

## Source

### “Deflection of the Interstellar Neutral Hydrogen Flow Across the Heliospheric Interface”

R. Lallement,  
E. Quémerais,  
J.L. Bertaux, S. Ferron,  
D. Koutroumpa,  
R. Pellinen\*

Science, 4 mars 2005

## Note

### \*Héliosphère

Le soleil émet en permanence de grandes quantités de matière ionisée constituant une enveloppe de plasma nous isolant du milieu interstellaire ambiant. Ce gaz appelé aussi "vent solaire" est globalement neutre, magnétisé et omni directionnel. Les particules du vent solaire rencontrent les planètes avec une vitesse relative très importante. La surface de la Terre est protégée des effets nocifs que ces particules pourraient engendrer par le champ magnétique terrestre qui détournent les particules chargées et l'enveloppe atmosphérique qui absorbe les éléments neutres et la plupart des rayonnements.

### \*\* Unité astronomique (UA)

C'est la distance moyenne entre la Terre et le Soleil soit environ 150 millions de kilomètres.

Le Soleil et son cortège de planètes voyagent dans le milieu galactique ambiant à une vitesse approximative de 100 000 km/h. L'ensemble est protégé du flot incident de gaz ionisé galactique et de particules cosmiques par l'héliosphère\* qui constitue un cocon protecteur. La majorité des particules galactiques de haute énergie sont déviées par le champ magnétique solaire. Seuls quelques rayons cosmiques très énergétiques pénètrent dans cet espace. A l'avant de l'héliosphère, dans la direction du mouvement du soleil par rapport au gaz interstellaire traversé, se forme une étrave, qui sépare le gaz d'origine solaire du gaz galactique. Certaines particules neutres, de faible énergie en provenance du milieu galactique, pénètrent cependant l'héliosphère. Insensibles aux effets du champ électromagnétique associé au vent solaire, elles envahissent le système solaire. Ces "neutres" sont en fait prépondérantes, dépassant en densité le plasma solaire à partir d'une distance de plus de 5 unités astronomiques\* (UA) du soleil.

L'instrument [SWAN](#) sur le satellite SOHO détecte et analyse la vitesse de certaines de ces particules de gaz interstellaire. Pour cela, il détecte la lueur qu'elles émettent sous l'effet du bombardement par les photons ultraviolets d'origine solaire, qui les excitent brièvement. Par deux méthodes indépendantes, SWAN vient de démontrer que la direction d'arrivée de ce gaz (de l'hydrogène atomique) est déviée de quatre degrés par rapport à la direction initiale du gaz interstellaire, mesurée par d'autres méthodes. Le phénomène à l'origine de cette légère déviation est très probablement lié à celui qui produit deux autres phénomènes déjà observés par SWAN, le ralentissement et l'échauffement du gaz neutre. Il s'agit d'un phénomène de couplage partiel de ces "neutres" avec les particules chargées. Ce couplage transfère aux "neutres" une partie du mouvement et de l'énergie thermique des particules chargées. La déviation observée sur les "neutres" serait ainsi due, de par ce couplage, à une déviation des particules chargées. L'écoulement du plasma serait donc dissymétrique et l'héliosphère serait distordue, «gauchie». Le champ magnétique galactique est très vraisemblablement responsable de ce gauchissement. D'une part l'intensité moyenne «typique» du champ magnétique dans la galaxie, mesurée par des méthodes indirectes, est largement suffisante pour influencer la forme de l'héliosphère; d'autre part le champ magnétique local dépend des nuages interstellaires de notre "coin de banlieue" galactique, de leurs mouvements et de leur histoire. Il n'a donc rien à voir avec le déplacement du système solaire. Ce serait un bien grand hasard qu'il soit

### Affiliations

- 1) Service d' Aéronomie du CNRS-BP 3  
91 371 Verrières-le-Buisson, France
  
- 2) Finnish Meteorological Institute  
Geophysical Research Box 503  
00 1 01 Helsinki, Finland

### Contact

Mme Rosine LALLEMENT  
Téléphone +33 1 64 47 42 35  
Mél [Rosine.Lallement@aerov.jussieu.fr](mailto:Rosine.Lallement@aerov.jussieu.fr)

### Note

**\*SWAN Solar Wind ANisotropies**  
L'instrument SWAN est l'un des douze instruments embarqués sur le satellite SOHO (Solar Heliospheric Observatory). Il est le fruit d'une collaboration entre le Service d'Aéronomie du CNRS et le "Finnish Meteorological Institute". En cartographiant le ciel dans l'ultraviolet, l'instrument Swan est notamment capable d'étudier l'activité sur la face opposée du Soleil.

parfaitement parallèle à l'axe de symétrie de l'héliosphère. Ce champ magnétique a toutes les raisons, au contraire, de former un certain angle avec la direction du mouvement du système solaire. Il exerce ainsi une pression magnétique plus forte d'un côté que de l'autre ([Fig.1](#)). Connaissant la direction et le sens de la distorsion, les auteurs ont pu déterminer la direction du champ galactique local. C'est la première mesure *in situ* du champ magnétique galactique local. Le flux des "neutres" joue ainsi le rôle de l'aiguille de la boussole pour le champ magnétique interstellaire ! L'intensité du champ sera déterminée à l'aide des modèles en cours de développement. C'est le dernier élément qui manquait pour fixer avec précision la taille et la forme de l'héliosphère. Ces résultats peuvent aussi expliquer les observations récentes de la [sonde Voyager 1](#), qui, à 14 milliards de km de la Terre, « surfe » sur la zone d'étrave à l'avant de l'héliosphère.

### L'astronéphographie ou l'étude des "nuages (galactiques) locaux"

Notre système solaire se trouve dans un chapelet de petits nuages galactiques. Dans moins de 2 000 ans, le Soleil quittera probablement le «nuage local», pour entrer plus tard dans son proche voisin ([Fig.2](#)). La forme des nuages locaux est encore mal connue, mais la position relative du nuage local et de son voisin est assez bien déterminée. En comparant la direction du champ magnétique galactique mesurée par SWAN et cette morphologie, même encore imprécise, les lignes du champ magnétique semblent à peu près tangentes à cette frontière, comme si elles étaient comprimées entre les deux nuages. Ceci est en bon accord avec ce que prévoit la théorie des mouvements des nuages ionisés et magnétisés. En revanche, cette direction est différente de celle qui est mesurée aux alentours des étoiles plus lointaines situées à une vingtaine [de parsecs](#). Le champ magnétique ne serait donc pas homogène dans notre "quartier" galactique.

Ce groupe de nuages est lui-même immergé dans une zone de la galaxie d'une taille d'environ 100 parsecs, appelée la "bulle locale", remplie de gaz extrêmement raréfié et de nature incertaine. Le système solaire voyage, sans dommage, dans cette bulle depuis quelques dizaines de millions d'années. Ensuite, il se dirigera vers les parois qui séparent la "bulle locale" des bulles voisines Scorpius, Centaurus et Ophiuchus. Ces zones constituées de gaz très denses, sont situées à quelques dizaines de parsecs. Certains modèles démontrent que la traversée d'un nuage d'une telle densité pourrait provoquer l'effondrement de l'héliosphère. Cela s'accompagnerait d'un accroissement important des rayons cosmiques

## Note

\*Voyager 1 près de la sortie!

D'après les résultats de SWAN, Voyager 1 n'a pas la trajectoire optimale, pour quitter l'héliosphère. La sonde se dirige en effet, vers la partie la moins comprimée magnétiquement, là où la frontière est la plus éloignée. La trajectoire était imposée par les ricochets successifs autour des planètes. C'est déjà une chance et un total hasard, que la trajectoire amène la sonde Voyager 1 à sortir du système solaire vers le «nez» de l'héliosphère. Toute la mission de Voyager 1 a été décidée avant même que la direction du mouvement du soleil par rapport au gaz galactique ambiant ne soit connue !

arrivant sur Terre ainsi qu'un début d'accrétion du gaz et des poussières interstellaires. Ces poussières retombant en "pluie" fine dans l'atmosphère, bloqueraient le rayonnement solaire et induiraient de nouvelles glaciations.

Aucun objet de fabrication humaine n'a encore quitté la bulle que constitue l'héliosphère. Cependant si dans les prochaines années, Voyager confirme sa sortie\* de l'héliosphère et si la mission américaine d'imagerie de l'héliosphère **IBEX** montre sa forme, les modèles bâtis progressivement pourront être validés. L'évolution, pendant la traversée des nuages galactiques, de la forme, de la taille et de l'axe de symétrie de l'héliosphère pourra être calculée avec une bonne précision.

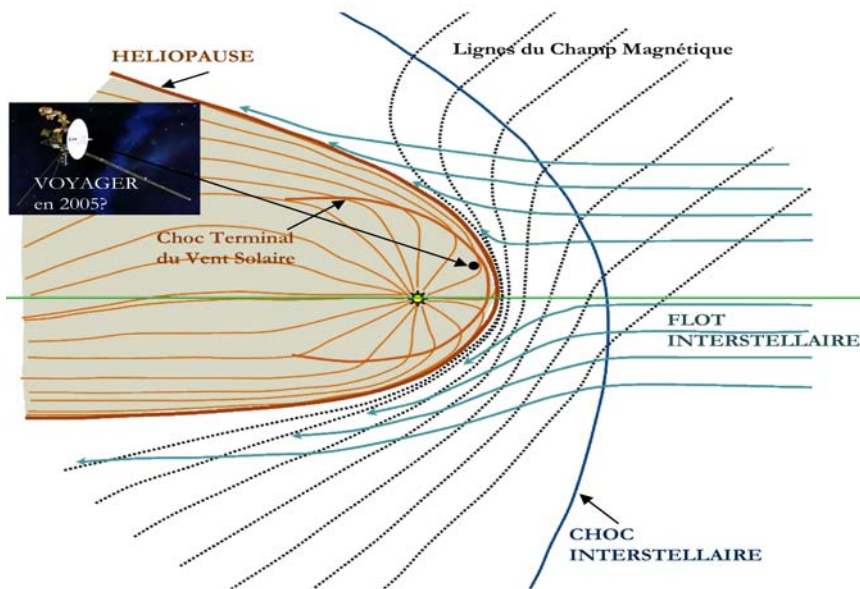


Figure 1 : l'héliosphère illustrée par SWAN

### La controverse Voyager

[La sonde Voyager 1](#), après 10 000 jours de voyage, croise à environ 94 unités astronomiques (UA), soit 14 milliards de km. La taille de l'héliosphère, est évaluée depuis une dizaine d'années avec une incertitude de l'ordre de 5 à 10%. Voyager 1 devrait commencer à rencontrer l'avant de "l'étrave" et s'appêter ainsi à quitter le système solaire. Cependant, les dernières mesures reçues vont à l'encontre des modèles : les capteurs de Voyager 1 enregistrent des bouffées de particules énergétiques qui ont toutes les caractéristiques de celles émises par une onde de choc que la sonde aurait traversée, alors que les magnétomètres de bord mesurent un champ magnétique ancré au soleil. Ceci montrerait que la sonde navigue toujours dans un plasma d'origine solaire. Des théoriciens expliquent ce phénomène par une distorsion assez prononcée de l'étrave de l'héliosphère.



## Une histoire nuageuse

Le carré de 500x500 parsecs représente une vue agrandie du petit losange jaune qui concrétise notre situation dans bras Orion de la Voie Lactée. Dans ce carré, l'étoile bleue représente la position approximative du soleil et la flèche la direction de son déplacement. Il se déplace actuellement dans la bulle locale qui est très peu dense. Il se dirige vers le nuage Ophiuchus beaucoup plus dense.

Les lignes blanches représentent le contour des zones définies par leur densité de matière. Le jaune représente les zones de faible densité et le noir les zones les plus denses.

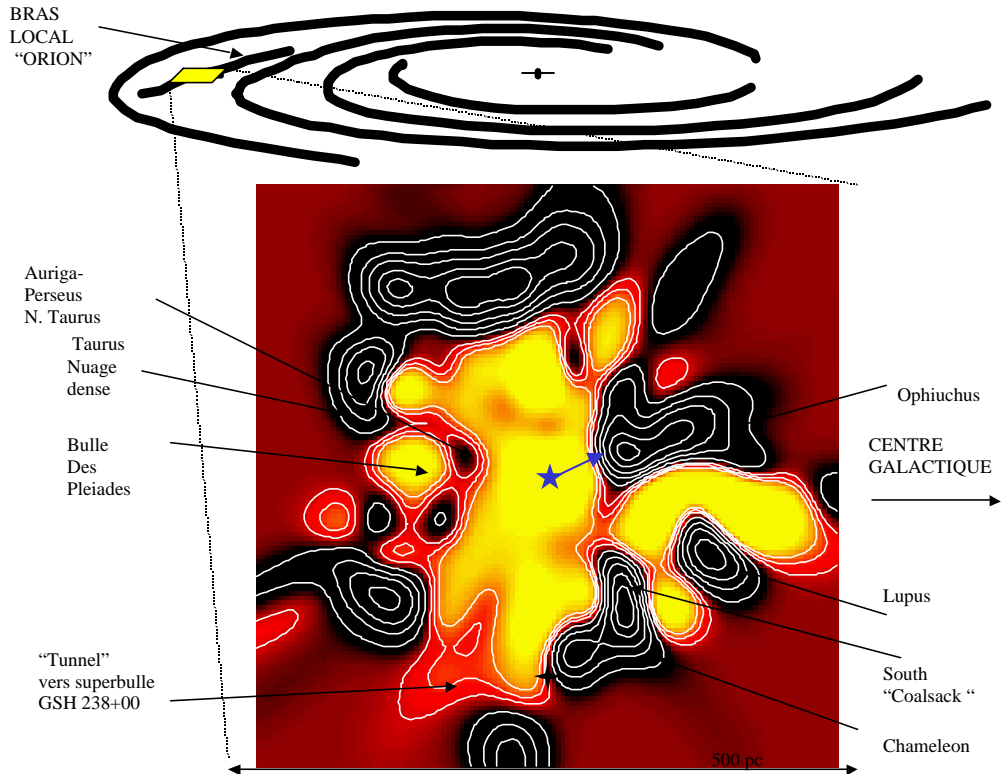


Figure 2 : La bulle locale dans le plan galactique : le Soleil ★ s'apprête à la quitter

+ sur le FMI

<http://www.fmi.fi/>

+ sur le CNES

<http://www.cnes.fr/>

© CNES 2005

Reproduction possible à des fins non commerciales, sous réserve d'autorisation de notre part

Conformément à la loi 78-17 "Informatique et Libertés" (art. 34 et art.36), vous disposez d'un droit d'accès, de rectification et de suppression des données vous concernant, en ligne sur ce bulletin.

E-Space&Science vous informe des résultats des expériences scientifiques soutenues par le CNES

Directeur de la publication: **Yannick d'Escatha** ■ Directeur de la rédaction: **Arnaud Benedetti** ■ Rédacteur en chef : **Michel Viso** ■ Secrétaire de rédaction : **Myriana Lozach** ■ Diffusion du magazine: **INIST diffusion** ■

### Abonnement

Vous voulez vous abonner à la version française; envoyez un mail sans objet ni contenu à :

[Abonnement version Française](#)

Vous voulez vous abonner à la version anglaise; envoyer un mail sans objet ni contenu à :

[Abonnement version Anglaise](#)

### Désabonnement

Vous voulez vous désabonner de la version française; envoyez un mail sans objet ni contenu à :

[Désabonnement version Française](#)

Vous voulez vous désabonner de la version anglaise; envoyer un mail sans objet ni contenu à :

[Désabonnement version Anglaise](#)