

AVEC NOS ÉLÈVES

Quand le LP2I surfe sur Jupiter

Jean-Brice Meyer et ses élèves
Lycée Pilote Innovant International de Jaunay-Clan

Dans le système solaire, un couple se fait particulièrement entendre : le couple Io – Jupiter. Leurs colères retentissent parfois jusque sur Terre. Nous avons tenté de nous mêler de leurs querelles et d'en comprendre l'origine, ce qui a nécessité la réalisation d'une antenne.

Le couple Io-Jupiter

Jupiter possède de nombreux satellites. Parmi eux, Io a la réputation de posséder les plus gros volcans du système solaire, un statut dû notamment à sa proximité avec Jupiter qui lui fait alors d'autant plus subir son champ gravitationnel. Les particules éjectées des volcans s'ionisent sous l'effet du vent solaire, ce qui ne sera pas sans conséquences sur leur devenir, comme nous l'expliquons ensuite.



Fig.1. Io.

En effet, Jupiter possède également un champ magnétique (en rouge sur la figure 2) d'intensité environ dix fois celui de la Terre, non uniforme, dont la topographie ressemble à celle d'un aimant dipolaire : aux pôles se trouvent ainsi les champs forts, tandis que dans le plan équatorial se situent les champs faibles. À ceci près qu'il subit une déformation causée par le vent solaire.

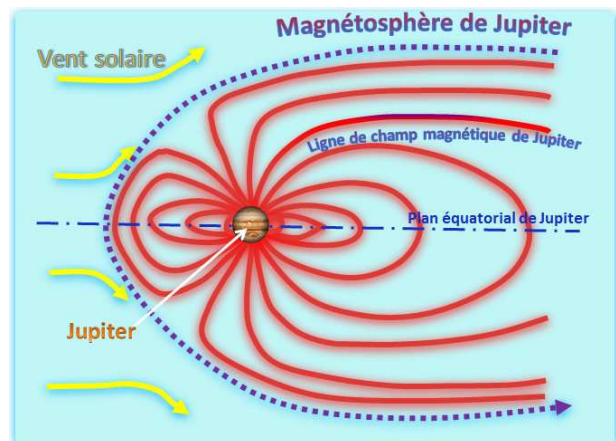


Fig.2. Magnétosphère de Jupiter.

On sait que dans un tel champ, les particules électriquement chargées vont se localiser là où le champ est faible, donc dans le plan équatorial de Jupiter, ce qui va constituer une sorte de bouée appelée « tore de plasma » (en vert sur la figure 3). Ce tore va tourner à la même vitesse que celle du champ magnétique, donc du noyau de Jupiter qui en est à l'origine.

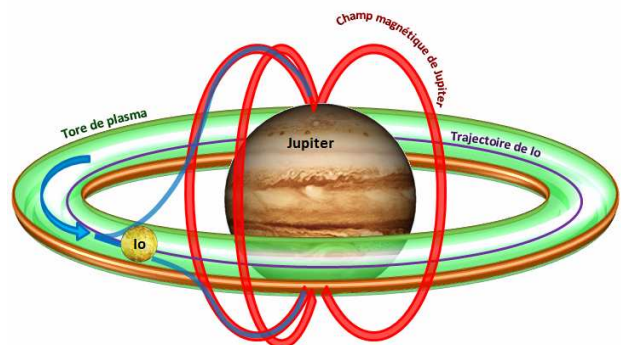


Fig.3. Io et Jupiter.

Or, la trajectoire de Io se situe justement dans ce tore de plasma. Mais comme sa vitesse de rotation (qui répond aux lois de Newton) autour de Jupiter est plus lente que celle du tore de plasma, le

satellite Io va dévier les particules du tore en les projetant (en bleu) vers les pôles de Jupiter. Conformément à la force de Lorentz, les particules du tore, (surtout les électrons) vont, lors de cet assaut vers Jupiter, tourner autour des lignes du champ magnétique (figure 4). Or, toute particule électriquement chargée subissant une accélération émet un rayonnement électromagnétique dont la fréquence de l'onde correspond à la gyrofréquence des électrons, c'est-à-dire la fréquence de rotation des électrons autour des lignes du champ magnétique.

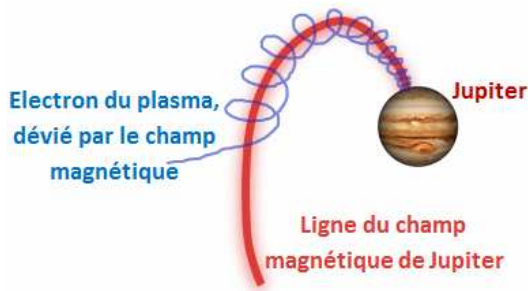


Fig.4. Mouvement d'un électron dans un champ magnétique non uniforme.

Les « orages de Jupiter » correspondent à des émissions d'ondes électromagnétiques particulièrement intenses, à la fréquence de 20,1 MHz. Une telle fréquence correspondrait alors aux ondes émises par les électrons lorsqu'ils se trouvent proches des pôles de Jupiter.

Mais est-ce que ce simple mouvement des électrons suffit à expliquer les ondes radio émises par le couple Io-Jupiter ? Pas du tout, selon Philippe Louarn (directeur de recherche à l'université de Toulouse) avec qui nous avons pu échanger sur le sujet, et sans qui il nous aurait été impossible d'avancer aussi loin dans la compréhension de ce projet. En effet, un simple rayonnement synchrotron ne peut pas expliquer le caractère polarisé du rayonnement émis. Il a fallu imaginer un processus plus complexe.

L'effet MASER Cyclotron

Le point crucial à prendre en compte est le caractère polarisé du rayonnement émis. Ceci ne peut pas s'expliquer simplement par un rayonnement synchrotron, dans lequel les électrons étant indépendants les uns des autres, émettent des rayonnements électromagnétiques incohérents, donc une polarisation globale nulle. Il y a donc un phénomène plus subtil que nous expliquons ici, et qui se passe dès l'interaction entre les électrons du tore et le satellite Io. Ces électrons, dans le tore, ont tous la même vitesse. Mais leur déviation par Io ne se fera par contre pas avec une orientation unique.

Ceux qui sont déviés de telle sorte que leur direction est quasi perpendiculaire aux lignes de champ magnétique de Jupiter vont réussir à atteindre les pôles. Arrivant à leur fin, ils signeront par la même occasion leur fin, laissant comme souvenir éphémère une aurore polaire.

Mais les autres électrons, soumis au champ magnétique devenant trop intense à l'approche des pôles, subiront un « effet miroir » : la majorité des électrons rebrousse alors chemin sans pouvoir atteindre le pôle de Jupiter (figure 5). Le champ magnétique de Jupiter piègera alors ces électrons dans une sorte de « bouteille magnétique » dans le plan équatorial de Jupiter.

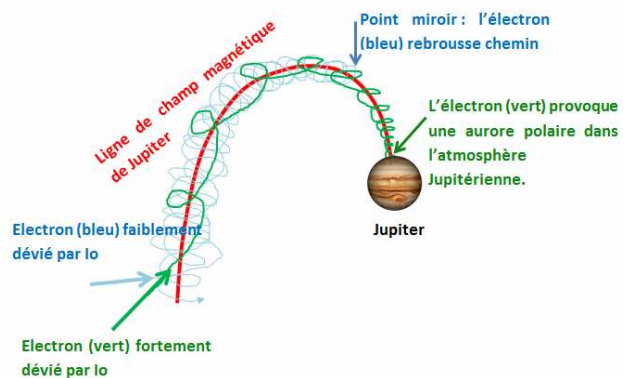


Fig.5. Naissance d'une cavité.

Il s'ensuit alors une cavité raréfiée en électrons au niveau des pôles de Jupiter, dans laquelle un champ électrique va pouvoir s'établir du fait de la différence de charge électrique entre le haut et le bas de cette cavité.

Les électrons vont subir ce champ électrique et être aspirés vers le pôle en tournant dans la cavité, et seront pris entre deux feux : le champ magnétique plus intense qui tentera de les faire remonter, et le champ électrique qui tentera de les faire descendre (figure 6).

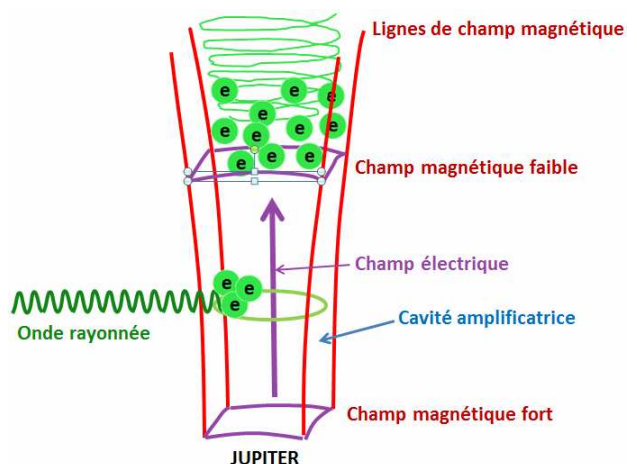


Fig.6. Rayonnement dans la cavité.

Les électrons vont alors osciller dans la cavité pendant un certain temps durant lequel les ondes qu'ils émettent vont entrer en résonance avec le mouvement même des électrons, conférant ainsi au rayonnement des propriétés (intensité et polarisation) observées depuis la Terre.

Réalisation de l'antenne



Ces ondes trouvant un maximum d'intensité à 20,1 MHz, nous avons réalisé une antenne adaptée à cette fréquence. Nous avons pu pour cela compter sur l'aide précieuse d'Armand Thomas, président du radio club de Poitiers, ainsi que sur les conseils très avisés de Jean-Charles le Tarnec, président du club d'astronomie de Saint-Benoît, près de Poitiers. Nous avons ainsi choisi une antenne de longueur $\lambda/2$, où λ est la longueur d'onde de la radiation recherchée. Cette longueur permet effectivement de se placer dans des conditions de résonance, donc d'amplifier le signal de fréquence 20,1 MHz. De manière à augmenter le gain de l'antenne, nous en avons en réalité construit deux, conformément au plan fourni par la NASA ci-dessous (figure 7).

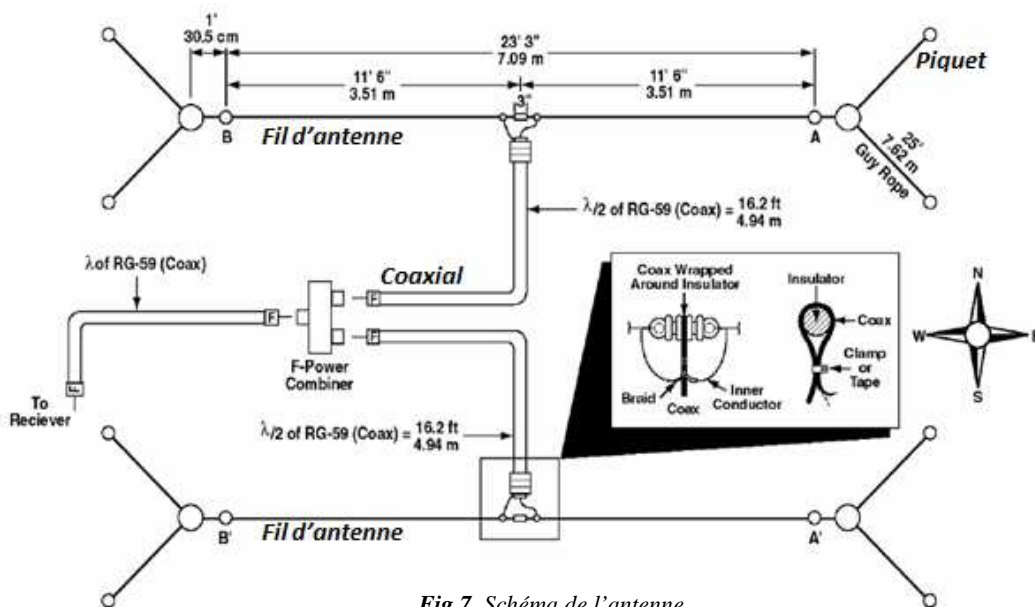


Fig.7. Schéma de l'antenne.

Au centre de chacune d'entre elles, nous avons récupéré le signal recherché, au moyen d'un câble coaxial, de longueur également $\lambda/2$, qui a acheminé l'information vers le récepteur.

Des expériences complémentaires nous ont permis de comprendre l'intérêt de prélever le signal au milieu de l'antenne.

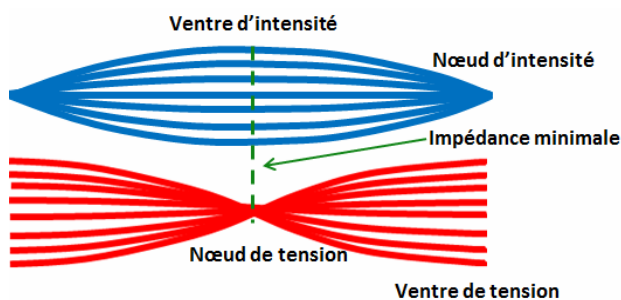


Fig.8. Onde stationnaire électrique dans l'antenne.

C'est à cet endroit en effet que l'impédance y est minimum (ce qui se traduit par un ventre d'intensité, ou encore un nœud de tension, comme le montre la figure 8), de valeur environ 73Ω , donc proche de l'impédance du câble coaxial de 70Ω .

L'adaptation d'impédance permet alors au signal d'être transmis vers le détecteur de façon efficace. Ce dernier avait pour but de filtrer, d'amplifier, et de transposer l'onde électromagnétique de fréquence 20,1 MHz en un signal de fréquence audible après transformation en onde acoustique.

Une fois l'antenne réalisée, nous avons mesuré sa bande passante de manière à vérifier si elle résonnait bien à la fréquence recherchée. Ces mesures ont été réalisées avec un TOSmètre, c'est-à-dire un appareil mesurant le taux d'ondes stationnaires. Les mesures ont alors montré un pic de résonance pour une fréquence de 19,7 MHz, ce qui selon l'expérience de monsieur Armand Thomas, était convenable pour détecter les signaux de Jupiter. Ce qui s'est avéré exact dès les premières observations.

Les « écoutes »

Les orages du couple Io Jupiter retentissent sur Terre à des moments qui peuvent être calculés. Tout d'abord, pour les percevoir, il est nécessaire que le Soleil soit couché, afin qu'il ne noie pas le signal du couple dans ses propres émissions et que Jupiter soit suffisamment haut dans le ciel, afin de se trouver dans le diagramme de rayonnement de l'antenne.

Des observations menées sur une cinquantaine d'années ont permis d'établir de façon statistique les dates des prochains orages.

Ces dates dépendent à la fois de l'orientation du champ magnétique de Jupiter par rapport au Soleil et de la position de Io par rapport à Jupiter. Enfin, même si une émission intense a lieu, il faut savoir

que l'onde est alors émise à la surface d'un cône (figure 9) dont l'axe coïncide avec les lignes de champ magnétique de Jupiter. Il faut donc que la Terre soit sur ce cône pour intercepter ce signal.

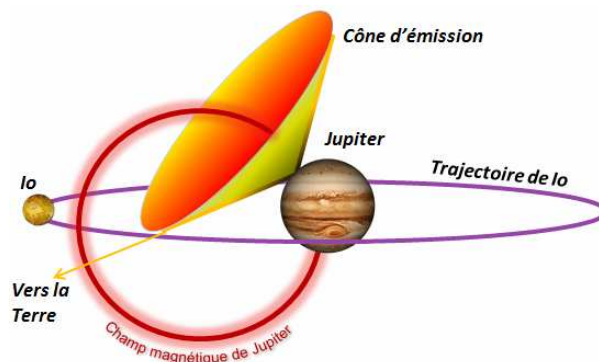


Fig.9. Cône d'émission.

Les écoutes ont été fructueuses. Trois phénomènes particuliers sont mentionnés dans la littérature, et nous avons pu entendre chacun d'entre eux. Le plus caractéristique est le phénomène nommé « Io B », car il laisse percevoir un bruit de vague. C'est pour cette raison que nous avons appelé ce projet « Surfer sur Jupiter ».

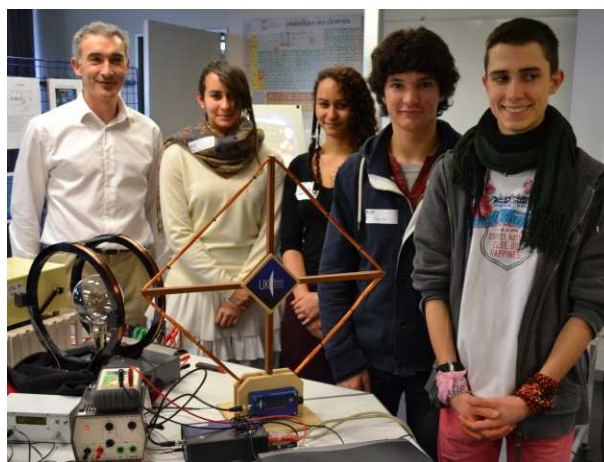
Nous avons ainsi surfé jusqu'à la finale des Olympiades de physique où nous avons reçu un premier prix national, et nous avons continué de surfer car l'Académie des Sciences nous a fait l'honneur de récompenser notre travail le 26 novembre 2013.

Remerciements

Jean-Charles le Tarnec, Président du club d'astronomie de Saint-Benoît

Philippe Louarn, Directeur de recherche, Université de Toulouse

Armand Thomas, Président du radio club de Poitiers.



De gauche à droite : Jean-Brice Meyer, Alice Tahir, Clara Tahir, Arthur Julien, Valentin Luksza.