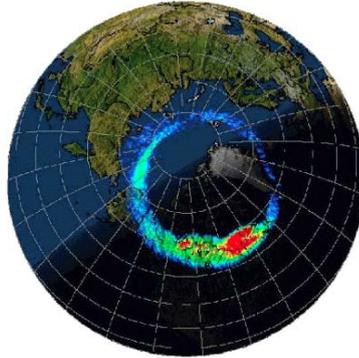


Introduction

Les textes Ummites évoquent souvent l'existence de ce que nous appelons sur Terre des aurores boréales. Celles-ci se produisent en général sur Terre aux hautes latitudes, par exemple en Islande, située près du cercle polaire, d'où d'ailleurs l'appellation boréale.

AURORA SEEN FROM SPACE



Date: 24 August 2006
Depicts: Aurora seen from space
Copyright: Holzworth and Meng, NSSDC, NASA

Sur Ummo, il en irait différemment, car celles-ci se produiraient jusqu'aux latitudes équatoriales, et seraient beaucoup plus fréquentes que sur Terre, comme l'expliquent les quelques extraits ci-après (D 41-3).

Nos nuits sont intensément obscures. Nous ne pouvons pas jouir comme les terrestres de ce merveilleux spectacle (que vous oubliez, submergés dans ces monstres de béton, asphalte et acier des grandes métropoles) comme celui du satellite lunaire. Les étoiles que nous observons apparaissent aussi très nettes quand la voûte céleste est dégagée des concentrations nuageuses. Par contre, ce que nous appelons UULibooa, (semblable aux aurores polaires terrestres), sont beaucoup plus fréquentes que sur la planète Terre, même dans les latitudes équatoriales.

Alors, le ciel adopte un aspect impressionnant. De long rubans ou bandes verts et pourpres apparaissent suspendus à différentes altitudes (plus la latitude est élevée, plus les bandes présentent une plus grande verticalité). A l'horizon, le chromatisme vert ou magenta devient jaune pâle ou légèrement orangé.

Ces UULIBOOA sont fréquentes dans les périodes d'activité de notre astre solaire IUMMAA. Qu'il nous est difficile alors de trouver le sommeil, surtout si nous sommes enfants, en contemplant le superbe spectacle au-dessus de nos têtes !

L'activité magnétique intense de l'étoile Ioumma serait la cause de ces aurores « boréales » sur Ummo.

L'objectif de cette étude est d'examiner, à partir des données des champs magnétiques de Ioumma et Ummo, la pertinence de ces informations.

Mais auparavant, nous allons examiner ce qui se passe au niveau du couple Terre-Soleil afin de transposer ensuite ces résultats au couple Ioumma-Ummo.

Les champs magnétiques du Soleil et de la Terre

a) Les propriétés du Soleil

Le champ magnétique du soleil est en moyenne de l'ordre de 2 Gauss ($2 \cdot 10^{-4}$ Tesla), **cette valeur étant considérée à une distance de 2.5 fois le rayon de l'étoile** (notre soleil en l'occurrence). On suit en cela les prescriptions des auteurs de la publication suivante, qui s'intéressent à l'habitabilité d'exoplanètes en fonction des propriétés magnétiques du couple étoile-exoplanète :

Référence 1

A&A 557, A67 (2013)
DOI: 10.1051/0004-6361/201321504
© ESO 2013

**Astronomy
&
Astrophysics**

Effects of M dwarf magnetic fields on potentially habitable planets

A. A. Vidotto¹, M. Jardine¹, J. Morin², J.-F. Donati³, P. Lang¹, and A. J. B. Russell⁴

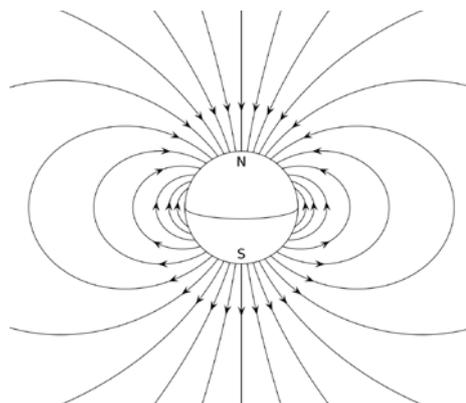
Si on s'intéresse ensuite au champ magnétique du soleil induit au niveau de la Terre, le flux magnétique étant conservatif, on obtient la valeur de 28 nT, ou encore $2.8 \cdot 10^{-4}$ Gauss. Il s'agit d'une valeur dans la fourchette haute, car les mesures de champ magnétique du soleil au niveau de l'orbite Terrestre peuvent varier de 1 à 37 nT. (Wikipedia Interplanetary magnetic field).

Le soleil émet également un vent de particules chargées qui s'accrochent aux lignes de champ magnétique du soleil. Ce vent solaire possède une vitesse variant entre 250 et 750 km/s. Ce sont ces différentes particules chargées qui sont à l'origine des aurores boréales : en arrivant près de l'orbite terrestre, et si les conditions magnétiques sont favorables, ces particules peuvent s'engouffrer dans la cuirasse magnétique de la Terre que l'on appelle la magnétosphère.

b) La magnétosphère de la Terre

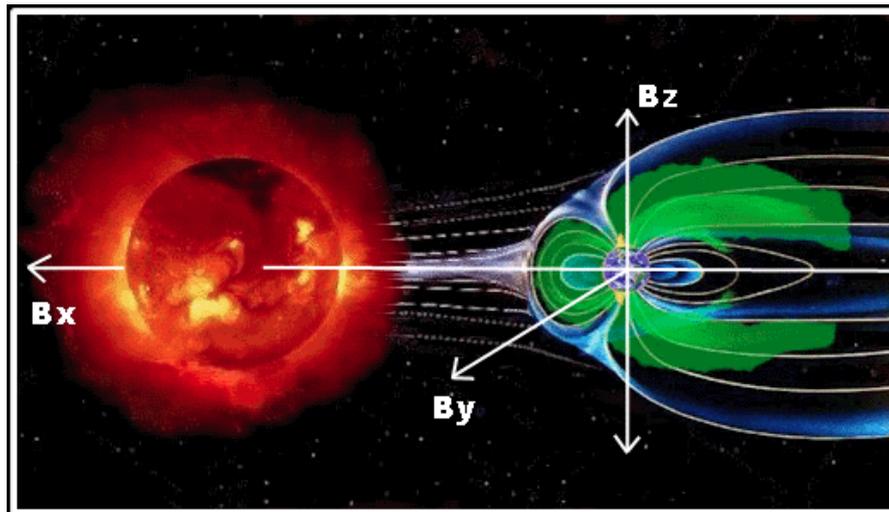
La magnétosphère de la Terre résulte de l'interaction du champ magnétique du soleil et du champ magnétique terrestre.

Le champ magnétique terrestre, s'il était seul dans l'espace, serait celui d'un dipôle dont la valeur est de l'ordre de $B_p = 0.8$ Gauss, et les lignes de champ se présenteraient comme sur la figure suivante.



La valeur du champ varie selon une formule simple en $1/2 B_p0(rp/r)^3$, r_p étant le rayon de la planète à l'équateur et r la distance à laquelle on veut estimer le champ magnétique dans le plan équatorial.

La magnétosphère de la Terre résulte de l'équilibre entre la pression du champ magnétique du soleil et celle du champ magnétique de la Terre. Cet équilibre se situe pour le couple Terre-Soleil à une distance d'environ $r_M = 11.3$ rayons terrestres (r_p) et donne naissance à une magnétosphère de forme compliquée, illustrée sur la figure suivante.



c) La zone aurorale

Le bouclier que constitue la magnétosphère terrestre n'arrête pas complètement les particules chargées du vent solaire. En effet, les lignes de champ de la magnétosphère peuvent s'ouvrir en fonction des intensités respectives des champs magnétiques de l'étoile et de la planète considérée : les particules chargées s'engouffrent alors dans la haute atmosphère, dans une zone déterminée par ce qu'on appelle la zone aurorale, définie par un certain angle comme le montre la figure suivante extraite de :

Référence 2

Mon. Not. R. Astron. Soc. **414**, 1573–1582 (2011)

Transit variability in bow shock-hosting planets

A. A. Vidotto, ^{*} M. Jardine and Ch. Helling

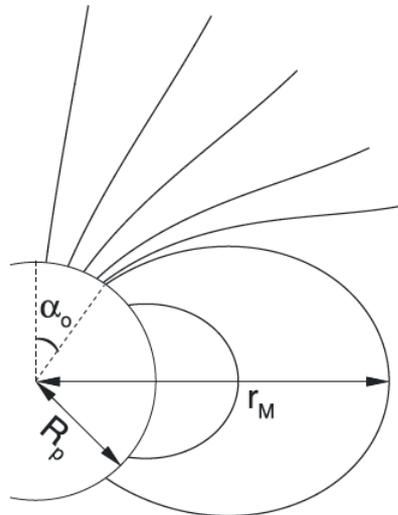
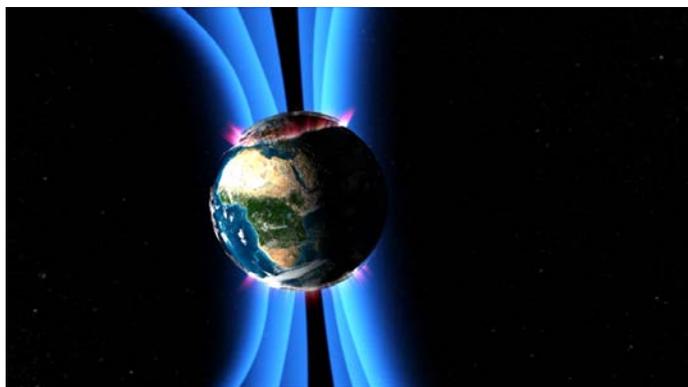


Figure 10. Sketch of the planet's magnetic field lines. The closed-field line region extends out to r_M . The area where magnetic field lines are open and exposed to the stellar wind (auroral region) extends out to planetary colatitudes α_0 , which is determined by the magnetosphere's size r_M (equation 23). Radio emission is believed to arise from a ring surrounding the auroral region.

L'angle α_0 dépend du rayon de la planète et du rayon r_M calculé plus haut de l'équilibre entre la pression magnétique du soleil et celle de la Terre.

Pour le couple Terre-Soleil, l'angle vaut 17° , ce qui situe bien les aurores boréales dans les zones polaires aussi bien près du pôle Nord que du pôle Sud.

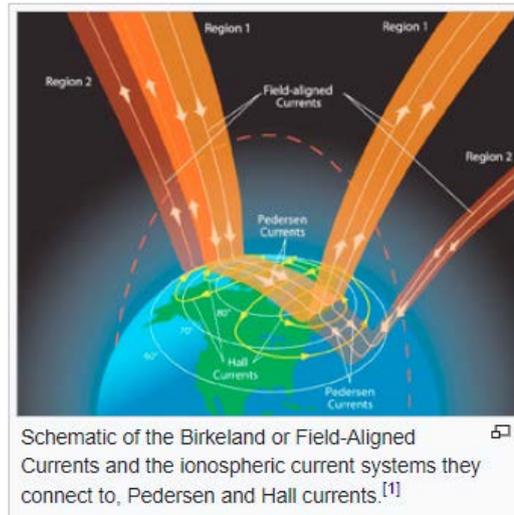


d) L'énergie des aurores boréales et la question des courants induits.

L'ionosphère est la couche supérieure de l'atmosphère terrestre ionisée par les rayons UV du soleil.

Elle s'étend depuis environ 80 km d'altitude jusqu'au-delà de 1000 km.

L'ionosphère et la magnétosphère sont connectées par le biais des lignes de champ magnétique combinées de la Terre et du Soleil comme expliqué plus haut. Celles-ci sont des conducteurs d'électricité presque parfaits. Par conséquent, l'énergie électromagnétique disponible dans la magnétosphère est transportée dans l'ionosphère via des courants électriques qui suivent les lignes de champ géomagnétique, appelés courants de Birkeland. (Wikipedia Birkeland Current).



Les aurores polaires sont la manifestation la plus spectaculaire de ce transfert d'énergie.

Mais il existe d'autres effets produits par ces courants de Birkeland ou Field Aligned Currents. Il s'agit de ce qu'on appelle des courants induits de type géomagnétique (GIC dans la suite). Ces courants sont induits au niveau du sol par exemple dans des lignes de transmission industrielles et génèrent des perturbations électriques pouvant parfois détruire le matériel électrique selon l'intensité de la perturbation géomagnétique. Sur Terre, ces GIC se situent plutôt aux latitudes élevées.

C'est un sujet complexe dont on commence à trouver des études et modélisations dans la littérature scientifique, pour ce qui concerne bien entendu notre planète Terre aux hautes latitudes.

Référence 3 (de 2021 !).

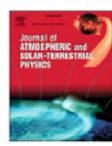
Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics 212 (2021) 105514



Contents lists available at [ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com)

Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics

journal homepage: www.elsevier.com/locate/jastp



Research Paper

Determination of vortex current structure in the high-latitude ionosphere with associated GIC bursts from ground magnetic data

V.E. Chinkin ^a, A.A. Soloviev ^{a,b}, V.A. Pilipenko ^{a,b,*}, M.J. Engebretson ^c, YaA. Sakharov ^d

^a Geophysical Center, Moscow, Russia
^b Institute of Physics of the Earth, Moscow, Russia
^c Augsburg University, Minneapolis, MN, USA
^d Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia



Comme ces effets d'induction ne dépendent pas seulement de la valeur du champ magnétique mais surtout de sa variation temporelle (dB/dt), nous n'essaierons pas d'extrapoler ces effets au niveau d'Umho, n'ayant trouvé aucune donnée sur ce type de phénomènes temporels (dB/dt) dans les textes Ummites.

Les champs magnétiques de Umma et de Ioumma

Les informations concernant les valeurs des champs magnétiques de Ioumma et de Umma se trouvent dans la lettre D 74 et sont reproduites ci-après.

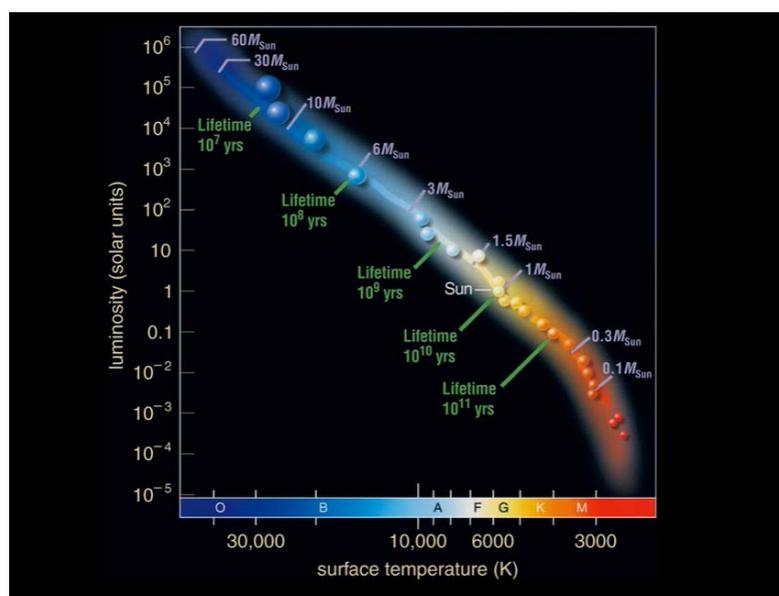
IUMMA provoque des altérations de son champ magnétique, difficilement prévisibles à longue échéance. L'intensité détectable de ce champ sur UMMA atteint des valeurs qui vous paraîtraient ahurissantes. Les niveaux extrêmes oscillent entre 3,8 gauss et 216 gauss. Si vous considérez que le champ propre d'UMMA est plus faible que celui de la Terre, avec des maxima de 0,23 et des minima de 0,07 gauss, il est probable que vous-mêmes puissiez, en observant le spectre de notre IUMMA, noter le dédoublement de certaines raies dû à la polarisation provoquée par ces perturbations. De si fortes altérations ont une influence très sensible sur notre OYAA. Par exemple, la structuration de notre atmosphère en couches fortement ionisées a préservé le milieu écologique des forts niveaux de radiations. Les mutations ont été moins fréquentes dans les organismes et par conséquent la variété faune-flore est moins riche que sur Terre. En revanche, l'aspect de notre ciel, la nuit, est beaucoup plus fantastique grâce aux phénomènes météorologiques qui vous feraient penser aux aurores boréales.

Le texte donne clairement la fourchette de valeurs du champ magnétique de Umma de {0.07,0.23} Gauss, à comparer à celui de la Terre de l'ordre de 0.8 Gauss. **Ces valeurs pour la planète Umma sont très cohérentes de diverses informations fournies dans la lettre D 74 : l'annexe 1 retrouve la valeur médiane de 0.157 Gauss du champ magnétique d'Umma à partir de ces informations.**

⇒ Nous utiliserons donc dans la suite la fourchette de {0.07,0.23} Gauss pour la planète Umma.

Concernant Ioumma, le texte est moins clair, car on passe d'une phrase concernant Ioumma à une phrase concernant Umma, puis on revient à Ioumma : au final on se demande où se situe la fourchette fournie de {3.8, 216} Gauss : au niveau de Umma ou au niveau de Ioumma ? Il faut d'abord éclaircir ce point du point de vue de la physique des étoiles.

- Notre soleil, étoile de type G, possède un champ magnétique de l'ordre de 2 Gauss.
- Ioumma est une étoile de type K, très proche sur la séquence principale.



- Il y a peu de documentation sur les étoiles de type K sur le thème du champ magnétique, mais on trouve beaucoup d'articles sur celles de type M car elles constituent une catégorie de choix pour la recherche d'exoplanètes, en raison essentiellement de nos instruments d'observation mieux adaptés à rechercher une planète proche de son étoile.
 - Quand on fait une recherche documentaire sur les propriétés magnétiques des étoiles de type M, on trouve que les champs magnétiques de celles-ci peuvent aller jusqu'à quelques centaines de Gauss au niveau de l'étoile : voir par exemple l'article cité en référence 1 et le tableau ci-après.
- ⇒ Une étoile de type K devrait donc logiquement avoir un champ magnétique compris entre celles de type G et celles de type M, soit allant de quelques Gauss à quelques centaines de Gauss. La physique explique que c'est la zone de convection de l'étoile qui augmente quand on passe du type G au type M, entraînant l'augmentation du champ magnétique.

Si on revient à la référence 1 citée au début, on y trouve le tableau suivant (extrait).

Star ID	Year obs.	Sp. type	M_* (M_\odot)	R_* (R_\odot)	P_{rot} (d)	Ro (0.01)	$\langle B_*^{\text{ZDI}} \rangle$ (G)	T_{eff} (K)
GJ 182	2007	M0.5	0.75	0.82	4.35	17.4	172	3950
DT Vir	2008	M0.5	0.59	0.53	2.85	9.2	149	3790
DS Leo	2008	M0	0.58	0.52	14.00	43.8	87	3770
GJ 49	2007	M1.5	0.57	0.51	18.60	56.4	27	3750
OT Ser	2008	M1.5	0.55	0.49	3.40	9.7	123	3690
CE Boo	2008	M2.5	0.48	0.43	14.70	35.0	103	3570
AD Leo	2008	M3	0.42	0.38	2.24	4.7	180	3540
EQ Peg A	2006	M3.5	0.39	0.35	1.06	2.0	480	3530
EV Lac	2007	M3.5	0.32	0.30	4.37	6.8	490	3480
V374 Peg	2006	M4	0.28	0.28	0.45	0.6	640	3410
EQ Peg B	2006	M4.5	0.25	0.25	0.40	0.5	450	3340
GJ 1156	2009	M5	0.14	0.16	0.49	0.5	100	3160
GJ 1245 B	2008	M5.5	0.12	0.14	0.71	0.7	60	3030
WX UMa	2009	M6	0.10	0.12	0.78	0.8	1060	2770
DX Cnc	2009	M6	0.10	0.11	0.46	0.5	80	2700

Les étoiles de type M étudiées dans la publication ne sont pas tout à fait dans la famille de celle de l'oumma (type K), mais les plus massives s'en rapprochent beaucoup au niveau de leurs propriétés. Si on considère les deux lignes du haut pour les deux étoiles les plus massives, la première étant à peu près de la même masse que l'oumma, on note deux points intéressants :

- ⇒ Les champs magnétiques indiqués sont respectivement de 172 et 149 Gauss, ce qui correspond bien pour l'oumma à la fourchette haute fournie. A noter que les champs magnétiques sont effectivement mesurés par une technique basée sur l'effet Zeeman (ZDI) comme annoncé dans le texte Ummite.
- ⇒ Un autre point très intéressant concerne la période de rotation de ces étoiles, qui tournent sur elles-mêmes de manière beaucoup plus rapide que le Soleil : presque un facteur 10 pour la seconde. Si on examine le tableau entier, on se rend compte qu'une valeur élevée du champ magnétique va en moyenne de pair avec une période de rotation courte. **Se pourrait-il que l'oumma tourne sur elle-même en quelques jours seulement ?**

C'est une question intéressante qui pourrait positionner Ioumma dans ce que les physiciens appellent les fast rotators. Et cette propriété serait cohérente avec un champ magnétique élevé de l'étoile Ioumma dans la fourchette {3.8,216} Gauss.

Remarquons aussi que si nous avons considéré ces valeurs au niveau de Ummo, cela donnerait d'une part des valeurs extraordinaires du champ magnétique au niveau de Ioumma, réservées plutôt à des objets spéciaux comme les étoiles T-Tauri, les naines blanches, voire les pulsars, mais d'autre part, il n'y aurait plus du tout de magnétosphère sur Ummo : en conséquence, il n'y aurait sans doute plus d'atmosphère sur Ummo en raison de l'érosion progressive des couches de l'atmosphère par le vent solaire de Ioumma puisque le vent solaire pourrait alors pénétrer directement sur Ummo.

⇒ **Nous prendrons au final la fourchette de valeurs {3.8,216} Gauss au niveau de Ioumma pour la suite de l'étude.**

La zone aurorale de Ummo

Nous avons maintenant toutes les informations utiles permettant d'estimer la magnétosphère de Ummo et la zone aurorale qui en découle, ceci en parfaite analogie et avec les mêmes équations que celles utilisées pour le couple Terre-Soleil.

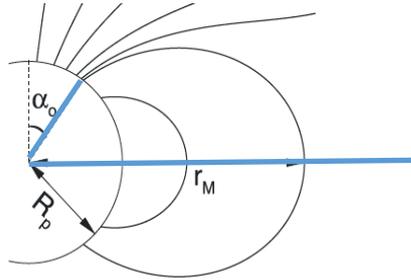
Compte tenu des fourchettes de valeurs pour le champ magnétique de Ummo et celle de Ioumma au niveau de Ummo, nous allons calculer plusieurs valeurs du rayon r_M (équilibre entre la pression magnétique de Ioumma et celle de Ummo), et de ce fait plusieurs valeurs de l'angle auroral α_0 .

L'annexe 2 détaille ces calculs, et rappelle les données d'entrée fournies par les textes concernant le couple Ioumma-Ummo utiles pour ces calculs.

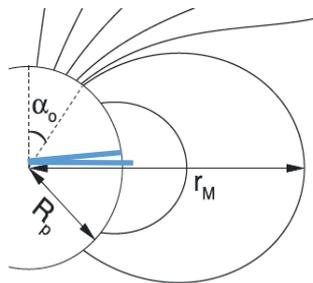
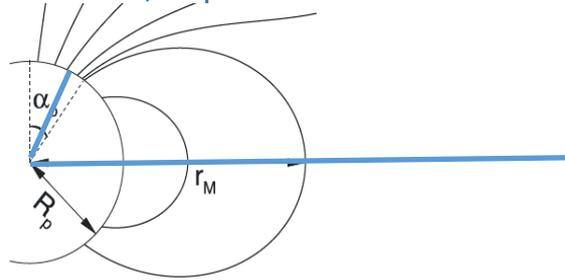
La figure suivante résume l'éventail des angles auroraux α_0 calculés selon les 4 couples de valeurs { B_{Ioumma} , B_{Ummo} }.

Nous avons également porté sur cette figure les lieux r_M ou les pressions magnétiques de Ummo et de Ioumma s'équilibrent, ce qui marque le début de la magnétosphère de Ummo.

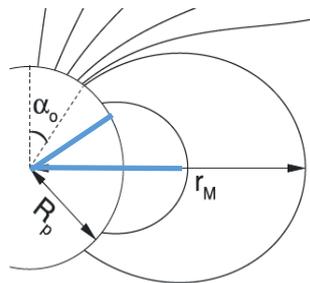
{Mini loumma, Mini Ummo}
 $r_M = 3,9 R_p$ et $\alpha_0 = 30^\circ$



{Mini loumma, Maxi Ummo}
 $r_M = 5,7 R_p$ et $\alpha_0 = 25^\circ$



{Maxi loumma, Mini Ummo}
 $r_M = 1,004 R_p$ et $\alpha_0 = 86^\circ$



{Maxi loumma, Maxi Ummo}
 $r_M = 1,5 R_p$ et $\alpha_0 = 55^\circ$

Cette figure montre que la zone aurorale sur Ummo fluctuerait énormément entre la zone polaire (comme sur Terre), et les basses latitudes : en effet, lors des maxima de champ magnétique de loulmma, la zone aurorale peut s'étendre jusqu'aux basses latitudes, **voire jusqu'à l'équateur**.

Dans ce dernier cas, cela signifie que la magnétosphère de Ummo devient très réduite et c'est sans doute pourquoi les Ummites évoquent le rôle joué alors par leur ionosphère pour éviter l'influence au sol des radiations du vent solaire de loulmma. L'ionosphère doit jouer aussi dans ce cas le rôle provisoire de magnétosphère induite, de manière analogue à ce qui se passe sur Vénus qui ne possède pas de champ magnétique, et subit une érosion atmosphérique régulière et notamment des pertes d'eau. (Wikipédia Atmosphère de Vénus).

De si fortes altérations ont une influence très sensible sur notre OYAA. Par exemple, la structuration de notre atmosphère en couches fortement ionisées a préservé le milieu écologique des forts niveaux de radiations. Les mutations ont été moins fréquentes dans les organismes et par conséquent la variété faune-flore est moins riche que sur TERRE.

La surface de la planète Ummo concernée par la zone aurorale va de 9% de sa surface à 93 % de sa surface (voir Annexe 2 pour les détails).

Ainsi, les transferts d'énergie (comme expliqué plus haut pour la Terre) doivent effectivement se traduire par des aurores « boréales » allant jusqu'à l'équateur, mais aussi par des phénomènes de courants induits (GIC : revoir cette définition plus haut) qui doivent concerner selon les conditions magnétiques toute la surface de la planète Ummo.

Il n'est pas possible à ce stade d'estimer l'ordre de grandeur de ces courants induits sur Ummo car il manque pour cela beaucoup d'informations, les deux plus importantes étant :

- Les flux des particules chargées du vent solaire de Ioumma au niveau de Ummo qui vont alimenter les courants de Birkeland.
- Et surtout les fluctuations temporelles du champ magnétique de Ioumma au niveau du sol de Ummo, c'est-à-dire le dB/dt de la loi de Lenz qui permet d'estimer la valeur des GIC.

On ne peut donc pas progresser sur la question des grands toroïdes métalliques utilisés pour produire du courant électrique comme l'explique le texte suivant (D 74). On comprend cependant à la lecture de ces quelques lignes qu'effectivement les dB/dt de l'environnement sont très gênants pour l'emploi de différents appareils, mais sans donner plus de détails.

La technologie a pris des directions distinctes de celles de la Terre. Les communications utilisant des fréquences électromagnétiques ne sont possibles que dans des cas bien déterminés et la grande variété d'équipements dans lesquels interviennent des fonctions gradient de potentiel magnétique doivent être compensés pour éviter les fortes perturbations de l'extérieur.

Notre protohistoire de la technique enregistre l'utilisation par nos frères ancêtres de grands toroïdes métalliques déroulées dans les champs (on trouve encore des restes de câbles enterrés à ces périodes) dans lesquelles circulaient des courants électriques intenses de type apériodique et dont l'énergie était accumulée (de la même manière que vous pour vos batteries) pour être utilisée ultérieurement (note 2).

Conclusion

Les informations fournies dans les textes Ummites concernant les valeurs des champs magnétiques de l'étoile Ioumma et de la planète Ummo permettent d'estimer ce qu'on appelle la zone aurorale de la planète Ummo.

Cette zone aurorale dépend des conditions magnétiques du couple Ioumma-Ummo, et selon les cas, s'étend de la zone polaire comme sur Terre, mais peut s'étendre effectivement jusqu'à l'équateur, ce qui est cohérent avec l'émerveillement vis-à-vis de ce phénomène souvent décrit par les Ummites, ces derniers vivant plutôt près de l'équateur. En terme d'habitabilité, cette précaution est d'ailleurs sans doute fondée car la magnétosphère peut quasiment disparaître lors des maximas d'activité de l'étoile Ioumma, couplés avec des minimas de champ magnétique de la planète Ummo.

La valeur du champ magnétique de l'étoile Ioumma peut prendre des valeurs très élevées (216 Gauss), ce qui pourrait être cohérent avec une étoile tournant sur elle-même de manière beaucoup plus rapide que le soleil (qui tourne sur lui-même en moyenne en 27 jours).

Ce serait une première question à poser (durée de rotation d'Ioumma sur elle-même ?), sachant que nos connaissances actuelles vont dans le sens d'une corrélation « fort champ magnétique de l'étoile-faible période de rotation de celle-ci ».

La zone aurorale est sujette à l'équivalent de nos aurores boréales, mais également à des phénomènes perturbateurs que l'on nomme sur Terre GIC (geomagnetically induced currents). Ces GIC sur Terre sont de l'ordre de la centaine d'Ampères, et peuvent entraîner des effets destructeurs sur des composants électriques industriels. Leur amplitude courante est toutefois très largement insuffisante dans l'optique d'une production d'électricité sur Terre.

C'est pourquoi la question des grands toroïdes métalliques producteurs d'électricité sur Ummo interpelle et reste totalement ouverte car il manque des informations non pas sur les valeurs absolues des champs magnétiques mais sur leurs variations en fonction du temps : ceci permettrait ensuite d'appliquer la célèbre loi de Lenz (dB/dt) à différentes géométries de toroïdes.

Là encore, ces variations mêmes aperiodiques du champ magnétique induit au sol sur Ummo dépendent probablement des propriétés de l'étoile Ioumma, aussi bien au niveau de son champ magnétique que du vent solaire qu'elle émet.

Ce serait une seconde question à poser : quelles sont les propriétés particulières de l'étoile Ioumma conduisant à générer les gradients de champ magnétique au niveau d'Ummo suffisants pour produire de l'électricité ?

Annexe 1

Le champ magnétique d'Ummo

Les documents Ummites précisent une fourchette de valeur pour le champ magnétique d'Ummo de {0.07,0.23} Gauss, à comparer à celui de la Terre de l'ordre de 0.8 Gauss.

Ces valeurs pour Ummo sont très plausibles comme nous allons le découvrir.

Nous allons nous baser sur la publication suivante, qui date de 1992.

*Adv. Space Res. Vol. 12, No. 8, pp. (8)265-(8)279, 1992
Printed in Great Britain. All rights reserved.*

0273-1177/92 \$15.00
Copyright © 1992 COSPAR

A NEW SCALING LAW OF THE PLANETARY MAGNETIC FIELDS

Hitoshi Mizutani, Tetsuo Yamamoto and Akio Fujimura

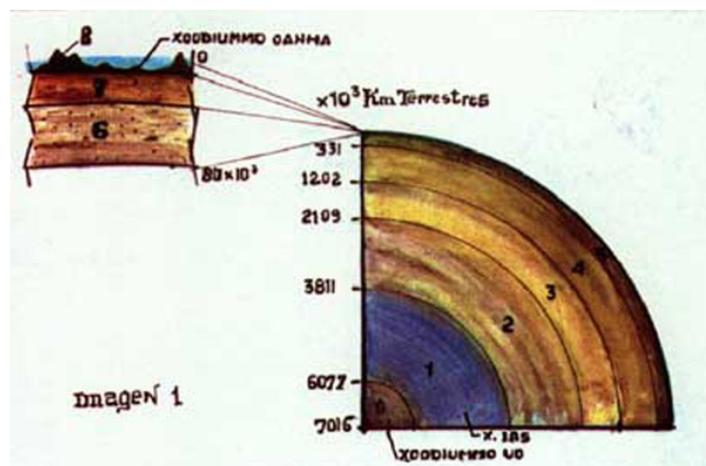
*Institute of Space and Astronautical Science, Yoshinodai 3-1-1, Sagamihara,
Kanagawa 229, Japan*

Selon cette publication, l'évaluation du champ magnétique d'une planète rocheuse nécessite la connaissance des paramètres suivants :

- R_c rayon du noyau magnétique de la planète
- ρ_c densité du noyau de la planète
- R rayon de la planète
- Ω vitesse angulaire de rotation de la planète
- σ la conductivité électrique des matériaux du noyau soumis à très haute pression et très haute température

Tous ces paramètres sont disponibles pour notre planète Terre.

Pour Ummo, il est assez remarquable de noter que beaucoup de ces paramètres sont disponibles dans la lettre D74 :



- $R_c = 7016 - 6077 = 939$ km
- $\rho_c = 16.22$ g/cm³
- $R = 7251$ km
- Ω : calculé à partir de la durée d'une journée de 30.92 heures.

Le noyau d'Ummo serait constitué de 88% de Cobalt, mais nous n'avons aucune information sur la conductivité électrique du noyau ni même sur les conditions de température et de pression qui y règnent.

Pour mémoire, voici les données équivalentes sur Terre :

- $R_c = 6371 - 5135 = 1236$ km
- $\rho_c = 13$ g/cm³
- $R = 6371$ km
- Ω : calculé à partir de la durée d'une journée de 24 heures.
- σ environ $1.5 \cdot 10^6$ Ohm⁻¹ m⁻¹ pour des températures de l'ordre de 3750 °K et des pressions d'environ 135 GPa, le noyau étant constitué à 80 % de Fer.

Devant l'absence de données de conductivité pour Ummo, il est quand même possible d'utiliser une approximation qui ne fait pas appel à cette information manquante.

On utilise la formule suivante donnée dans la référence ci-dessus, qui donne une valeur proportionnelle du champ planétaire en fonction des paramètres connus.

$$B_p = Cte * \text{Sqrt}[\rho_c] R_c \Omega (R_c/R)^3$$

Le champ magnétique du dipôle terrestre vaut 0.8 Gauss.

Le calcul numérique du ratio B_{pUmmo}/B_{pTerre} donne la valeur 0.196. On en déduit le champ magnétique pour Ummo :

$$B_{p_Ummo} = 0.196 * 0.8 = 0.157 \text{ Gauss.}$$

Cette valeur est remarquablement cohérente de la fourchette de valeurs {0.07,0.23} Gauss fournie dans le texte D 74.

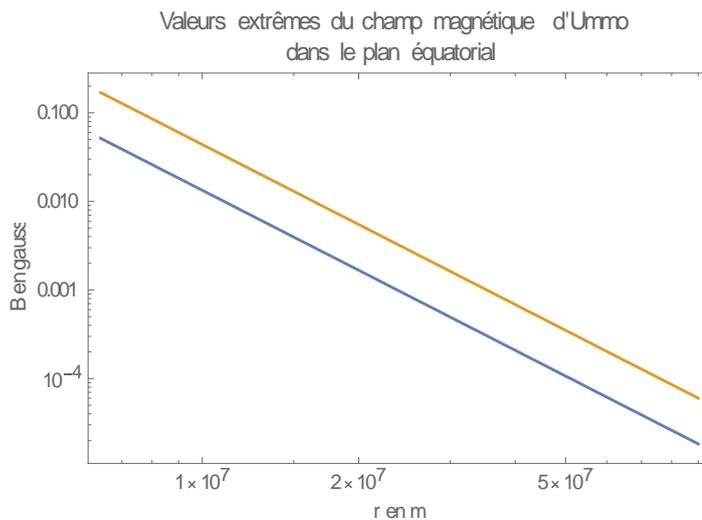
Annexe 2 Calcul des zones aurorales de la planète Ummo

Paramètres pour Ummo : rayon en m, champ mini en Gauss, champ maxi en Gauss

$$Um = \{r_p \rightarrow 7251000, B_{p1} \rightarrow 0.07, B_{p2} \rightarrow 0.23\}$$

Expression du champ magnétique du dipôle de Ummo en Gauss dans le plan équatorial

$$B_p [r, B_{p0}] = \frac{1}{2} B_{p0} \left(\frac{r_p}{r}\right)^3$$



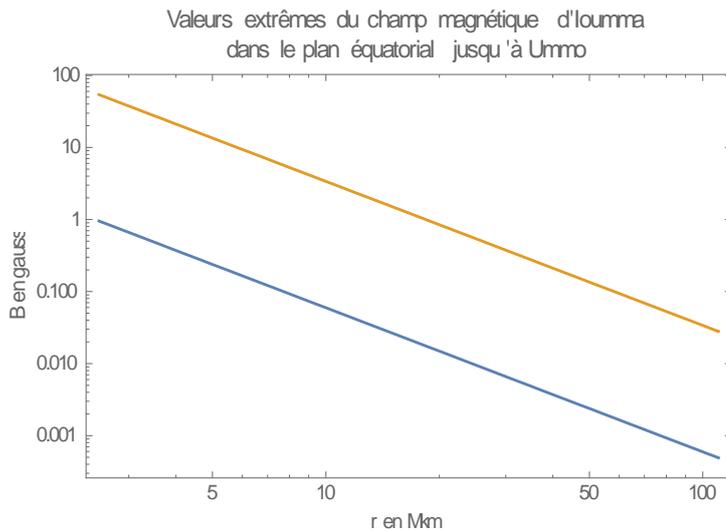
Paramètres de l'étoile Ioumma

Rayon relatif à celui du soleil en millions de km, rayon de l'orbite d'Ummo également en millions de km, champ mini et champ maxi de Ioumma en gauss.

$$Io = \{r_{star} \rightarrow 0.715 * 0.7, r_{orb} \rightarrow 0.664 * 149, B_{star1} \rightarrow 3.8, B_{star2} \rightarrow 216\}$$

Champ magnétique de l'étoile dans son plan équatorial jusqu'à Ummo en Gauss

$$B_s [r, B_{star}] = B_{star} \left(\frac{2.5 r_{star}}{r}\right)^2$$



Distance à partir du centre d'Umma ou lieu de l'équilibre des champs magnétiques (c'est à dire lieu ou les pressions magnétiques s'équilibrent).

Résultats en m. Le rayon de Umma est de $7.25 \cdot 10^6$ m.

$$x1 = \text{NSolve}[(Bs[\text{rorb}, Bstar1]/.lo) == (Bp[r, Bp1]/.Um), r][[3]][[1]][[2]]$$

$$2.80005 \cdot 10^7$$

$$x2 = \text{NSolve}[(Bs[\text{rorb}, Bstar1]/.lo) == (Bp[r, Bp2]/.Um), r][[3]][[1]][[2]]$$

$$4.16271 \cdot 10^7$$

$$x3 = \text{NSolve}[(Bs[\text{rorb}, Bstar2]/.lo) == (Bp[r, Bp1]/.Um), r][[1]][[1]][[2]]$$

$$7.28243 \cdot 10^6$$

$$x4 = \text{NSolve}[(Bs[\text{rorb}, Bstar2]/.lo) == (Bp[r, Bp2]/.Um), r][[1]][[1]][[2]]$$

$$1.08265 \cdot 10^7$$

Ratios de ces lieux par rapport au rayon de Umma.

Rappel : sur Terre, le ratio vaut 11.3

$$\text{ratio} = \{x1, x2, x3, x4\} / \text{rp} / .Um$$

$$\{3.86161, 5.74088, 1.00433, 1.4931\}$$

Calcul des différents angles auroraux en radians puis en degrés.

Rappel : sur Terre, l'angle auroral vaut environ 17 °.

$$\alpha0 = \text{ArcSin}[\text{Sqrt}[1/\text{ratio}]]$$

$$\{0.533884, 0.430538, 1.50506, 0.958589\}$$

$$\alpha0 / \text{Pi} * 180$$

$$\{30.5893, 24.668, 86.2334, 54.9231\}$$

Fraction de la surface de Umma possédant des lignes de champ magnétiques ouvertes.

$$\text{Apolar} = \text{Umma} (1 - \text{Cos}[\alpha0])$$

$$\{0.139163 \text{ Umma}, 0.0912588 \text{ Umma}, 0.934307 \text{ Umma}, 0.425325 \text{ Umma}\}$$