreach/info-events/ut1fl/astroim-galaxy-peculi.html>.

Celle de la galaxie M 87 (fig. 1), après traitement informatique (fig. 2), met en évidence que, dans son cœur existent:

- Deux objets massifs TN,  $E_1$ , (Ces objets pourraient être des Trous Noirs)
- Un jet de plasma, issu d'un tore confiné autour de TN, projeté vers puis au-delà de  $E_1$  et de son **bouclier magnétique**



Ces deux objets, TN et  $E_1$  sont, ou plutôt devraient être, soumis aux lois cinématiques établies par Kepler. Mais si tel était le cas, le jet de plasma qui, comme on le verra, jaillit sous l'effet de leurs influences, ne pourrait nous

apparaître rectiligne sur plus de 5000 AL. Il devrait se manifester, dans le plasma environnant, comme une onde de densité en forme de spirale. (Comme un jet d'eau projeté par un tourniquet). Or tel n'est pas le cas. Il faut donc en conclure, aussi surprenant que cela puisse paraître, que  $E_1$  est immobile dans l'espace. La fig. 3 montre un exemple de galaxie elliptique (IC 3382) présentant cet aspect. Toutefois rien ne prouve qu'il s'agisse, dans cet exemple, d'autre chose que d'une analogie trompeuse. Mais l'idée ne peut en être rejetée totalement.

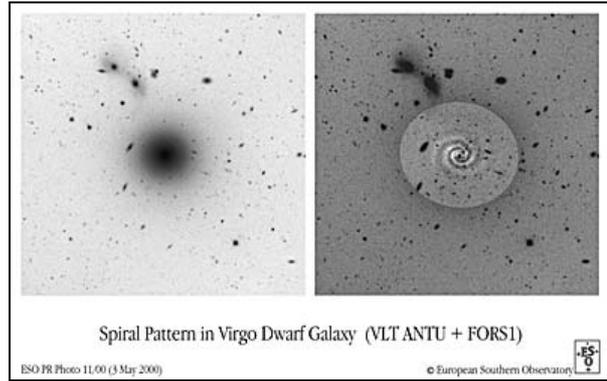


Fig. 3

## ANALYSE

### 1. Les Forces en présence :

- La gravitation
- Le jeu des pressions/dépressions exercées par le jet sur  $E_1$ . Ces forces peuvent-elles s'équilibrer au point d'immobiliser  $E_1$  ? Autrement dit,  $E_1$  peut-il, en quelque sorte, se comporter comme une balle de ping-pong au sommet d'un jet d'eau ?

### 2. Les effets parasites

Les quantités de matière présentes dans le cœur de la galaxie M87 sont si importantes qu'elles doivent induire des phénomènes de lentille gravitationnelle non négligeables. Il faut donc tenir compte d'un coefficient multiplicateur/diviseur dans tous les calculs de dimensions et de vitesses. Des mesures récentes réalisées par John Biretta et Al [2] donnent pour le jet, dans la région concernée, une vitesse de  $6c$ . Si l'on fait l'hypothèse qu'à la sortie du tore la vitesse est proche de 0, et qu'à l'impact sur  $E_1$ , elle est proche de  $C$ , une vitesse moyenne réelle de  $0,5c$  semble assez raisonnable. Nous appliquerons donc un coefficient correcteur de  $6 / 0,5 = 12$ .

Nous devons donc aussi corriger, en tenant compte de ce fait, toutes les évaluations de masses réalisées jusque là. Il faut aussi tenir compte que la masse n'est pas strictement localisée dans TN. Elle est répartie entre toutes les composantes du noyau. On a donc une délocalisation des effets gravitationnels entre TN,  $E_1$ ,  $E_2$ , les étoiles, le gaz, etc. Cette délocalisation ne change pas grand chose aux effets de lentille qui ne dépendent que de la masse totale.

#### • Calcul des dimensions

Pour évaluer les dimensions, j'utilise l'image double ci-contre, obtenue via le HST, par John Biretta et al. [2]

Je pars des hypothèses suivantes:

- Les distances ont été corrigées par les auteurs de l'effet de perspective.
- La première zone rouge, à gauche de l'image correspond à  $E_1$ . Sa quasi-immobilité spatio-temporelle justifie ce choix.

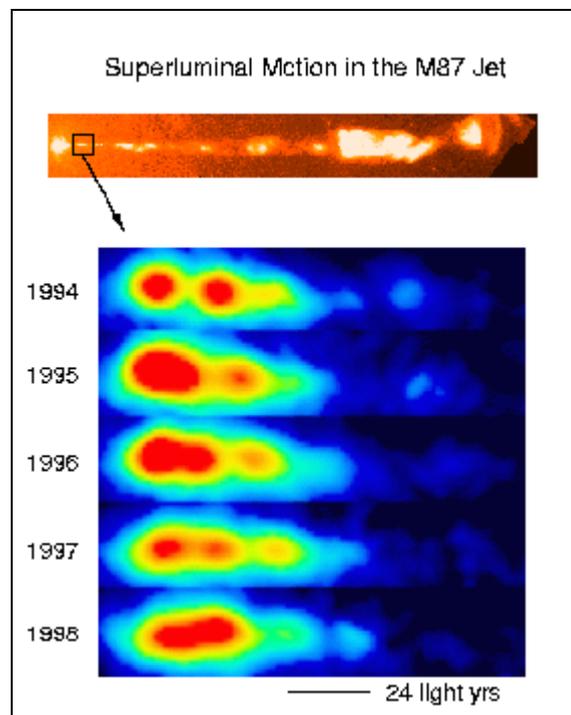
Il est légitime de penser que TN se trouve au centre de la zone circulaire blanche à gauche de l'image supérieure. Par report de l'échelle, d'une image à l'autre, la distance TN- $E_1$  peut facilement être évaluée. On trouve une distance apparente de l'ordre de **182 al**. Mais si l'on tient compte de l'effet de lentille gravitationnelle, la distance réelle est de :  $182 / 12 = 15$  al.

La distance entre le tore et  $E_1$  est alors de l'ordre de **12 al**  
Et le diamètre du bouclier magnétique de l'ordre de **3 al**.

#### • Evaluation des masses

Même si la masse globale de M87 n'a pas à être corrigée, Les masses des différents éléments tels que TN,  $E_1$ , le tore, le jet, les étoiles, et le gaz doivent être réexaminées à la lumière des dimensions du noyau qui ont été ainsi réduites. La masse du noyau avait été évaluée à environ

2,5 milliards de masses solaires. Certains indices, que l'on peut trouver en examinant attentivement la fig. 1 me font penser que la masse de TN par rapport à  $E_1$  serait de l'ordre de 4 à 1. Le jet présente un renflement lumineux (PL) entre le tore et  $E_1$ . Ce renflement semble correspondre au point de Lagrange, entre TN et  $E_1$ . Le rapport des distances permet de définir ce rapport. D'autres indices que nous analyserons dans un autre document



vont dans le même sens. Mais il s'agit d'un Point de Lagrange décalé par les effets des champs magnétiques de  $E_1$  et de TN. Un grossissement linéaire de 12 conduit à une surévaluation volumique de  $12^3$ , soit de **1700** environ. Cette surévaluation, qui ne s'applique qu'au noyau, induit si l'on n'y prend garde à une surévaluation des masses, surtout si l'on se base sur la luminosité ou sur les distances apparentes, pour faire cette évaluation. De ces considérations, les masses s'établissent approximativement ainsi :

**Masse globale du noyau :**  $2,5 \cdot 10^9 / 1700$  soit  $1,5 \cdot 10^6$  masses solaires.  
**Masse des éléments autres que TN et E1 :**  $0,5 \cdot 10^6$  masses solaires (évaluation très incertaine).  
**Masse de TN :**  $(1,5 \cdot 10^6 - 0,5 \cdot 10^6) \cdot 4/5 = 1 \cdot 10^6$  masses solaires.  
**Masse de  $E_1$  :**  $(1 \cdot 10^6 - 0,5 \cdot 10^6) \cdot 1/5 = 5 \cdot 10^5$  masses solaires.

### 3. Le Bouclier magnétique - L'effet de Voile Solaire

Si l'on ne devait considérer que la surface réelle de l'objet  $E_1$ , la force exercée par le jet serait très certainement insuffisante pour équilibrer la force de gravitation. Mais il semble au vu de l'image (fig. 1) que le bouclier magnétique soit de dimension considérable. Sa surface équivalente peut facilement être évaluée. Son diamètre est de l'ordre de **3 al**. Le vent de particules en venant "heurter" cette surface exerce une pression sans commune mesure avec ce qui se passe dans l'environnement magnétique de la terre. Les lignes de force du champ magnétique transmettent cette force à  $E_1$ .

Même si le rendement de ce que l'on peut assimiler à une voile solaire est mauvais, l'effet amplificateur n'est pas négligeable.

### 4. Détermination et évaluation des forces en présence

Si l'on considère que le jet est un gaz obéissant à la mécanique des fluides [4], et donc exerçant une force sur une sphère non élastique. Nous admettons que le champ magnétique est à l'équilibre, et donc qu'il est inélastique. Nous admettons aussi que, compte tenu des dimensions de la surface sur laquelle s'exerce la force du jet, l'on peut considérer ce dernier comme un jet de gaz et non pas comme un jet de particules.

Il existe essentiellement deux phénomènes à prendre en considération si l'on veut expliquer le piégeage de  $E_1$  par le jet.

- **L'effet Coanda**

C'est lui qui explique comment  $E_1$  est piégé dans l'axe du jet par les dépressions s'exerçant latéralement.

L'effet Coanda se manifeste par la déflexion d'un jet par un objet cylindrique interposé sur sa trajectoire. Il permet le maintien en "lévitation" d'une balle légère dans un jet qui n'arrive pas directement sous la balle. La sustentation n'est pas due à un effet de surpression du jet d'air mais à l'existence d'une dépression provenant de la courbure des lignes du courant d'air. Toute force latérale tendant à écarter la balle de l'axe du jet, génère donc une dépression à l'opposé qui ramène la balle dans l'axe du jet. Ce phénomène non seulement explique comment fonctionne une aile d'avion, mais aussi comment et pourquoi  $E_1$  reste piégé dans l'axe du jet de M 87.

- **Forces axiales**

Examinons maintenant la force exercée directement par le jet sur  $E_1$ , permettant d'équilibrer la force de gravité.

Si  $E_1$  est immobile, et en sustentation dans le jet, on est dans les conditions d'équilibre définies plus haut. Si l'on admet, à priori, que le jet est laminaire, que le coefficient de viscosité, compte tenu qu'il s'agit d'un jet relativiste n'est pas connu, et que  $E_1$  associé à son bouclier magnétique est aussi à l'équilibre et se comporte donc comme une sphère non élastique, alors on peut écrire, en utilisant la formule de **Stokes** et la formule de **Newton** :

$$6 \pi \eta R V = g \frac{M_0 \cdot M_1}{d^2} \quad (1)$$

L'indice de viscosité n'est malheureusement pas connu, de plus la formule de Stokes ne tient compte ni des effets relativistes, ni des effets liés aux interactions du jet avec les champs magnétiques, c'est à dire de la magnéto hydrodynamique.

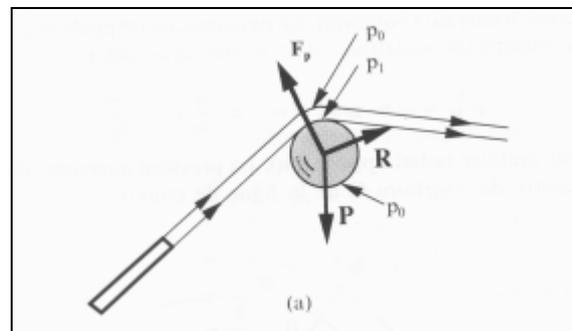


Image extraite de "Hydrodynamique -physique"  
E. Guyon et al (CNRS Editions et EDP-Sciences)

Comme le jet est physiquement un jet de particules relativistes. On écrira donc plutôt :

Soit N, le nombre de protons.

Et  $\beta = \sqrt{1 - (V^2 / C^2)}$  alors : 
$$\frac{M_p \cdot N \cdot V}{\beta} - g \frac{M_0 \cdot M_1}{d^2} = 0 \quad (2)$$

Le calcul montre qu'un "jet efficace" de protons relativiste de l'ordre de  $10^{-18} \text{ g/cm}^2/\text{sec}$  sur la surface du bouclier magnétique de  $E_1$  suffit pour réaliser les conditions d'équilibre. Cette notion d'efficacité doit tenir compte d'une notion de rendement qu'il est impossible d'évaluer pour le moment.

**5. La Dynamique - Le système asservi**

Si l'énergie du jet est largement suffisante pour piéger  $E_1$ . Maintenant il faut expliquer pourquoi  $E_1$  n'est pas tout simplement emporté au loin par le jet. Pour cela il faut considérer les hypothèses suivantes :

- TN est un objet massif en rotation relativiste. (Trou Noir de Kerr) Il se comporte donc comme une plate forme inertielle qui maintient indéfiniment son axe de rotation. C'est un gyroscope quasiment parfait.
- Le jet est généré par l'effet de marée dû à la présence de  $E_1$ . Il est ensuite accéléré par les actions conjointes de la gravitation et du champ magnétique de  $E_1$ . L'ensemble est un accélérateur de particules chargées (protons - électrons) autrement dit de l'Hydrogène...

Supposons que, pour une raison quelconque,  $E_1$  vienne à se rapprocher de TN. La quantité de matière issue du tore de plasma augmente en conséquence. La vitesse du jet augmente aussi car le champ magnétique de  $E_1$  se rapproche également. La pression exercée par le jet sur  $E_1$  augmente en proportion. En conséquence  $E_1$  s'éloigne. Réciproquement si  $E_1$  s'éloigne la pression du jet diminue en proportion. Et  $E_1$  se rapproche. Le système oscille. Ou plutôt, il est en relaxation.

Ces oscillations doivent générer une onde de gravitation de très longue période ( $\tau$ ). On doit aussi observer, surtout au-delà de  $E_1$ , des fluctuations périodiques de densité et de vitesse du jet égales à  $\tau$ .

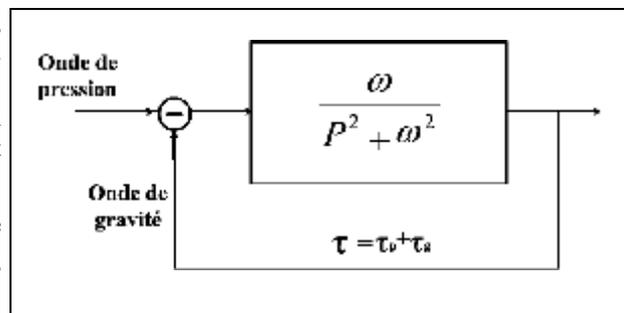
C'est un système asservi classique (Boucle de rétroaction négative). Les lois de ce genre de systèmes relèvent des fonctions de Laplace et du calcul opérationnel. [3]

Le tableau, ci-contre, montre quelques exemples de passage de l'un à l'autre (dictionnaire). Il suffit, bien souvent, de connaître le signal en sortie pour savoir quelles fonctions utiliser. Ainsi le fait de savoir que, dans le noyau de M 87,  $E_1$  a une oscillation à peu près sinusoïdale permet de connaître les modèles de fonctions à appliquer. Ici ça sera la fonction de la 4ème ligne. A cette fonction on lui adjoint le terme de "retard" dû au temps de propagation dans la boucle de rétroaction. L'analyse fréquentielle est ainsi possible et on pourra ainsi déterminer les critères de stabilité, les effets de perturbations extérieures, sans même avoir besoin de connaître avec précision la nature physique des objets contenus dans la boîte noire représentée ci-contre.

La mesure de la période des oscillations de la position de  $E_1$ , en sortie de la boîte, est une mesure directe et absolue du temps de propagation  $\tau$  de l'information.

Ce temps  $\tau$  est fonction des temps de propagation de l'onde de gravitation  $\tau_g$  et de l'onde de pression  $\tau_p$  dans le jet. En première approximation  $\tau \approx \tau_g + \tau_p$ .

$f(t)$		$\int f(t) = F(p)$
	$a \cdot u(t)$	$\frac{a}{p}$
	$a t \cdot u(t)$	$\frac{a}{p^2}$
	$e^{-at} \cdot u(t)$	$\frac{1}{p+a}$
	$\sin \omega t \cdot u(t)$	$\frac{\omega}{p^2 + \omega^2}$
	$\text{tg} \alpha \cdot (t-t_0) \cdot u(t-t_0)$	$\text{tg} \alpha \cdot \frac{1}{p^2} \cdot e^{-t_0 \cdot p}$



La transformée de Laplace, dans ce cas, est de la forme suivante :

$$\frac{\omega}{P^2 + \omega^2} \cdot e^{-\tau P} \quad (4)$$

Il se trouve que nous connaissons parfaitement la vitesse de propagation de l'onde de gravitation, que celle-ci correspond obligatoirement à la plus courte des demi alternances dans la période d'oscillation. Et donc l'on peut par la mesure de la durée de cette demi alternance particulière connaître avec précision la distance entre le tore et  $E_1$ , et par extension toutes les dimensions du noyau. On pourra ainsi déterminer avec précision le facteur de grossissement de la lentille dans le noyau, et, pour finir, connaissant la valeur angulaire apparente de l'observation, calculer, avec une précision jamais atteinte jusque là, la distance de M87. **Cette période est donc une mesure précise et quasi absolue des distances temporelles et spatiales entre TN, le tore et  $E_1$ .**

Je ne développerais pas davantage le modèle présenté ici. Comme on le verra, les données d'observations sont encore insuffisantes pour être plus précis. Et la mécanique des fluides relativistes (Plasmas) associée à des champs magnétiques ne semble pas être aujourd'hui une théorie complètement finalisée. [5]

## 6. LES OBSERVATIONS

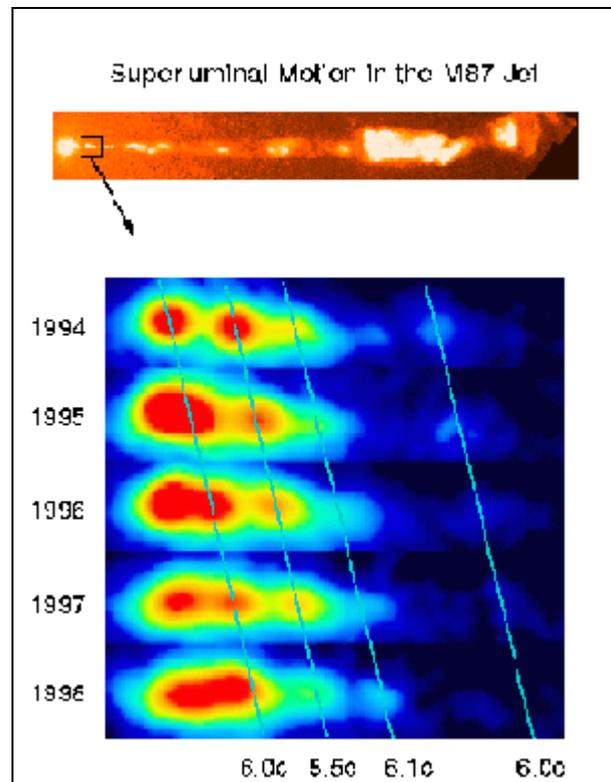
John Biretta et Al, ont réalisé, via le HST, entre 1994 et 1998, toute une série d'observations extrêmement intéressantes. (Voir, ci-contre, l'image extraite du site Web) Non pas tellement pour les résultats et les interprétations qu'ils en donnent, mais surtout pour les **informations complémentaires** que leurs images contiennent et qu'ils n'ont peut-être pas vues, mais que de toute façon ils n'ont pas interprétées. Ils ont mesuré la vitesse du jet, c'était leur but. Mais pour nous, ce n'est pas le point important, puisque de toute façon cette mesure de vitesse est une illusion d'optique, quelle que soit l'interprétation que l'on en donne. Observons ces informations supplémentaires:

- Le premier "nuage" du jet est presque immobile.
- Il existe une périodicité spatio-temporelle presque constante entre les nuages.
- Les lignes temporelles tracées par J. Biretta & al sont trop parfaites. Ce sont des lignes droites. Ces droites se justifient si on les considère comme des tracés moyens. Mais cela masque des variations faibles qui, dans le contexte, ont leur importance.

Ce sont ces variations faibles qu'il faut donc mettre en évidence. Je me suis donc livré à un travail de traitement sur l'image d'origine ce qui m'a permis de

Faire apparaître sur ces images des isophots et donc de déterminer les centres des nuages. Et ensuite de tracer au mieux les lignes spatio-temporelles réelles.

Source: <http://www.stsci.edu/ftp/science/m87/m87.html>.



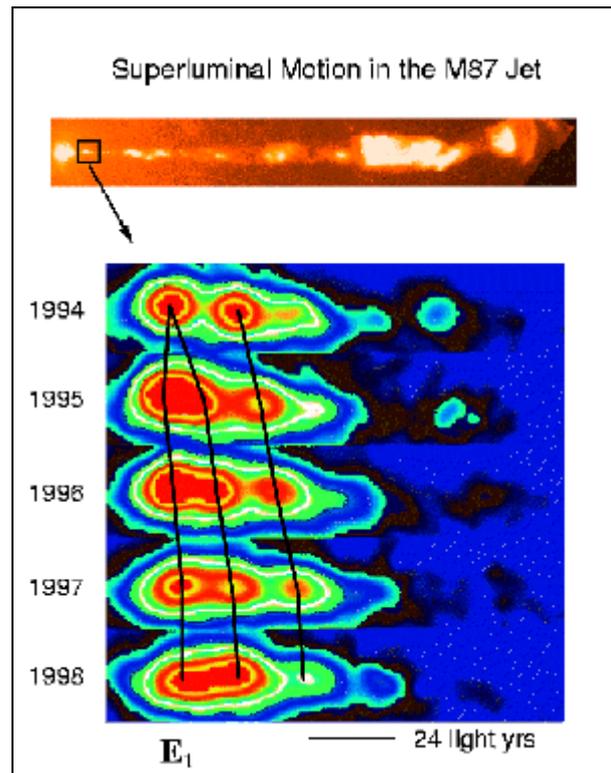
.Les faits suivants apparaissent maintenant clairement:

- Le premier "nuage" correspond à  $E_1$ .
- $E_1$  n'est pas strictement fixe. Sa position fluctue. Il apparaît une portion de courbe approximativement sinusoïdale. Malheureusement le nombre d'échantillons est encore insuffisant pour la voir en entier. Toutefois ce que l'on en voit déjà semble correspondre approximativement à une variation comprise entre 1/4 et 1/2 de la longueur d'onde. Cette longueur d'onde  $\tau$  est donc comprise entre :  $2 \times (1998 - 1994)$  soit **8 ans** et  $4 \times (1998 - 1994)$  soit **16 ans**. On choisira donc  $\tau = 12 \pm 4$  ans
- L'écart, hors corrections, entre les lignes spatio-temporelles tracées est de l'ordre de 18 al.
- On peut remarquer que les vitesses des "nuages" sont affectées de la même variabilité de  $\tau$ , mais avec un déphasage par rapport à la variation de position de  $E_1$ . Ce qui, somme toute, est normal.

La valeur moyenne de 16 a.l. correspond au temps (retard) de la boucle d'asservissement.

C'est le temps qui correspond à la **somme des temps de propagations de l'onde de gravitation et de l'onde de densité du gaz dans le jet entre le tore et  $E_1$** .

Notons et insistons sur le fait qu'aujourd'hui il est difficile d'être précis, compte tenu du manque d'échantillons de cette mesure. La période de **12 ans** ainsi déterminée n'est donc, pour le moment, qu'un ordre de grandeur. Remarquons que **l'amplitude de l'oscillation de  $E_1$  est de l'ordre de 0,5 al**. C'est considérable.



## 7. CONCLUSIONS

Si l'on admet l'hypothèse de la dynamique du jet présentée ici, et en attendant de disposer de mesures complètes de la période d'oscillation de  $E_1$ , et de pouvoir mesurer la demi alternance la plus courte, correspondant à la propagation de l'onde de gravitation, on peut déjà affirmer, si l'on admet l'hypothèse présentée ici, que,

- Si pour la matière constitutive du jet, l'on admet une vitesse moyenne réelle, entre le tore et  $E_1$  de l'ordre de  $0,5c$ , alors la distance réelle séparant ces deux objets est égale ou inférieure à  $0,5 \times 16$  a.l. Soit **8 a.l.**
- La distance entre TN et  $E_1$  est donc égale ou inférieure à **10 a.l.**
- Le **coefficient de grossissement réel** est donc de l'ordre de **182/10** soit **18,2**. C'est une chose qu'il faudra expliquer. Cela semble excessif car c'est assez loin de la valeur de 12 calculée de manière empirique au début de cette note. Il semble difficile d'expliquer cela uniquement par un effet de lentille gravitationnelle seul. Peut-être faut-il envisager un effet de lentille optique par effet Kerr dans une sphère de gaz à gradient d'indice de réfraction ? Mais n'oublions pas que les mesures dont on dispose sont encore insuffisantes.
- Il faut donc faire tous les calculs en tenant compte de ce facteur de grossissement. Le fait que les distances dans le cœur de M87 soient plus faibles, ne peut globalement rien changer. Seule l'efficacité du système d'asservissement en sera améliorée. Augmentation du champ de gravitation, augmentation de la densité du jet.
- Le système génère une onde de gravitation dont l'amplitude est de l'ordre de 0,5 al et la longueur d'onde de l'ordre de 16 al .
- Nous avons désormais de bonnes raisons de penser que le cœur de galaxie M 87 est un **système auto régulé** lié à l'asservissement de position de  $E_1$  par l'intermédiaire du jet.
- Nous disposons ainsi d'une nouvelle méthode de mesure des dimensions et des distances dans une galaxie. Elle a certes besoin d'être validée. Mais potentiellement **elle est rigoureuse car basée sur une mesure de période**. Elle ne dépend pas de l'angle du jet par rapport à l'axe de visée. Elle ne dépend pas de la distance de l'observateur. Elle ne dépend pas du red-shift. Sa précision ne dépend que du nombre d'échantillons de la mesure.

- On peut remarquer que cette période dépend aussi de la quantité de matière éjectée par le tore et donc de la quantité de matière en accréation vers TN. La mesure des variations de cette période est donc un indicateur fiable de l'activité mécanique du système.
- Ajoutons pour terminer que si l'on extrapole à notre propre galaxie l'existence de ce genre d'onde de gravitation, une question raisonnable est de se poser la question suivante: "Quels en seraient les effets sur notre système solaire, et sur le soleil en particulier ?" Et si justement c'était le cas. Et si justement le cycle de 2 fois 11 ans n'en était que la manifestation la plus spectaculaire. Et donc que les ondes de gravitation avaient déjà été détectées sans que l'on sache qu'il s'agissait de cela ! Un calcul trivial permet de vérifier que cette hypothèse est loin d'être folle. Avec la permission du lecteur je nommerais ce phénomène avec l'acronyme **GGG**, pour Grand Gong Galactique. (On a bien le droit de s'amuser un peu).

## 8. BIBLIOGRAPHIE

[2] J. Biretta, Sparks, & Macchetto "Superluminal Motion in M87 Jet", Apj, 520, 621

[3] R. Prudhomme (professeur au CNAM) "La Construction des Machines Automatiques" 1964 -Gauthier-Villars Editeur, Collection Information et Cybernétique - Paris.

[4] E. Guyon, J.P. Hulin, L. Petit "Hydrodynamique - Physique" - CNRS Editions.

[5] J.L. Delcroix, A. Bers "Physique des plasmas 1 et 2" - CNRS Editions