Résumé

La magnétosphère est la région englobant toutes les lignes de force magnétiques de la Terre.
Le vent solaire formé d'hydrogène ionisé et continuellement éjecté par le Soleil, interagit avec le champ geomagnétique. Il est dévié littéralement autour de la cavité magnétosphérique de la même manière qu'un vent supersonique est dévié autour d'un objet solide.
La frontière de la magnétosphère s'appelle la "magnétopause". Celle-ci se situe à une distance radiale d'environ dix rayons terrestres à l'avant de la Terre en direction du Soleil.
La surface de la magnétopause s'étire à plusieurs milliers de rayons terrestres dans la direction d'écoulement du vent solaire.
Bien que les aurores boréales ont manifesté aux hommes l'existence d'une magnétosphère depuis la plus haute antiquité, il a fallu les développements technologiques des vingt dernières années pour réellement découvrir les propriétés générales et les multiples zones de la magnétoshpère terrestre. Ces propriétés et les nombreuses régions de la magnétosphère sont décrites dans le texte, en parcourant les sentiers de l'histoire qui ont conduits à leur découverte.

Samenvatting

De magnetosfeer van de aarde is het gebied dat alle magnetische krachtlijnen omvat.
De zonnewind,gevormd uit volledig geïoniseerde waterstof,continu door de zon uitgeworpen, treedt in wisselwerking met het geomagnetisch veld. Hij wordt afgebogen rond de magnetosferische holte op dezelfde manier als een supersonische wind wordt afgebogen omheen een vast voorwerp.
De grens van de magnetosfeer heet de "magnetopause". Ze is gelegen op een afstand van ongeveer tien aardstralen in de richting van de zon.
Het oppervlak van de magnetopause strekt zich uit tot op vele duizenden aardstralen afstand in de richting van de zonnewind.
Alhoewel het noorderlicht reeds sinds de oudheid aan de mens het bestaan van een magnetosfeer onthulde, heeft men toch op de technologische ontwikkeling van de laatste twintig jaar moeten wachten vooraleer het duidelijk werd dat dit natuurverschijnsel een bewijs is voor het bestaan van de aardse magnetosfeer.
De algemene eigenschappen en de verschillende gebieden van de magnetosfeer worden in de tekst beschreven.

Abstract

The magnetosphere is the region containing all magnetic field lines anchored in the earth. The solar wind formed of fully ionized hydrogen and continuously emitted by the sun, interacts with the geomagnetic field. It is deflected around the magnetospheric cavity like an air flow around a solid object. The boundary of the magnetosphere is called "the magnetopause". It is located at a distance of about ten earth radii in the direction of the sun. The surface of the magnetopause extends several thousands of earth radii in the solar wind flow direction. Although aurorae borealis are known since a long time, it became clear only since less than twenty years that these natural phenomena are optical proofs for the existence of a terrestrial magnetosphere.
The general properties and the many different regions of the magnetosphere are described in the manuscript.

LA MAGNETOSPHERE

Dr. J. Lemaire

1. Introduction

Vers 1960 apparut une nouvelle catégorie de géophysiciens qui forgèrent le vocable "magnétosphère" pour situer l'objet de leurs recherches.

On peut définir la magnétosphère comme l'espace dans lequel le champ magnétique terrestre détermine et influence la distribution de la matière ionisée c'est-à-dire le plasma qui entoure la Terre.

Pour préciser les limites et les caractéristiques de cette région de notre environnement, il est intéressant de suivre l'histoire de la découverte de la magnétosphère de notre planète.

2. Aurores boréales : phénomènes magnétosphériques

La plus ancienne preuve de l'existence de la magnétosphère de la Terre est indubitablement l'aurore boréale. Les aurores boréales sont des lueurs colorées et mouvantes éclairant le ciel du Grand Nord. Ces météores lumineux se manifestent principalement dans deux régions aurorales entourant les pôles géomagnétiques Nord et Sud. Ces régions annulaires que l'on appelle aussi les ovals auroraux se situent approximativement entre les latitudes géomagnétiques de 65° et 70°.

On remarqua très tôt que la position moyenne et la fréquence d'apparition des aurores boréales et australes dépendent de l'activité solaire. Lorsque le Soleil est calme, c'est-à-dire lorsqu'il y a peu de taches à sa surface, les régions aurorales se rapprochent des pôles magnétiques. Par contre, lorsque l'activité solaire est maximale, il est possible d'observer des aurores boréales même à nos latitudes (45 à 50°). Cette lumière qui a inspiré tant de légendes dans les pays nordiques, est produite par des électrons s'échappant de la magnétosphère et spiralant le long des lignes de force du champ géomagnétique. Lorsque ces électrons pénètrent dans les couches denses de l'atmosphère terrestre, ils ionisent et excitent des atomes et des molécules situés entre 300 km et 100 km d'altitude. En retombant au niveau fondamental, les atomes d'oxygène, les molécules N_2 et les ions N_2^+ émettent des photons à différentes longueurs d'onde (557.7nm, 630.0nm, 636.3nm ou 391.4nm), ce qui donne les colorations vertes, bleues, rouges ou violettes aux aurores boréales et australes.

Depuis l'Antiquité, l'homme, en regardant ces spectaculaires illuminations naturelles, observait ce que nous savons être à présent une manifestation directe de la magnétosphère terrestre.

La relation existant entre les aurores et le magnétisme terrestre est connue depuis plus d'un siècle et demi. En effet, dans son livre "Physique Expérimentale", le physicien français Biot ecrivait en 1817: "Des observations multipliées prouvent que l'aiguille aimantée est sujette à des variations brusques qui coïncident avec des apparitions du météore lumineux que l'on appelle aurore boréale. On ignore absolument la cause de cette correspondance aussi bien que celle de l'aurore boréale elle-même".

Depuis 1600, on sait que le globe terrestre est un gigantesque aimant. En effet, à cette époque,W. Gilbert écrivit dans son livre "DE MAGNETE": "Magnus magnes ipse est globus terrestris".

Les lignes de force magnétique de cet aimant sont celles d'un dipole telles celles représentées dans la figure 1.
On peut donc dire que c'est vers cette époque que naquit une nouvelle Science de la Terre: le Geomagnetisme.

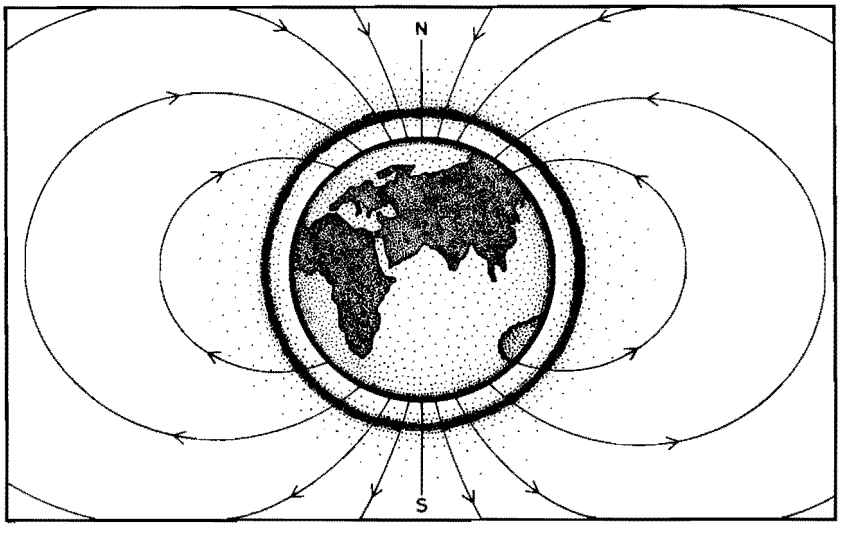

Fig. 1. Distribution de lignes de force magnétique dipolaire enveloppant le globe terrestre.

La première carte des déclinaisons géomagnétiques fut dressée par Ed. Halley en 1700. Depuis lors, on développera des cartes géomagnétiques de plus en plus précises, qui serviront à l'orientation des navigateurs en mer et des explorateurs sur terre.

On mit rapidement en évidence des écarts au champ dipolaire général de la Terre. Ces anomalies magnétiques sont associées à des inhomogénéités de terrains, à des phénomènes géologiques et à des courants électriques circulant dans l'ionosphère ainsi que dans le sol lui-même.

Une variation diurne du champ magnétique fut également mise en évidence. Ces changements d'intensité et de déclinaison du champ magnétique terrestre furent expliqués par l'effet des marées atmosphériques solaires induisant un système de courants électriques à 110 km d'altitude dans la région E de l'ionosphère. On notera ainsi que l'amplitude de cette variation diurne du champ géomagnétique ne dépend pas seulement de la latitude et de la longitude de l'observation terrestre, mais dépend des saisons, de la phase de la Lune et de l'activité solaire.

4. Orage Géomagnétique produit par un courant annulaire

Les variations géomagnétiques transitoires furent découvertes en 1722 par Graham, en observant au microscope les faibles mouvements d'une boussole. Ces variations magnétiques non-périodiques qu'on appelera orages magnétiques", sont directement liées à l'activité solaire; leur fréquence est d'autant plus grande que le Soleil est actif.

Chapman et Ferraro suggèrent en 1930 que ces manifestations sont dues à l'interaction entre le champ géomagnétique et des particules ionisées éjectées sporadiquement par des centres actifs à la surface du Soleil. Ces nuages de gaz ionisés préfigurent ce qu'en 1959 Parker appelera le "vent solaire".
Ils exercent une pression sur le champ géomagnétique. Cette compression du champ géomagnétique par des bouffées de plasma solaire produit l'augmentation brusque de la composante horizontale du champ magnétique terrestre au début des orages magnétiques. Suite à cette phase de compression, il se produit une diminution de plusieurs centaines de Gammas dans l'intensité du champ magnétique ($1\ \gamma = 10^{-5}$ Gauss $= 10^{-9}$ Tesla; l'intensité du champ magnétique à l'équateur est égale à 31000 γ).
Cette catastrophique dépression du champ géomagnétique est due à la formation d'un gigantesque courant annulaire circulant à 5 - 6 rayons terrestres au voisinage du plan équatorial.

Au cours de la phase de recouvrement d'un orage magnétique, l'intensité totale de ce courant annulaire décroit progressivement sur une période de deux à trois jours. L'effet magnétique d'un tel courant annulaire fut reconnu dès le début du siècle. L'existence d'un courant annulaire transitoire fut confirmée après 1958 grâce aux observations par satellites artificiels.

Suite aux travaux de Störmer et de Lemaître sur les trajectoires de particules chargées dans un champ magnétique dipolaire, on imagina d'abord que cet anneau de courant électrique était formé par les particules chargées du rayonnement cosmique. Ces particules de haute énergie, découvertes au cours des années 30, effectuent des trajectoires très complexes dans le champ magnétique dipolaire de la Terre. Cependant, les particules chargées du rayonnement cosmique dont les énergies dépassent plusieurs centaines de millions d'Electron Volts, ont des flux et des densités très faibles ($10^{-9}cm^{-3}$ ou *une* particule dans un cube de 10 x 10 x 10m). Le courant annulaire qu'elles engendrent est beaucoup trop faible pour expliquer les variations du champ observées au cours de la phase principale d'un orage magnétique.

En 1957, Singer suggère que le courant annulaire est formé d'ions et d'électrons d'énergies beaucoup plus faibles que celles des rayons cosmiques c'est-à-dire des particules dont le rayon de courbure de la trajectoire est relativement petit. De telles particules peuvent être piégées dans les lignes de force du champ magnétique et y former une ceinture toroïdale telle que celle découverte un peu plus tard en 1959 par Van Allen grâce aux compteurs Geiger Muller, installés à bord du satellite Explorer I.

5. Les Ceintures de Van Allen

Les zones de radiation corpusculaire découvertes à l'aide d'Explorer I, sont bien connues sous le nom de "Ceintures de radiation de Van Allen". Les observations ont montré qu'il existait deux ceintures ou anneaux au sein desquelles les flux des protons et des électrons d'énergie sont supérieurs à 40 keV. La figure 2 montre les courbes d'isointensité du flux des protons d'énergie comprise entre 40 et 110 MeV. Cette figure indique

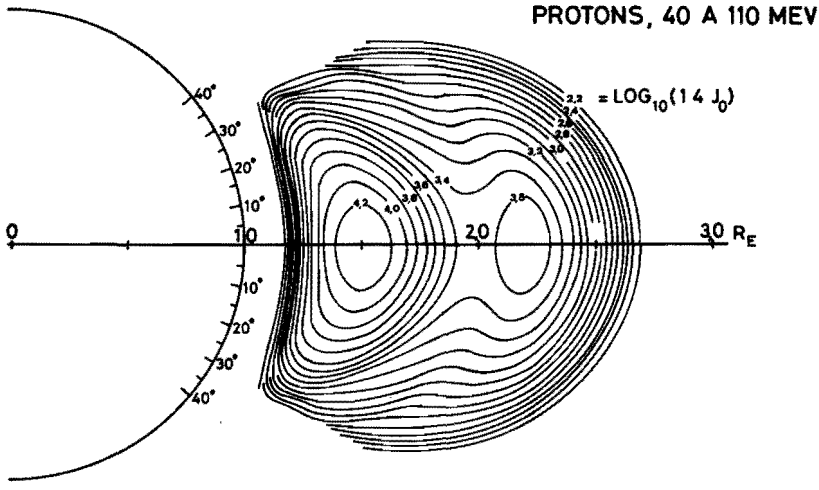

Fig. 2. Distribution de l'intensité de la radiation corpusculaire mesurée dans les deux ceintures de radiation de Van Allen.

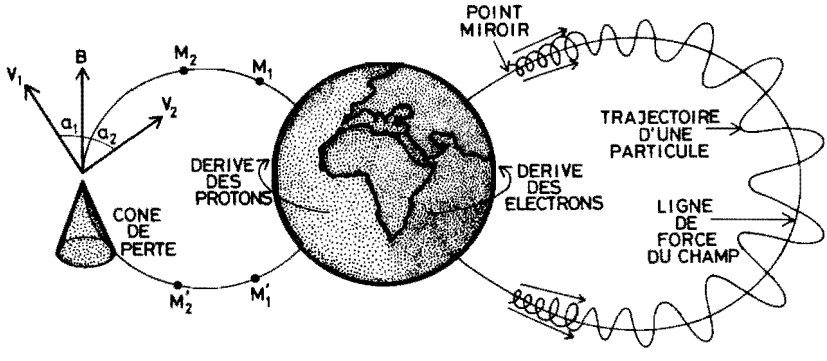

Fig. 3. Représentation de lignes de force magnétique dipolaire et les mouvements de particules chargées dans le champ magnétique: giration, oscillation en latitude et dérive en longitude vers l'Est pour les électrons, vers l'Ouest pour les ions.

que la radiation est concentrée dans la région équatoriale. La forme géométrique de ces zones est déterminée par les lignes de force du champ magnétique dipolaire de la Terre. La concentration des protons d'énergie supérieure à 40 MeV reste toutefois encore trop faible pour produire un courant annulaire d'intensité suffisante pour expliquer les perturbations enregistrées lors d'orages magnétiques.

Il a fallu attendre la mise en orbite de détecteurs de particules d'énergie plus faible (inférieure à 40 keV) et la publication des résultats de Frank en 1967 pour identifier les protons et électrons qui contribuent en majeure partie au courant annulaire produisant les orages magnétiques. Cette nouvelle population de particules d'énergie moyenne (1 - 40 keV) est injectée accidentellement au sein de la magnétosphère lorsque le flux du vent solaire s'intensifie et lorsque la composante Nord-Sud du champ magnétique interplanétaire change brusquement de signe.

6. Le Mouvement des particules chargées dans la magnétosphère

Lorsqu'elles sont piégées au sein de la magnétosphère, les particules chargées effectuent un mouvement de giration très rapide autour d'un centre de guidage glissant le long d'une ligne de force magnétique (voir figure 3). Le rayon de courbure de cette trajectoire est de 400m pour un électron de 30 keV, à 6 rayons terrestres dans le plan équatorial. Ces particules se déplacent aussi le long des lignes de force magnétique entre deux points de réflexions (points miroirs). La période d'oscillation entre ces points miroirs dépend de l'angle d'attaque (α_0) que fait la vitesse de la particule et la direction du champ magnétique dans le plan de l'équateur. Si $\alpha_0 = 6°$; la période d'oscillation latitudinale d'un électron de 30 keV est égale à 2 secondes. Comme la période de giration est seulement de 0,0002 seconde, on voit qu'il effectue environ 10000 girations de Larmor pendant une seule oscillation entre ses points miroirs. La force centrifuge s'exerçant sur le centre de guidage de l'électron au cours d'une telle oscillation ainsi que la force due au gradient du champ magnétique, ont toutes deux pour effet d'imprimer aux particules chargées un lent mouvement de dérive azimutale. Cette dérive s'effectue vers l'Ouest pour les ions positifs et vers l'Est pour les électrons. Un électron de 30 keV spiralant le long de lignes de force dont la distance équatoriale est de 6 rayons terrestres, dérive autour de l'axe géomagnétique avec une période d'environ 5 heures.
Un proton, de 30 keV énergie, dérive en sens opposé avec la même période. Les trois types de mouvement (giration, oscillation en latitude et dérive en longitude) sont illustrés dans la figure 3. Les mouvements de dérive en sens opposés pour les électrons et les ions donnent lieu au courant annulaire dont Singer avait prédit l'existence en 1957.

L'altitude des points miroirs est d'autant plus élevée que l'angle d'attaque (α_0) à l'équateur est grand. Lorsque l'angle d'attaque à l'équateur est situé à l'intérieur du cône de perte (Figure 3), la trajectoire de la particule aura un point miroir en dessous de 100 km d'altitude dans les couches denses de l'atmosphère terrestre. Cette particule subit alors en général une collision, ce qui l'empêche de remonter ultérieurement vers la magnétosphère. Ces collisions excitent les atomes neutres de l'atmosphère ce qui engendre finalement des phénomènes optiques, tels que les aurores boréales ou la lueur du ciel nocturne.

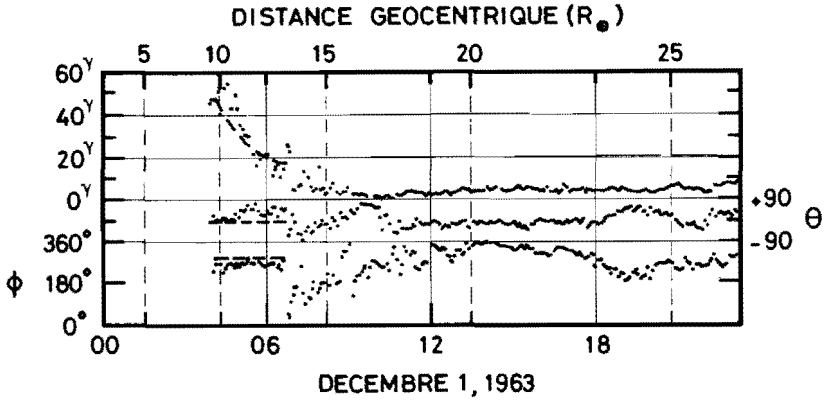

Fig. 4. Intensité (en gamma) et direction (en degré) du champ magnétique mesuré le 1er décembre 1963 par le satellite IMPI. La magnétopause est traversée à 11,1 rayons terrestres. L'onde de choc magnétosphérique est observée à 16,2 rayons terrestres.

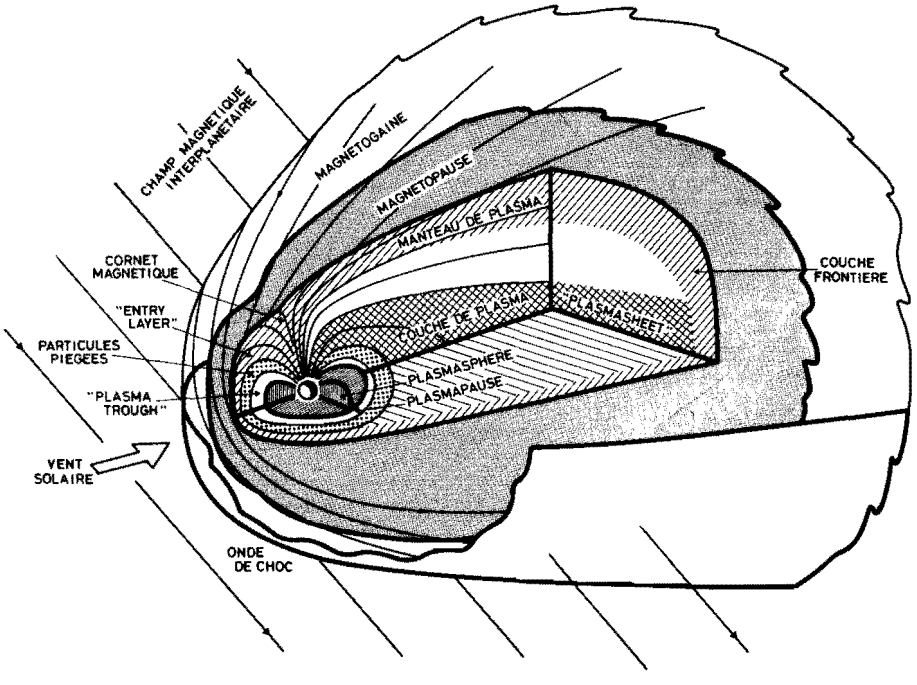

Fig. 5. La forme générale et les différentes régions de la magnétosphère terrestre.

Lorsqu'on s'éloigne de plus en plus de la Terre, l'intensité du champ magnétique décroît inversément au cube de la distance radiale. Au-delà de 8 rayons terrestres, des écarts de plus en plus importants à cette loi de variation ont été mis en évidence par les magnétomètres embarqués à bord de satellites artificiels. L'intensité et la direction du champ géomagnétique varient de plus en plus irrégulièrement autour de la valeur correspondant à une distribution dipolaire comme le montre la Figure 4. Finalement, vers 10 rayons terrestres, la direction du champ magnétique change brusquement. On a alors atteint la magnétopause, c'est-à-dire une surface de discontinuité séparant deux régions, d'une part, la région où le plasma est contrôlé par le champ géomagnétique et, d'autre part, la région où le plasma du vent solaire est contrôlé par le champ magnétique interplanétaire. Finalement, vers 13 rayons terrestres, on découvrit en 1961 une dernière frontière: l'onde de choc magnétosphérique. Au travers de cette onde de choc, le vent solaire soufflant en direction de la Terre avec une vitesse supersonique de 400km/s, est décéléré et comprimé. Dans la région intermédiaire entre l'onde de choc et la magnétopause, le plasma du vent solaire est dévié latéralement autour de la magnétosphère qui se comporte presque comme un obstacle impénétrable au vent solaire.

La distance radiale minimum de la magnétopause est de 10 rayons terrestres en direction du Soleil. Par contre, dans la direction opposée, la magnétosphère possède une queue comme le montre la figure 5. Cette queue de la magnétosphère s'étend au-delà de l'orbite lunaire, à plus de 1000 rayons terrestres.

La magnétopause se forme à la distance où la pression du champ géomagnétique est suffisamment grande pour contrebalancer la pression cinétique du vent solaire incident. Lorsque le flux de quantité de mouvement du vent solaire augmente, la magnétopause se forme à une distance radiale plus faible, où le champ géomagnétique est plus grand.

La magnétopause a tantôt été considérée comme une surface fermée enveloppant toutes les lignes de force du champ géomagnétique, tantôt comme une discontinuité au travers de laquelle toutes les lignes de force géomagnétiques polaires sont interconnectées avec celles du milieu interplanétaire. Cependant, ni le modèle complètement fermé de la magnétosphère proposé par l'école de Chapman et Ferraro, ni le modèle complètement ouvert de l'école de Dungey n'ont résistés aux tests des observations de plus en plus précises accumulées au cours des dix dernières années. Le défaut commun de ces deux types de modèles était d'être basé sur une hypothèse de stationnarité. En effet, pendant très longtemps, le vent solaire avait été supposé stationnaire et uniforme sur des distances comparables au diamètre de la magnétosphère. En 1975, j'ai remis cette hypothèse simplificatrice en question, suite à des analyses de magnétogrammes à haute résolution obtenue avec le satellite Explorer 43 par le groupe de N.F. Ness du Goddard Space Flight Center.
En effet, il m'apparut alors que le champ magnétique interplanétaire était très tourmenté et irrégulier et j'en déduisis que le plasma du vent solaire devait être très peu uniforme et inhomogène sur des distances inférieures au diamètre de la magnétosphère.
Ces irrégularités de densité de plasma, dont l'existence fut confirmée par la suite, devraient pénétrer dans le champ géomagnétique à des profondeurs d'autant plus grandes que leur quantité de mouvement est élevée. Lemaire et Roth suggèrent alors en 1976 au cours d'un symposium à Amsterdam, que les éléments de plasma dont l'impulsion est plus grande que la moyenne, traversent la magnétopause et s'enlisent à l'intérieur de la magnétosphère comme le montre la figure 6. Ces éléments de plasma

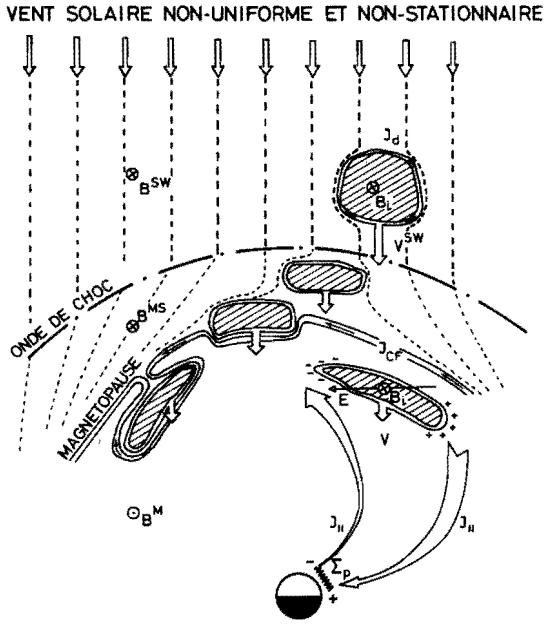

Fig. 6. Illustration montrant des éléments de plasma du vent solaire injectés impulsivement dans la magnétosphère. Ces irrégularités de plasma transfèrent leur excès d'énergie par dissipation Joule dans la région-E de l'ionosphère.

déforment donc la magnétopause et y produisent en quelque sorte, des trous au travers desquels le vent solaire est injecté au sein de la magnétosphère. L'interaction électromagnétique entre ces éléments de plasma et les champs magnétosphériques permet de tranférer leur excès de quantité de mouvement ainsi que leur excès d'énergie à la région E de l'ionosphère. Ceci a pour conséquence de chauffer l'ionosphère et l'atmosphère neutre.Ce transfert d'impulsion et ce chauffage par effet Joule se produit au voisinage des points neutres où toutes les lignes de force de la magnétopause convergent en forme de "cornets" (voir Figure 5). Cette récente théorie de la pénétration impulsive du vent solaire dans la magnétosphère, explique l'ensemble des observations obtenues jusqu'à présent. Dans cette nouvelle théorie, les irrégularités du champ magnétique observées dans la région frontière, jusqu'à l'intérieur de la magnétopause, sont interprétées comme les signatures diamagnétiques, des éléments de plasma du vent solaire ayant pénétré impulsivement dans la magnétosphère.

8. Les Autres Régions de la magnétosphère

La coupe de la magnétosphère montrée par la figure 5, laisse apparaître les différentes régions magnétosphériques que les techniques spatiales nous ont permis de découvrir. Outre les ceintures de radiation de Van Allen et la région frontière de la magnétosphère (dénommée "Entry Layer" dans la terminologie anglo-saxonne) que nous venons de décrire, on distingue la "plasmasheet", la plasmasphère, la "plasma trough", le vent solaire et le manteau de plasma dans les lobes de la queue magnétosphérique.

La "couche d'entrée" voisine de la magnétopause possède une épaisseur de *un* rayon terrestre. C'est la couche tampon au sein de laquelle viennent s'enliser les éléments de plasma du vent solaire injectés impulsivement dans la magnétosphère.
Dès que ces irrégularités ont pénétré au sein de la région frontière, le mouvement des particules qu'elles contiennent est gouverné par le champ géoélectrique et le champ géomagnétique. Une partie de ces particules est précipitée le long des lignes de force des "cornets magnétosphériques", dans deux régions conjuguées de l'ionosphère dont la position est déterminée par celle des deux points neutres de la magnétopause (voir fig.4).

D'autres particules injectées à l'avant de la magnétosphère et dont le point miroir est situé au dessus de 1000 km d'altitude,(c'est-à-dire en dehors de l'atmosphère terrestre) sont réfléchies et spiralent le long de lignes de force magnétique qui s'étendent dans les lobes de la queue magnétosphérique. Ces particules du vent solaire qui se déplacent vers l'arrière de la magnétosphère avec une vitesse de l'ordre de 200 km/s, forment une zone limitrophe de la magnétopause que Rosenbrauer en 1975 a appelé le "manteau de plasma" (plasma mantle en anglais).

Une dernière partie des particules injectées impulsivement et dont les points miroirs sont voisins du plan équatorial subissent des dérives en longitude perpendiculairement à la direction du champ magnétique. En plus de la dérive due au gradient de champ magnétique que nous avons mentionné ci-dessus pour les particules des Ceintures de Van Allen, on doit tenir compte d'une vitesse de dérive électrique donnée par la formule

$$\vec{v}_E = \vec{E} \wedge \vec{B}/B^2$$

où $\vec{E}$ et $\vec{B}$ sont les intensités des champs électriques et magnétiques. Ces mouvements de dérive en longitude tranportent les protons et les électrons de faible énergie vers l'arrière de la magnétosphère dans la région que l'on a appelé la "plamasheet". Cette région centrale de la queue constitue le réservoir des particules chargées qui précipitent occasionnellement dans les régions de latitude élevées en donnant lieu aux aurores boréales dont il était question au début de cet article.

Cette description des régions de la magnétosphère serait incomplète si l'on ne mentionnait pas la plasmasphère formée de particules ionosphériques et piégées le long des lignes de force magnétiques dipolaires dont la distance équatoriale est inférieure à 4 - 6 rayons terrestres. Dans cette ceinture toroïdale encerclant la Terre, on trouve des ions et des électrons dont l'énergie est très faible (1 - 10 eV).

La plasmasphère est en corotation avec l'ionosphère et la densité du plasma y est relativement élevée. La plasmasphère se termine de façon abrupte par une surface de discontinuité que l'on appelle la plasmapause. En effet, sur une distance parfois inférieure à un dixième de rayon terrestre, la densité ionique et électronique décroît de deux ordres de grandeur (c'est-à-dire de 300 particules par cm^3 à 3 particules par cm^3). La formation de cette remarquable discontinuité dans la densité de plasma magnétosphérique est due à une instabilité convective. En effet, à l'endroit où la force gravifique agissant sur le plasma est supplantée par la force centrifuge due à la corotation et à la convection magnétosphérique, tout élément de plasma dont la densité est supérieure à celle du milieu ambiant, a tendance à se détacher de la plasmasphère et à s'en éloigner. Par contre, un tube de force magnétique de densité inférieure à la moyenne a tendance à se déplacer le long d'une trajectoire fermée. Le long de cette trajectoire, l'action de la force gravifique sur cet élément est contrebalancée par celle de la force centrifuge au cours d'une révolution autour de la Terre. La plasmapause coïncide précisément avec cette trajectoire stable de tous les éléments de plasma dont la densité est plus faible que celle du milieu ambiant.

Au niveau de l'ionosphère supérieure, la plasmapause se manifeste par une diminution de la densité électronique vers 60° de latitude géomagnétique. Aux latitudes plus élevées que 60°, l'ionosphère se vide continuellement de son contenu d'ions légers tels que H^+ et He^+. Ces ions produits par photoionisation et par échange de charge en dessous de 100 km d'altitude, diffusent vers le haut pour remplacer les particules de la même espèce, ils s'échappent finalement le long des lignes de force magnétiques vers la queue de la magnétosphère. Ce flux d'échappement des ions légers hors de l'ionosphère polaire constitue le vent polaire.

9. Conclusions

Ce tour d'horizon des différentes régions de la magnétosphère et de l'histoire de la découverte de celle-ci, ne prétend nullement être complet. Néanmoins, il nous montre la complexité de la Nature et dénonce la fausse impression qu'au-delà de l'atmosphère, il n'y a plus rien, sinon le vide! Au départ, le géophysicien imaginait que le champ géomagnétique était celui d'un simple dipole, s'étendant indéfiniment autour de la Terre.

Après vingt années d'explorations spatiales intensives, grâce à des techniques de plus en plus performantes, ces mêmes géophysiciens nous décrivent aujourd'hui la magnétosphère terrestre comme un objet très complexe et comme un laboratoire idéal pour étudier un vaste ensemble de phénomènes importants en physique des plasmas et en astrophysique.

En donnant aux chercheurs des deux dernières décades les moyens nécessaires et, en créant une émulation propice à la recherche spatiale, on a permis de jeter les bases solides d'un édifice de résultats scientifiques remarquables. Ces résultats sont toutes des pierres sur lesquelles la communauté scientifique peut s'appuyer pour s'élever toujours plus haut, afin de mieux contempler les lois de la Nature et les merveilles de l'Univers qui nous entoure.

22.11.79