



Fig. 1 ESO (VLT - 10/11/1999)

**Bernard Lempel**

Société Astronomique de France

## Le Pulsar du Crabe,

## Faits et Contradictions

*En Septembre 2003, dans L'Astronomie, était publié sous le titre **Jets et Systèmes binaires – traitement d'images**, un article montrant que le pulsar du crabe est probablement constitué d'un système double: une étoile fixe et un pulsar, que ceux-ci seraient reliés par un pont lumineux périodique synchrone du pulsar et, que, par ailleurs, ce pont serait prolongé, au-delà du pulsar, par un jet.*

*Nous essaierons ici de vérifier que la périodicité du pont lumineux n'est pas un artefact. Nous examinerons ensuite les contradictions de dimensions qui résultent de ces observations pour le moins étranges, et nous tenterons de les résoudre en proposant quelques hypothèses.*

*Notons que dans ce qui suit, nous ne faisons aucun traitement d'images.*

### 1. Quelques rappels et quelques faits :

Le 20 Octobre 1999, Le **NOAO** publie un document remarquable (Fig. 2), réalisé à l'aide d'une Caméra à comptage de photons (**KPCA**<sup>1</sup>), qui montre une séquence de 33 images du pulsar du Crabe avec une résolution temporelle de 1 ms.

Un examen attentif montre les faits suivants :

- a) Le pulsar se manifeste sous la forme d'une **double impulsion lumineuse** dont la période globale est de 33 ms. La largeur de chaque impulsion étant de l'ordre de 3 à 4 ms.
- b) **Un pont lumineux, synchrone du pulsar**, apparaît entre l'étoile voisine du pulsar et le pulsar, et ceci **uniquement quand le pulsar est à l'état ON** (Allumé) (Fig. 3) et **jamais à l'état OFF** (Eteint). (Fig. 4)
- c) D'autres documents, permettent eux aussi, par un traitement d'image approprié<sup>2</sup>, de confirmer l'existence de ce pont. (Fig. 5) et aussi d'un jet (**J<sub>2</sub>**)<sup>3</sup> dans le prolongement du pulsar.

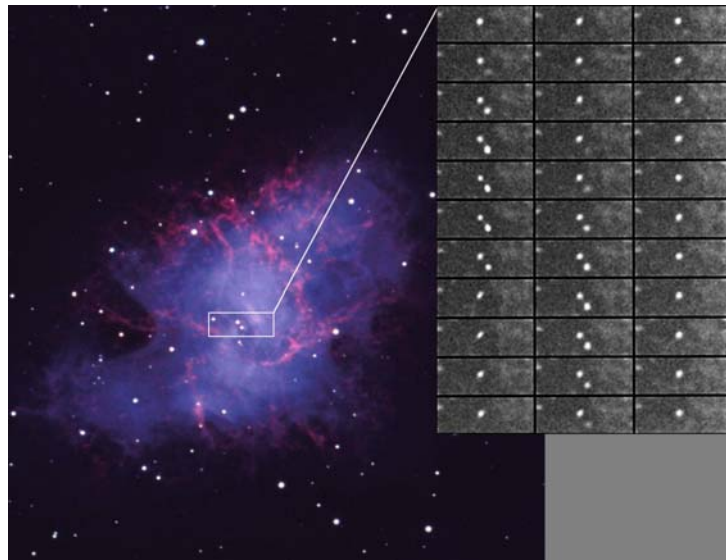


Fig. 2 La Nébuleuse et le Pulsar du Crabe

Source : [http://www.noao.edu/image\\_gallery/html/im0565.html](http://www.noao.edu/image_gallery/html/im0565.html)

<sup>1</sup> Millisecond Time Resolution with the Kitt Peak Photon-Counting Array – N.A. Sharp 1992 PASP 104:263-269

<sup>2</sup> Jets et Systèmes binaires – B. Lempel - L'Astronomie, Vol 117 – Sept 2003 pages 412 à 417.

<sup>3</sup> Les références: **J<sub>1</sub>**, **J<sub>2</sub>**, **J<sub>3</sub>** font allusion à la Fig.14 dans laquelle ces jets sont référencés.

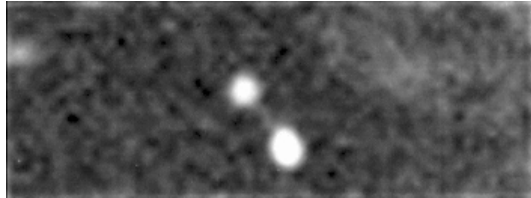
Ce fait pourrait s'expliquer par l'existence d'un bouclier magnétique, qui comme celui de la terre, dévie le flux de particules (pont) émises par l'étoile compagne

Dans la Fig. 2, les images de la séquence sont repérées en adoptant les règles suivantes:

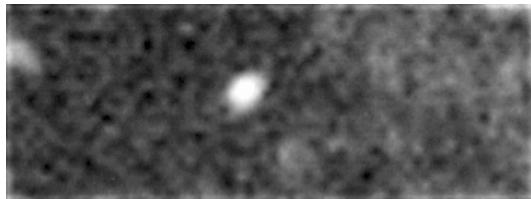
- De gauche à droite les colonnes **A, B, C**
- De haut en bas les lignes **0 à 10**

Notons que la séquence temporelle des images est  $A_{0,1,2} \dots B_{0,1,2} \dots C_{0,1,2} \dots$

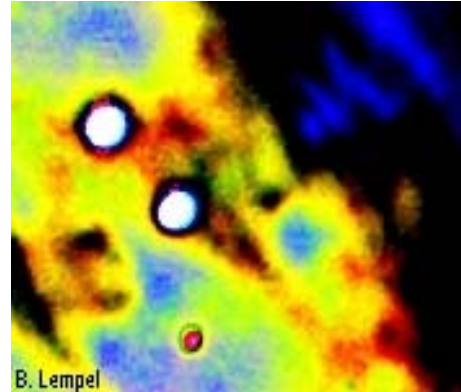
Dans cette séquence, le pulsar semble lié à l'étoile voisine par un "pont lumineux", et ceci uniquement à l'état ON du pulsar.



**Fig. 3 Pulsar état ON** pont lumineux présent



**Fig. 4 Pulsar état quasi OFF** pont lumineux absent.

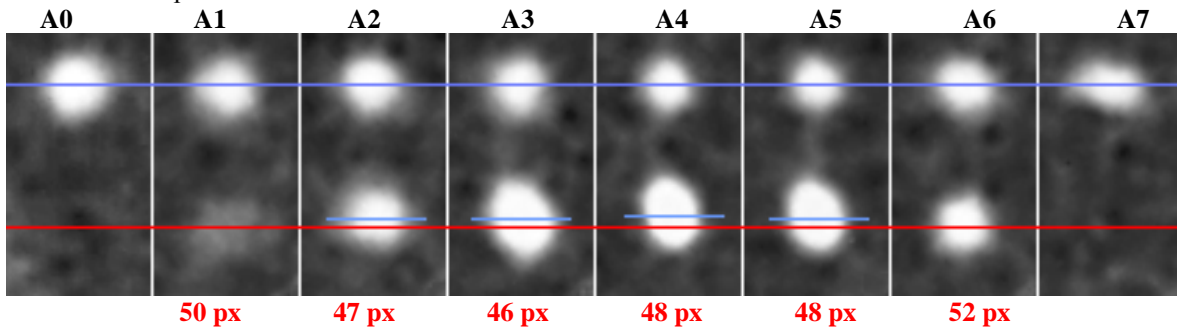


**Fig. 5 Pulsar, pont et jet** – (DP par B. Lempel)

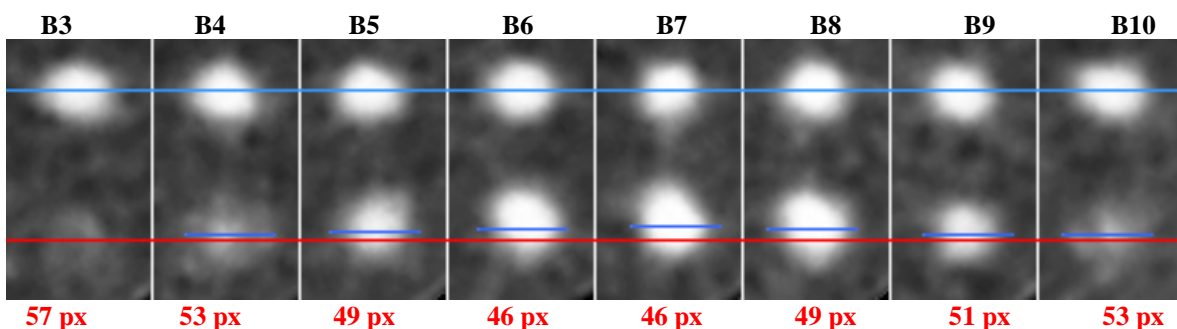
[http://perso.wanadoo.fr/lempel/pulsar\\_crab1\\_noao.jpg](http://perso.wanadoo.fr/lempel/pulsar_crab1_noao.jpg)  
[http://www.noao.edu/image\\_gallery/html/im0466.html](http://www.noao.edu/image_gallery/html/im0466.html)

## 2. Variation de distance entre l'étoile (E) et le pulsar (P)

Un fait nouveau, et non signalé dans la publication de Sept 2003, est que la distance entre l'étoile et le pulsar varie, sur les photographies faites avec le KPCA, de 46 à 57 pixels (px), soit d'environ 20 %, en synchronisme avec le pulsar. **La distance est minimale au maximum d'éclat.** (Fig. 6 et 7). Cette mesure est faite en comptant le nombre de pixels **séparant les centres des deux objets**. La précision de la mesure, sur les photographies, est de l'ordre de  $\pm 1$  px.



**Fig. 6** Dans cette première séquence la distance varie de 46 à 52 pixels. (Les images ont été réorientées)



**Fig. 7** Dans cette deuxième séquence la distance varie de 46 à 57 pixels. (Les images ont été réorientées)

En résumé, nous observons les faits suivants :

- Un pulsar dont la période est de 33 ms.
- Entre l'étoile et le pulsar, un pont lumineux périodique et synchrone du pulsar.
- La distance entre l'étoile et le pulsar varie de **20 %** en synchronisme avec la période du pulsar et avec le pont lumineux.

Peut-on accuser la turbulence atmosphérique terrestre d'être à l'origine du pont lumineux périodique et de cette variation périodique de distance ? Bien sur que non, car alors il n'y aurait pas de raison au synchronisme parfait de ces deux phénomènes avec la période du pulsar.

Peut-on accuser un effet de diffusion de la tache photographique ? Non car alors cette diffusion serait symétrique et l'on n'observerait pas de variations significatives de distance entre les centres des deux objets.

Ces réponses permettent de valider les observations b) et c) avec de très bonnes chances de vraisemblance.

### 3. Le pulsar et son environnement immédiat.

Le fragment de la photographie, (Fig. 8) a été extrait d'une image réalisée par l'ESO au VLT:

(<http://www.eso.org/outreach/press-rel/pr-2000/phot-04b-00-preview.jpg>).

Le pulsar est l'objet central. Au dessus du pulsar on a l'étoile compagne. En bas à gauche deux étoiles seraient, elles aussi reliées par un pont se prolongeant par un jet. (J<sub>3</sub>). L'environnement du pulsar apparaît extrêmement turbulent.

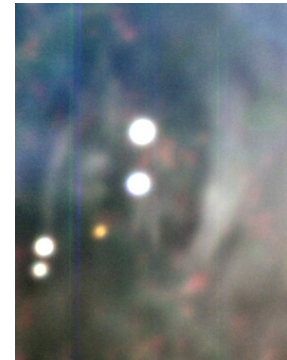


Fig. 8 Cœur du Crabe

### 4. Les problèmes de distances soulevés.

Quelle distance physique sépare l'étoile du pulsar ? On peut l'évaluer très simplement en se basant sur la taille de la nébuleuse du Crabe, en particulier sur son extension maximale qui est bien connue. Celle-ci est de 10 années de lumière. En faisant le rapport entre cette extension et la distance apparente "étoile pulsar" on obtient une distance de l'ordre de **0,13 années de lumière** (Fig. 9).

Evidemment c'est une distance minimale, car on ne connaît pas la valeur angulaire entre l'axe de visée et le plan dans lequel se trouvent les objets concernés. Et nous montrerons que ce n'est qu'une distance apparente.

Comment un pont lumineux (de matière ?) peut-il se propager sur 0,13 années de lumière en moins de 33 ms ? C'est bien entendu impossible compte tenu des lois de la physique qui imposent la vitesse limite c.

La distance compatible serait de:

$$d = c \cdot t = 3 \cdot 10^5 \times 33 \cdot 10^{-3} \leq 10.000 \text{ Km}$$

### 5. Mesure du Diamètre apparent du pulsar

Pouvons nous trouver un étalon de longueur plus précis que l'extension de la nébuleuse du Crabe ?

La largeur de l'impulsion émise par le pulsar dépend du temps de propagation du "pont lumineux" autour du pulsar. Il suffit donc de mesurer le temps de montée, ou encore le temps de descente de l'impulsion pour se faire une assez bonne idée du diamètre apparent du pulsar.

On peut le faire dans le visible, (Fig. 10), ou bien utiliser l'une des deux séquences (KPCA) des Fig. 6 ou Fig.7.

De l'image B03 à l'image B07 on a une montée en 4 images, donc en 4 ms.

De l'image B08 à l'image B10 on a une descente en 3 images, donc en 3 ms.

On adoptera la moyenne, soit 3,5 ms. Et en adoptant c comme vitesse de propagation, le diamètre apparent du pulsar serait :

$$\Phi = c \cdot t = 3 \cdot 10^5 \times 3,5 \cdot 10^{-3} \leq 1000 \text{ km [1]}$$

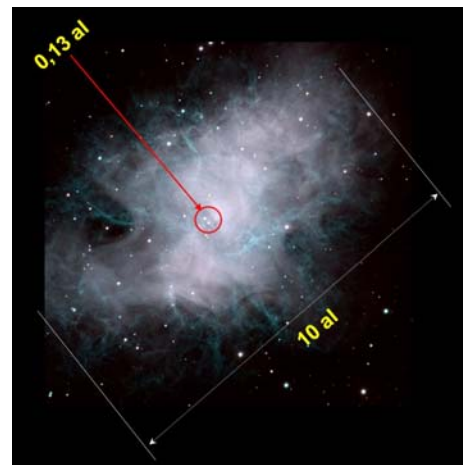


Fig. 9 Distances apparentes dans le Crabe

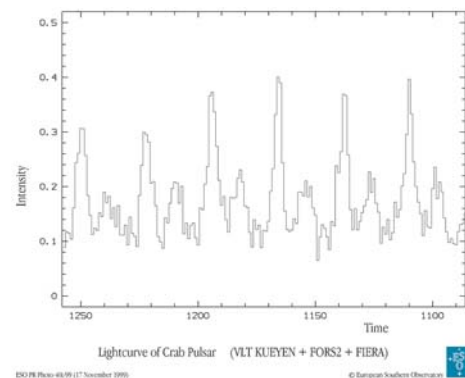


Fig. 10 Impulsions lumineuses émises par le pulsar.

## 6. Contradictions des distances.

- Comment expliquer un tel écart entre la valeur calculée de 0,13 al en prenant pour étalon l'extension de la nébuleuse du Crabe et celle que nous venons d'établir,  $\leq 10.000$  Km ?
- Comment expliquer que des dimensions aussi faibles soient perceptibles par des télescopes situés à 6300 années de lumière ? La résolution actuelle des meilleurs d'entre eux n'y suffit pas.
- La distance de la nébuleuse du Crabe et donc ses dimensions aurait-elles été surévaluées ? Cette distance est bien connue. Elle a été mesurée, à mainte reprise, avec des méthodes bien éprouvées. Nous ne saurions donc la mettre en doute.
- Le centre de la nébuleuse du Crabe serait-il sujet à un effet de lentille gravitationnelle? Et, alors, quelle est la source de cet effet ? L'étoile, le pulsar, ou les deux, ou encore un trou noir ?

## 7. L'effet de lentille.

Le grossissement apporté par l'effet de lentille est:  $A = \frac{0,13 \text{ al}}{10.000 \text{ Km}} = \frac{1,23 \cdot 10^{12}}{10.000} = 1,23 \cdot 10^8$  [2]

Un tel grossissement ne peut pas s'expliquer par la présence d'un trou noir, aussi massif soit-il. On est donc contraint d'envisager un effet de lentille optique. Mais peut-on en apporter la preuve ?

Le 19 Sept 2002 le [STScI](#) a publié sur Internet un document remarquable. Il s'agit d'une série de 24 clichés, pris à l'aide du **HST**, et montés sous forme d'une animation montrant l'évolution du centre du Crabe dans un intervalle de plusieurs mois (Fig. 11).

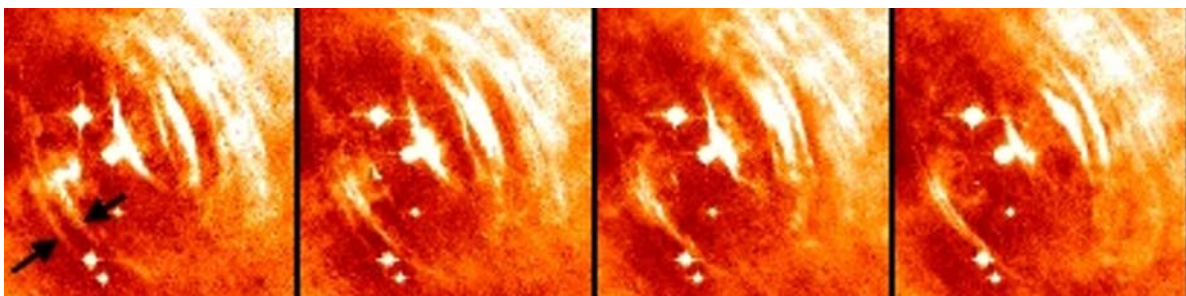
Nous en avons réalisé un zoom sur le noyau et extrait une séquence échantillonnée de 4 images significatives (Fig. 12). Dans ce document on remarque un ensemble d'ondes lumineuses se propageant de manière concentrique depuis le pulsar vers l'extérieur. Mais ce qui est remarquable, c'est qu'il existe un couple d'ondes, repérées par les flèches, dont l'une s'éloigne du centre et l'autre qui, comme par un effet de miroir, se propage symétriquement dans l'autre sens, c'est-à-dire vers le pulsar. Ce phénomène constitue un indice très fort en faveur d'un effet de lentille optique provoqué par une sphère de gaz en expansion dans laquelle auraient lieu des phénomènes de réfraction (Réfraction et diffraction).

Dans les Fig.11 et 13 on peut aussi observer une éjection de matière sous forme d'un jet non collimaté (**J<sub>1</sub>**). Curieusement ce jet présente une cassure située juste après la zone où se produit l'effet miroir.



**Fig. 11** (Ici le pont lumineux est invisible).

<http://hubblesite.org/newscenter/newsdesk/archive/releases/2002/24/>  
<http://hubblesite.org/newscenter/newsdesk/archive/releases/2002/24/video/>



**Fig. 12.** Les deux flèches noires indiquent la paire d'ondes mobiles et miroirs l'une de l'autre.

Ce deuxième phénomène pourrait parfaitement s'expliquer par la variation de l'indice de réfraction entre les zones internes et externes de cette région. Il n'est donc pas surprenant que cela ait lieu là où se manifeste l'effet miroir. L'hypothèse de l'effet de lentille est ainsi confirmée et cette explication apparaît comme la plus plausible.

Un troisième indice, moins fort certes, mais très intéressant; se manifeste par un dédoublement de l'image du pulsar sous forme d'un onde immobile mais fluctuante, accolée à celui-ci.

Et, cerise sur le gâteau, la variation de distance que nous venons de mettre en évidence, entre l'étoile et le pulsar, pourrait finalement être la manifestation corrélée avec le pont périodique, d'une onde de densité, se propageant vers l'observateur. Dans ce cas nous devrions corriger quelque peu les calculs de distances effectués précédemment.

Une simulation informatique (Fig. 14) nous a permis de faire apparaître tous ces phénomènes sans difficulté et sans aucune ambiguïté.

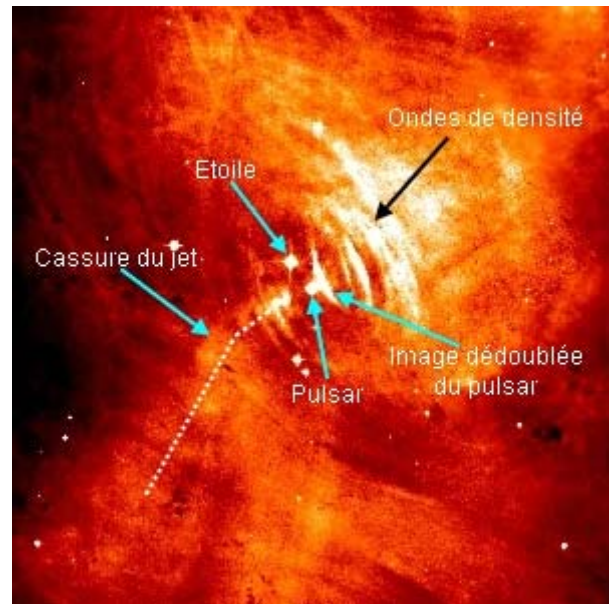


Fig. 13 (Dans cette image le pont lumineux est invisible).

### 8. Une Sphère de gaz à gradient de densité.

Une sphère de gaz peut-elle expliquer, à elle seule, un facteur de grossissement de  $2.10^8$  ? Cela semble impossible, sauf à y ajouter quelques ingrédients. Le premier serait l'existence, dans la sphère, d'un gradient de densité qui s'accroîtrait plus ou moins continûment, de l'extérieur, vers l'intérieur de celle-ci, ce qui aurait pour

effet de générer en proportion un gradient d'indice de réfraction. Ce gradient d'indice, du fait des lois de la gravitation, doit obéir, depuis son centre, à une loi en  $1/x^2$ . Une telle sphère a certes des propriétés très intéressantes, mais le facteur de grossissement, même s'il est dans ces conditions déjà important, ne semble pas pouvoir atteindre la valeur à laquelle on prétend dans le cœur de la nébuleuse du Crabe.

L'observation de l'animation réalisée avec le HST (Fig. 11) apporte une clé essentielle. Des ondes en arc de cercle se propagent depuis le centre de la nébuleuse, à la vitesse relativiste de  $0,5c$ .

Or la vitesse d'éjection de la matière et donc la vitesse d'expansion de la nébuleuse n'est que de l'ordre de  $2000 \text{ Km/s}$ .

Une telle décélération est assez étonnante. Une explication serait qu'en fait on est en présence d'ondes de densité de matière associées à des ondes de gradient d'indice de réfraction (**Ondes acoustiques**).

La superposition géométrique de ces ondes permettrait à la sphère de gaz de se comporter comme un système optique à  $N$  lentilles (Fig. 15). Ces ondes de gradient d'indice de réfraction sont donc superposées les unes sur les autres. L'ensemble se comporte alors comme un système optique complexe, dont le grossissement global  $A$  est le produit des grossissements individuels de toutes les ondes. Cela peut s'exprimer approximativement par  $A = a^N$ . Ainsi le facteur de grossissement de  $1,23.10^8$  qui semblait totalement irréaliste trouve ici une explication simple. La vitesse, en apparence relativiste, de ces ondes de densité s'explique tout naturellement par l'effet de lentille mis en évidence.

Notons que, du fait de leur superposition, les ondes de densité apparaissent parfaitement latéralement, alors qu'elles sont peu visibles dans l'axe de visée de l'observateur. Ajoutons qu'il existe certainement, dans la sphère, des inhomogénéités de ce facteur de grossissement. Nous ne traitons pas de cet aspect ici.

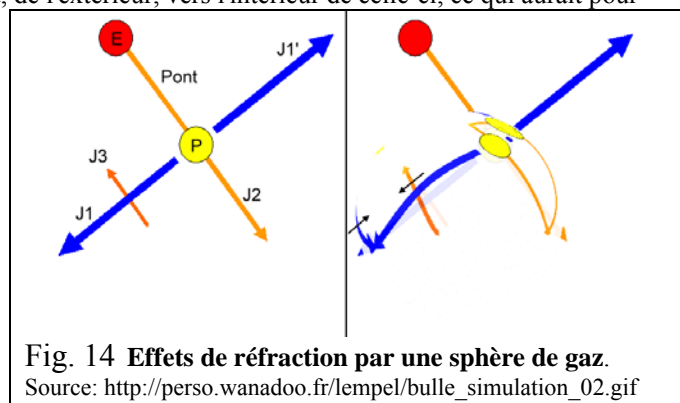


Fig. 14 Effets de réfraction par une sphère de gaz.

Source: [http://perso.wanadoo.fr/lempel/bulle\\_simulation\\_02.gif](http://perso.wanadoo.fr/lempel/bulle_simulation_02.gif)

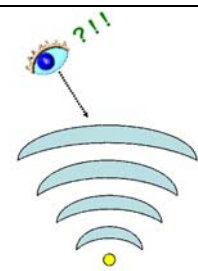
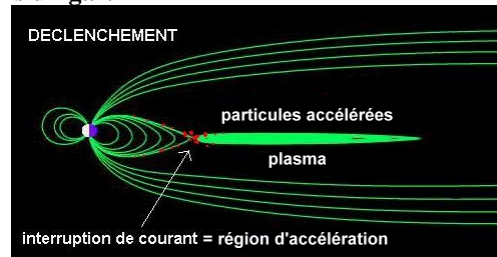


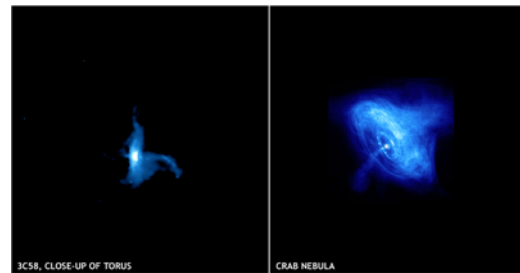
Fig. 15

## 9. Dédutions et conclusions:

- Le pulsar du Crabe est une composante d'un **système double d'étoiles**.
- Le jet  $J_2$  (Fig. 5), issu de l'étoile compagne, serait **périodiquement projeté vers le pulsar**.
- A l'impact, le pulsar s'illumine.**
- Ce jet, probablement constitué de particules chaudes (Protons et/ou électrons) se comporterait comme une **série ininterrompue de décharges électriques dans un gaz**.
- Le pulsar du Crabe serait, comme la Terre, affublé d'une **magnétosphère** et d'une "atmosphère" (Fig.16). C'est le diamètre approximatif de cette "magnétosphère" (1000 Km) que l'on aurait mesuré ici, et non pas réellement le diamètre du pulsar.
- Le jet  $J_2$  (Fig. 5), qu'il ne faut pas confondre avec le grand jet  $J_1$  visible sur l'image du HST (Fig. 11 et 13) se propage au delà du pulsar sous forme d'un **jet relativiste collimaté**. (Fig. 5)
- Il existerait une catégorie de pulsars dont le fonctionnement ne serait pas lié à la rotation d'une étoile à neutrons, mais serait dû à des phénomènes de magnétohydrodynamique (MHD) entre deux objets proches présentant des champs magnétiques intenses et des atmosphères fortement ionisées. Il est bon de noter que le Crabe n'est pas le seul objet présentant ces caractéristiques. **3C58** (Fig. 17) est non seulement très semblable, mais on y trouve un pulsar de 66 ms.
- Est-il possible d'expliquer la régularité d'un pulsar dans un tel environnement (Système double et MHD) ? Très certainement oui. On sait le faire, à l'échelle humaine dans des tubes à décharge.
- Tous les pulsars ne seraient donc pas obligatoirement des étoiles à neutrons orientant périodiquement leurs lumières vers la terre.
- Le centre du crabe serait sujet à un effet de lentille optique de très grande amplitude, dû à l'existence d'une sphère de gaz à gradient d'indice et à des ondes de densité superposées.



**Fig. 16** Magnétosphère terrestre et formation d'un jet de plasma sous l'effet du vent solaire.  
Source: <http://www.cetp.ipsl.fr>



**Fig. 17** Photo de 3C 58 à côté de celle du Crabe.  
Source: Chandra.  
<http://chandra.harvard.edu/photo/2004/3c58/index.html>

### Remarques :

- On pourrait étendre à d'autres objets de l'univers les propriétés des bulles à gradient d'indice, en particulier aux environnements proches des trous noirs massifs et hyper massifs, surtout à ceux qui sont logés dans les noyaux galactiques. Les phénomènes d'accrétion ou d'éjection de matière observés pourraient favoriser des effets de lentilles optiques. Ainsi les distances et les vitesses mesurées, seraient biaisées dans ces environnements.
- Nous aborderons et donnerons une réponse, dans un document futur, au problème Képlérien qui se pose entre l'étoile et le pulsar.

### Notes :

A notre connaissance, dans la littérature,

- Le pont lumineux périodique et le jet  $J_2$  n'ont jamais été mentionnés. Il s'agirait donc d'un fait nouveau.
- Les effets de lentilles optiques, dans des bulles de gaz à gradient d'indice de réfraction, associés à des ondes de densité n'ont pas davantage été mentionnés. Il s'agirait, là aussi, d'un fait nouveau.
- Le jet  $J_3$  ne semble pas davantage avoir été mentionné.
- Si le grand jet  $J_1$  est parfaitement connu et largement mentionné, par contre sa cassure n'avait pas, à ce jour, trouvé d'explication convaincante.

### Remerciements :

A tous ceux qui par leur aide et leurs conseils ont apporté leur contribution à ce travail. Citons Monsieur Jean-Claude Pecker et aussi et surtout Arlette Lempel, pour sa patience.