

CODE

TOULOUSE, LE 28 OCT. 1981

N° - 0-257 CT/GEPIAN

**DOCUMENT
DE
TRAVAIL
N° 3**



**GRUPE D'ETUDES
DES PHENOMENES AEROSPATIAUX NON IDENTIFIES**



CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES SPATIALES

CENTRE SPATIAL DE TOULOUSE

18, avenue Edouard-Belin
31055 TOULOUSE CEDEX

Tél. : (61) 53.11.12
Télex 531081

TOULOUSE, le

CT/GEPAN

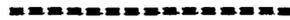
Groupe d'Etude des
Phénomènes Aérospatiaux Non-identifiés

PROGRAMME DE RECHERCHES 1981/1982

(*Bernard ZAPPOLI*)

DOCUMENT DE TRAVAIL N° 3

S O M M A I R E



	Page
1. - EXPERIENCES EN FLUIDE INCOMPRESSIBLE	2
1.A. - ESSAIS EN EAU ACIDULEE	2
1.A.1. - Etudes expérimentales	2
1.A.2. - Etude théorique	3
1.B. - ESSAIS DANS DU MERCURE	3
1.B.1. - Etude expérimentale	4
1.B.2. - Etude théorique	5
2. - EXPERIENCES EN FLUIDE COMPRESSIBLE SUBSONIQUE	5
2.A. - DIMENSIONNEMENT ELECTRIQUE ET MAGNETIQUE	5
2.A.1. - Ionisation par champ électrique continu appliqué entre les électrodes	5
2.A.2. - Ionisation par champ micro-onde	8
2.B. - DIMENSIONNEMENT SOUFFLERIE	8
2.B.1. - Programme	11
3. - ORGANISATION DES ETUDES	12
3.1. - ECOLE NATIONALE SUPERIEURE DE L'AERONAUTIQUE ET DE L'ESPACE (ENSAE)	12
3.1.A. - Moyens en personnel et matériel	13
3.2. - CENTRE D'ETUDES ET DE RECHERCHES DE TOULOUSE (CERT)	13
3.2.A. - Moyens disponibles	13
3.3. - LABORATOIRE DE MAGNETOHYDRODYNAMIQUE DE LA FACULTE DES SCIENCES D'AVIGNON	14
3.4. - AUTRES	14
4. - ORGANIGRAMME ET PLANNING GENERAL	15
4.1. - ORGANIGRAMME	15
4.2. - PLANNING GENERAL	16
5. - CONCLUSION	17
ANNEXE 1 - PROPOSITION POUR TEP (1ère et 2ème année et projets de fin d'études)	18

ANNEXE 2 - ETUDE DE L'INFLUENCE D'UN CHAMP DE FORCES DE LAPLACE SUR LE DECOLLEMENT DE LA COUCHE LIMITE SUR UN CYLINDRE PLACE DANS UN ECOULEMENT SUBSONIQUE	22
ANNEXE 3 - PROJET DE RECHERCHE ADRESSE AU LABORATOIRE DE MHD D'AVIGNON	25
REFERENCES -	28

L'expérience d'analogie hydraulique faite à l'ENSAE dans le cadre de travaux d'étude personnels (ZAPPOLI, 1981) a montré que la **distribution** obtenue des forces de Laplace * (PETIT, 1980) au sein du fluide en mouvement permet de supprimer le rouleau d'étrave d'un profil cylindrique placé dans un écoulement plan de liquide compressible conducteur (eau acidulée). Cette expérience, qui se limite à un aspect purement phénoménologique, ne peut être la preuve que la distribution des forces de Laplace en question puisse éliminer l'onde de choc que l'on rencontrerait en fluide supersonique compressible, et ne peut constituer à l'heure actuelle **qu'un** élément favorable à la continuation des recherches.

Ce document de travail présente les recherches que le GEPAN se propose de développer en MHD, ainsi que leur organisation dans le cadre des relations contractuelles, existantes ou à venir, entre le GEPAN, les laboratoires d'accueil et les structures d'enseignement.

Ces recherches s'orientent schématiquement suivant deux axes parallèles et complémentaires :

- l'étude expérimentale et théorique de l'écoulement **incompressible** conducteur autour de profils en présence d'un champ de forces de Laplace,
- l'étude **expérimentale** et théorique de l'interaction entre le champ de forces de Laplace et l'écoulement subsonique d'un fluide compressible autour d'un profil.

Les effets attendus, dont certains tels la suppression du rouleau d'étrave ont **été** constatés expérimentalement, sont rappelés ici :

♦ En INCOMPRESSIBLE :

- suppression du rouleau d'étrave,
- déplacement vers le culot du cylindre du point de décollement de la couche limite,
- diminution de la traînée **des pressions** par création d'une dépression à l'amont.

o En COMPRESSIBLE :

- essentiellement l'annihilation de l'onde de choc pour le **régime** supersonique et les phénomènes analogues à ceux cités pour les écoulements incompressibles, en régime subsonique.

* Voir Annexe 3 (figure 1)

Les recherches proposées ont pour objectif de principe la vérification expérimentale de ces effets attendus ainsi que leur modélisation. Les travaux effectués sur les fluides **incompressibles** conducteurs doivent aboutir à une bonne connaissance de l'organisation de l'écoulement pouvant, le cas échéant, servir de support à l'étude en soufflerie.

1. - EXPERIENCES EN FLUIDE INCOMPRESSIBLE

1.A. - ESSAIS EN EAU ACIDULÉE -----

L'eau acidulée est un liquide conducteur de maniement très aisé et qui se prête bien à des expériences d'analogies hydrauliques, et c'est pour ces raisons qu'il a été utilisé dans les travaux effectués à **l'ENSAE**.

1.A.1. - Etudes expérimentales

Le moyen d'essai existe et c'est celui qui a été utilisé à **l'ENSAE** (banc hydraulique, électro-aimant, maquette). L'étude du décollement de la couche limite peut se faire par mesure de pression à la paroi, mais la présence de bulles risque (de la même façon que pour la visualisation des lignes de courant) d'apporter des perturbations non négligeables. **Ces** bulles d'électrolyse concernant une zone relativement proche de la paroi, il est par ailleurs possible d'effectuer des mesures de vitesse autour du profil d'où pourrait se déduire la répartition **des** pressions et **vérifier** une éventuelle inversion de la traînée. **Il** apparaît donc que ce moyen d'essai, s'il est facile à mettre **en** oeuvre, présente un certain nombre d'inconvénients expérimentaux et l'expérience seule peut conduire à l'évaluation exacte de leur importance.

Il peut être envisagé de réduire considérablement le dégagement de bulles sur les électrodes de la maquette en alimentant **sé-**quentiellement celle-ci, ainsi que les bobines de l'électro-aimant (de façon à ne pas modifier le sens des forces de **Laplace**). Si le dégagement de bulles est diminué, la visualisation des lignes de courant devient alors possible bien que d'autres problèmes (dissolution électrolytique dans le liquide du capillaire d'injection de bleu de méthylène - voir note technique **GEPAN N° 9**) ne soient pas encore résolus.

Une mesure de poussée peut aussi être faite en reliant la maquette à une balance de précision.

On peut ainsi résumer la possibilité d'expérimentation en eau acidulée ou salée par le tableau suivant :

TYPE DE MESURE	MOYEN DE MESURE	PHENOMENES CONCERNES
1. Pression à la paroi	Tube en U incliné + diodes de repérage de niveau + acquisition	Détermination du point de décollement à la paroi - détermination de la traînée et de son inversion éventuelle
2. Vitesse d'écoulement	vélocimètre ultrasonore à effet DOPPLER	Influence des forces de Laplace sur les lignes de courant
3. Poussée	balance de précision	Recoupement avec les mesures de pression

1.A.2. - ETUDE THEORIQUE

L'écoulement pouvant être perturbé par la présence de bulles au voisinage de la paroi et plus particulièrement au culot du profil, il serait sans grand intérêt de faire une étude théorique de la couche limite et de son décollement sans support expérimental fiable.

Par contre, compte tenu des possibilités de mesures de vitesses non perturbées par la présence de bulles et en dehors de la couche limite, une étude théorique "en fluide parfait" pourrait être une première approche de la question en relation avec des mesures. L'outil numérique qui en résulterait serait un bon moyen d'évaluer les effets du **champ** de forces sur la traînée, en fonction des conditions d'écoulement à l'infini amont et des paramètres électriques et magnétiques (nombres de REYNOLDS et de **HARTMAN**, et **paramètres** d'interaction.).

1.B. - ESSAIS DANS DU MERCURE

Le mercure a une conductivité électrique beaucoup plus élevée qu'un électrolyte. Il se prête moins bien à une analogie hydraulique, mais les effets des champs électrique et magnétique sur le mouvement du fluide sont beaucoup plus importants (le nombre de **HARTMAN** est plus grand). Pour avoir les mêmes valeurs du nombre de **HARTMAN** qu'en eau acidulée, il faut donc appliquer un champ magnétique plus faible. Il se prête bien par contre à la mesure de pression et de vitesse, même près de la paroi (absence d'**électrolyse**). Les nombres de REYNOLDS magnétiques sont toujours très faibles.

1.B.1. - Etude expérimentale

Cette étude nécessite la mise en place d'un moyen d'essai comprenant :

- un banc d'écoulement pouvant recevoir une maquette,
- une pompe électromagnétique pour mettre le mercure en circulation,
- un dispositif de mesure de pression qui peut être basé, comme celui de C. VIVES, sur une méthode de zéro : une pompe **électromagnétique** étalonnée annule le débit qui s'établit entre deux prises de pression dont la valeur de l'une est connue et l'autre à déterminer.

Il est tout à fait possible de mesurer de cette façon la différence de pression entre un point à l'infini amont et un point situé sur une génératrice du cylindre. La carte des pressions à la paroi est donc obtenue et ceci peut se faire pour différentes valeurs du nombre de REYNOLDS (en faisant varier la vitesse à l'infini amont) et du nombre de **HARTMAN** (en faisant varier le champ magnétique appliqué).

De ces mesures, peuvent se déduire :

- à partir du minimum de la fonction P (infini amont) - $P(\theta)$ - où θ est l'angle des rayons vecteurs entre le point d'arrêt et le point de mesure de pression paroi - la localisation du point de décollement de la couche limite en présence du champ de forces de Laplace ;
- à partir de l'intégrale des pressions, la détermination de la traînée et son inversion éventuelle.

Pour résumer, les mesures possibles dans du mercure sont les suivantes :

TYPE DE MESURE	MOYEN DE MESURE	PHENOMENES CONCERNES
1. Pression à la paroi	Par rapport à une référence et par une méthode de zéro (cf. VIVES, 1975)	Détermination du point de décollement à la paroi . Détermination de la traînée et de son inversion éventuelle
2. Poussée	Balance de précision	Mesure directe de la poussée, à recouper avec la détermination indirecte à partir des mesures de pression
3. Visualisation des lignes de courant	Evolution d'un dépôt de matière pulvérule sur la surface du mercure	Influence des forces de Laplace sur le décollement

1.B.2. - Etude théorique

Dans le cas d'un écoulement de mercure, le schéma de l'étude est le même. Ici, cependant, l'étude de la distribution des vitesses dans la couche limite présente un intérêt particulier puisqu'il conduit à la détermination du point de décollement qui peut, comme on l'a vu, être localisé expérimentalement.

D'autre part, l'étude en fluide parfait et en présence de forces de Laplace, qui conduit au calcul de la traînée, peut conduire, par comparaison à la valeur expérimentale, à l'évaluation des pertes par frottement et ainsi avoir une approximation de l'influence des forces de Laplace sur le frottement global à la paroi.

Ces calculs nécessitent évidemment (dans le cas d'un électrolyte, comme dans le cas du mercure) la détermination de la densité de courant (donc du champ électrique puisque l'effet Hall est négligeable) qui dépend fortement de la géométrie des électrodes et du profil isolant.

2. - EXPERIENCES EN FLUIDE COMPRESSIBLE SUBSONIQUE

L'étude de la couche limite en régime subsonique en présence de forces de Laplace présente, par rapport à l'étude qui pourrait être faite en régime supersonique (onde de choc), l'avantage de diminuer les moyens expérimentaux nécessaires tout en permettant d'étudier l'influence de ces forces sur le décollement de la couche limite d'un profil cylindrique dont les génératrices sont perpendiculaires à la vitesse à l'infini amont.

2.A. - DIMENSIONNEMENT ÉLECTRIQUE ET MAGNÉTIQUE

La soufflerie est subsonique et donne un nombre de Mach 0,1 à 0,2 avec des pressions d'arrêt d'une centaine de mb.

La maquette cylindrique comporte deux électrodes comme lors des expériences effectuées avec de l'eau acidulée ou avec du mercure.

La conductivité du gaz d'essai qui est de l'air peut être produite de deux façons :

2.A.1. - Ionisation par champ électrique continu appliqué entre les électrodes

L'air est ionisé et un courant électrique va s'établir. Le temps de transit du fluide autour de la maquette étant faible, et compte tenu du grand rapport de masse entre les électrons et les molécules, on peut considérer que la température du gaz est constante et que le plasma est fortement hors d'équilibre.

Les conditions d'expérience se déduisent de l'équation de l'énergie écrite pour le gaz d'électrons (cf. SUTTON, 1969) :

$$P_e = J \cdot E = 3 k (T_e - T_g) \sum_{s \neq e} \frac{m_e}{m_s} v_{es} n_e \delta_s$$

P_e = puissance dissipée dans le plasma

T_g = température gaz

T_e = température électronique

m_e = masse de l'électron

m_s = masse de l'ion ou de la molécule

n_e = nombre d'électrons par unité de volume

δ_s = facteur de pertes par collisions inélastiques

La démarche consiste à se donner une température électronique et de calculer les conditions électriques qui la produisent-

Si β est le paramètre de Hall, on a :

$$J \cdot E = \frac{\sigma E^2}{1 + \beta}$$

où σ est la conductivité électrique scalaire,

Pour une pression de 70 mb et une température électronique de 5000 K, les paramètres prennent les valeurs suivantes :

$$n_e = 1,110^{20}$$

$$\sigma = 65 \text{ Mhos/m}$$

$$v_e = 1,42 \cdot 10^{11}$$

$$\delta = 1 \text{ (pertes inélastiques négligées),}$$

Pour un faible paramètre de Hall, $\beta = 0,1$, le champ électrique prend la valeur suivante :

$$E = 967 \text{ V/m}$$

$$\text{soit } J = 4,3 \cdot 10^4 \text{ A/m}^2$$

et

$$B = 0,1 \frac{m_e v_e}{e} = 0,0808 \text{ T soit } 808 \text{ gauss}$$

Si on choisit un écoulement de vitesse 50 m/s, les paramètres caractéristiques sont les suivants :

$$V_0 = 50 \text{ m/s}$$

$$V_0 B = 4,04 \text{ V/m} \ll E$$

$$I = \text{paramètre d'interaction} = \frac{JBL}{\rho v_0^2}$$

$$\text{pour } L = 10^{-2}$$

$$\rho = 9 \cdot 10^{-2} \text{ kg/m}^3$$

$$\longrightarrow I = 0,3$$

$$B = 0,08 \text{ T}$$

$$J = 4,3 \cdot 10^4 \text{ A/m}^2$$

Le nombre de REYNOLDS visqueux :

$$Re = \frac{\rho v L}{\mu} = \frac{0,09 \times 50 \times 2 \cdot 10^{-2}}{1,7 \cdot 10^{-5}} = 5295$$

$$\text{Nombre de HARTMAN : } Ha = \sqrt{I \cdot Re} = 39 \quad \sqrt{\frac{J_0 B_0 L_0}{v_0 \mu s}}$$

On peut prévoir une forte interaction entre la force de Laplace et les forces visqueuses, et en particulier une accélération de la couche limite.

Remarque : Les calculs précédents sont faits dans l'hypothèse d'une décharge diffuse. Il se peut que les conditions d'existence d'une telle décharge ne soient pas vérifiées et que le passage du courant se fasse en régime d'arc. Dans ce cas, seul un faible volume de fluide est parcouru par un courant et les effets attendus peuvent être moins importants. Cependant, compte tenu de la géométrie cylindrique, la décharge va suivre le plus court chemin, c'est-à-dire longer la paroi et ainsi créer un courant dans la zone qui intéresse l'étude. Cependant, compte tenu du fait que la pression magnétique est très supérieure à la pression électronique, la décharge peut ne pas suivre le chemin souhaité et se localiser dans les zones de champ magnétique minimum. On peut ainsi envisager la création d'autres champs (magnétiques) pour contraindre la décharge à suivre un chemin proche de la paroi.

A 80 mb, les conditions sont les suivantes :

$$T_e = 5000 \text{ K}$$

$$n_e = 2 \cdot 10^{20}$$

$$\sigma_s = 55 \text{ Mhos/m}$$

$$v_e = 2 \cdot 10^{11}$$

D'où :

$$E = 1680 \text{ V/m}$$

$$J = 9,2 \cdot 10^4 \text{ A/m}^2$$

$$p_e = 1,6 \cdot 10^8 \text{ W/m}^3$$

$$B = 1100 \text{ G pour } \beta = 0,1$$

$$\text{Pour } 100 \text{ m/s, on a alors : } \left\{ \begin{array}{l} I = 0,19 \\ H = 34 \end{array} \right.$$

2.A. 2. - Ionisation par champ micro-onde

Dans ce cas, les électrons sont produits par un champ **micro-onde** dans les fréquences radar et le champ électromoteur appliqué entre les électrodes peut être beaucoup plus faible. L'utilisation d'un tel procédé devrait favoriser l'apparition d'une décharge diffuse entre les électrodes.

Des impulsions de 1 à 2 μs avec 500 KW crête peuvent produire une boule de plasma de 5 à 10 cm de diamètre. Les caractéristiques d'un tel plasma ainsi que la façon dont s'y établit un courant seront déterminées expérimentalement au cours d'une des phases de l'expérimentation.

2.B. - DIMENSIONNEMENT SOUFFLERIE

Pour une largeur de veine de 5 cm et une hauteur de 10 cm, on obtient les paramètres résumés sur les tableaux suivants. Les paramètres électriques et magnétiques sont déterminés sur la base d'une ionisation produite par champ électrique continu, l'ionisation par micro-onde ne pouvant être raisonnablement étudiée, dans les conditions actuelles, qu'expérimentalement.

$P = 70 \text{ mb} - \beta = 0,1$

V m/s	Re	$\frac{Q}{\rho}$ m ³ /s	$\frac{1}{2} \rho V^2$ Pa	E V/m	J A/m ²	B T	I	Ha
20	1307	0,1	18,144	967	$4,3 \cdot 10^4$	0,08	1,9	49
50	5250	0,25	113,4	"	"	"	0,3	39
100	10500	0,5	453	"	"	"	$7,610^{-2}$	28
200	21000	1	1814,4	967	$4,3 \cdot 10^4$	0,08	$1,9 \cdot 10^{-2}$	19

$P = 80 \text{ mb} - \beta = 0,1$

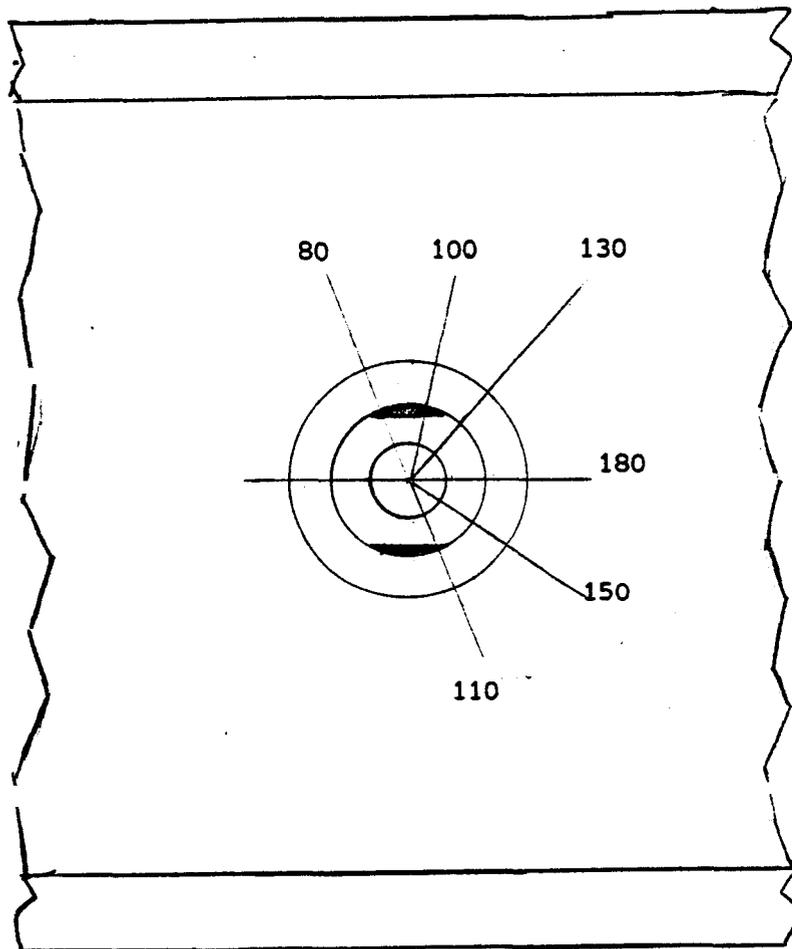
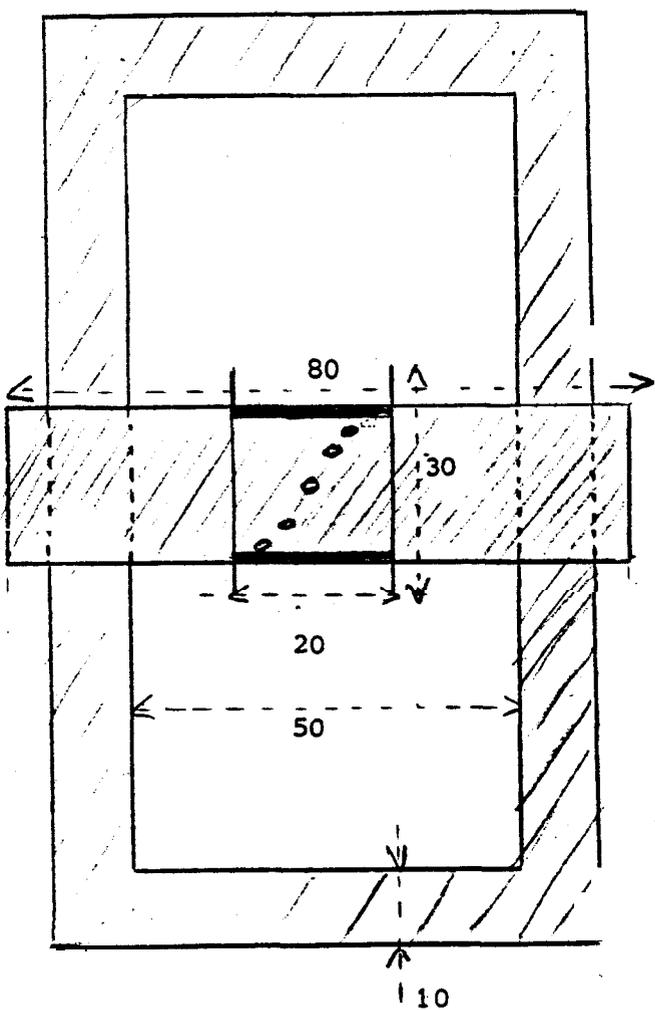
V m/s	Re	$\frac{Q}{\rho}$ m ³ /s	$\frac{1}{2} \rho V^2$ Pa	E V/m	J A/m ²	B T	I	Ha
20	2428	0,1	20,73	1682	$9,2 \cdot 10^4$	0,11	4,88	108
50	6070	0,25	130	"	"	"	0,78	68
100	12140	0,5	518	"	"	"	0,19	48
200	24280	1	2072	"	"	"	$4,8 \cdot 10^{-2}$	34

Les conditions choisies sont celles encadrées.

Le schéma de principe de la veine d'essai est donc le suivant
(Cf. page 10)

Ces valeurs ne doivent être considérées que comme indicatives et pourront être modifiées en cours d'expérimentation.

SCHEMA VEINE D'ESSAI



3. - ORGANISATION DES ETUDES

Les divers thèmes de travail exposés dans le paragraphe précédent font l'objet de propositions à divers organismes de recherche et d'enseignement. Centrés pour la plupart sur le Complexe Aérospatial de Toulouse, ces projets de **collaboration** sont parvenus à l'heure actuelle à des **degrès** de maturité différents. Ainsi, certains d'entre eux font l'objet de conventions ou bons de commande de travail, tandis que d'autres n'ont fait l'objet que de propositions écrites de la part du **GEPAN**.

Indépendamment de cet état d'avancement, ce paragraphe expose le cadre de ces recherches en examinant, par structure d'accueil, les sujets à traiter, les moyens disponibles en matériel et en personnel.

3.1. - ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE DE L'AÉRONAUTIQUE ET DE L'ESPACE (ENSAE)

Suite à une collaboration commencée en mai-juin 1981 (travaux d'études personnels, TEP (voir note technique n° 9) certains des thèmes décrits précédemment sont à même d'être abordés, de par leur intérêt scientifique propre ou de par leur intérêt pédagogique, par le Laboratoire de Physique de **l'ENSAE**. Ainsi, si le thème de l'étude des lignes de courant ou de la distribution des pressions (§ 1.A.) n'a pas fait l'objet de proposition écrite, car c'est celui qui semblait présenter le moins d'intérêt, il pourra être traité, suivant les priorités, par un ingénieur du Laboratoire de Physique de **l'ENSAE** au cours de l'année scolaire 1981/1982.

Par contre, le thème de l'étude de la couche limite en écoulement subsonique en présence des forces de Laplace a fait l'objet de proposition auprès de la Direction des Etudes de **l'ENSAE** pour **qué** se fasse, au titre de **l'année** scolaire 1981/1982 :

- dans le cadre d'un travail d'étude personnel **1ère** année :
"L'étude des caractéristiques d'un plasma micro-onde",
- dans le cadre d'un travail d'étude personnel 2ème année, avec prolongation l'année d'après à un projet de fin d'étude :
"La digitalisation d'un dispositif de mesure de pression en ambiance électromagnétique sévère",
- dans le cadre de projet de fin d'étude avec prolongation et développement à une thèse de docteur-ingénieur ou de **3ème** cycle :
 - o *"Participation à l'étude expérimentale de l'influence des forces de Laplace sur le décollement de la couche limite sur un cylindre au premier régime"*

- *"Etablissement d'une proposition d'étude sur l'interaction entre un champ de forces de Laplace et une onde de choc sur un profil"*
- *"Etude théorique de l'influence d'un champ de forces de Laplace sur l'écoulement autour d'un cylindre"*.

Ces thèmes ont fait l'objet de propositions dont les textes se trouvent dans l'annexe 1.

3.1.A. - Moyens en personnel et matériel

Présentés dans le cycle des études ENSAE, toutes ces **propositions** font intervenir la participation du personnel technique ou enseignant de **l'Ecole**. Les travaux se déroulent au Centre **d'Etude** et de Recherche de Toulouse où une recherche expérimentale sur l'influence des forces de Laplace sur la couche **limite** d'un cylindre est en cours de réalisation au titre d'un bon de commande passé par le **CNES/GEPAN** (voir paragraphe suivant). Les étudiants pourront bien évidemment profiter de l'encadrement scientifique de l'équipe de recherche mise en **place**.

3.2. - CENTRE D'ÉTUDE ET DE RECHERCHES DE TOULOUSE (CERT)

Vient d'être passé entre le **CERT** et le **GEPAN**, à la demande du **GEPAN** et financé par lui, un bon de commande au titre duquel le **CERT** entreprendra un certain nombre de tâches dont le détail est porté sur la copie du bon de commande dans l'annexe 2. Ces travaux consistent à remettre en état ou à fabriquer certains organes nécessaires à la réalisation de l'expérimentation décrite au § 2.

La première phase se déroule au **CERT/DERMO** et consiste à utiliser un générateur radar (≈ 3 GHz) pour ioniser l'air et étudier le plasma ainsi obtenu.

La deuxième phase se déroule au **CERT/DERAT** et consiste à étudier en soufflerie (construite à cet effet au titre des bons de commande) le décollement de la couche limite sur un cylindre en présence des forces de Laplace,

3.2.A. : Moyens disponibles

Ces recherches sont effectuées par deux ingénieurs du **CNES/GEPAN** et y participeront ponctuellement 1 ingénieur du **CERT/DERMO**, 1 ingénieur du **CERT/DERAT** et 1 ingénieur du Laboratoire de Physique de **l'ENSAE**, ce dernier au titre de collaborateur extérieur **GEPAN**.

3.3. - LABORATOIRE DE MAGNÉTOHYDRODYNAMIQUE DE LA FACUL- TÉ DES SCIENCES D'AVIGNON

S'intéressant en particulier aux écoulements de mercure autour de profils en **présence** de champs électriques et magnétiques (note technique n° 9), le Laboratoire du Professeur VIVES paraît être tout naturellement bien placé pour collaborer à l'étude de l'influence des forces de Laplace sur un écoulement de mercure autour d'un cylindre (voir § 1.B.).

A l'heure actuelle, une proposition a été faite par le **GEPAN** au Professeur VIVES pour l'accueil dans son Laboratoire d'un ingénieur stagiaire de l'**ENSAE** pour une étude dont les détails techniques sont présentés dans l'annexe 3.

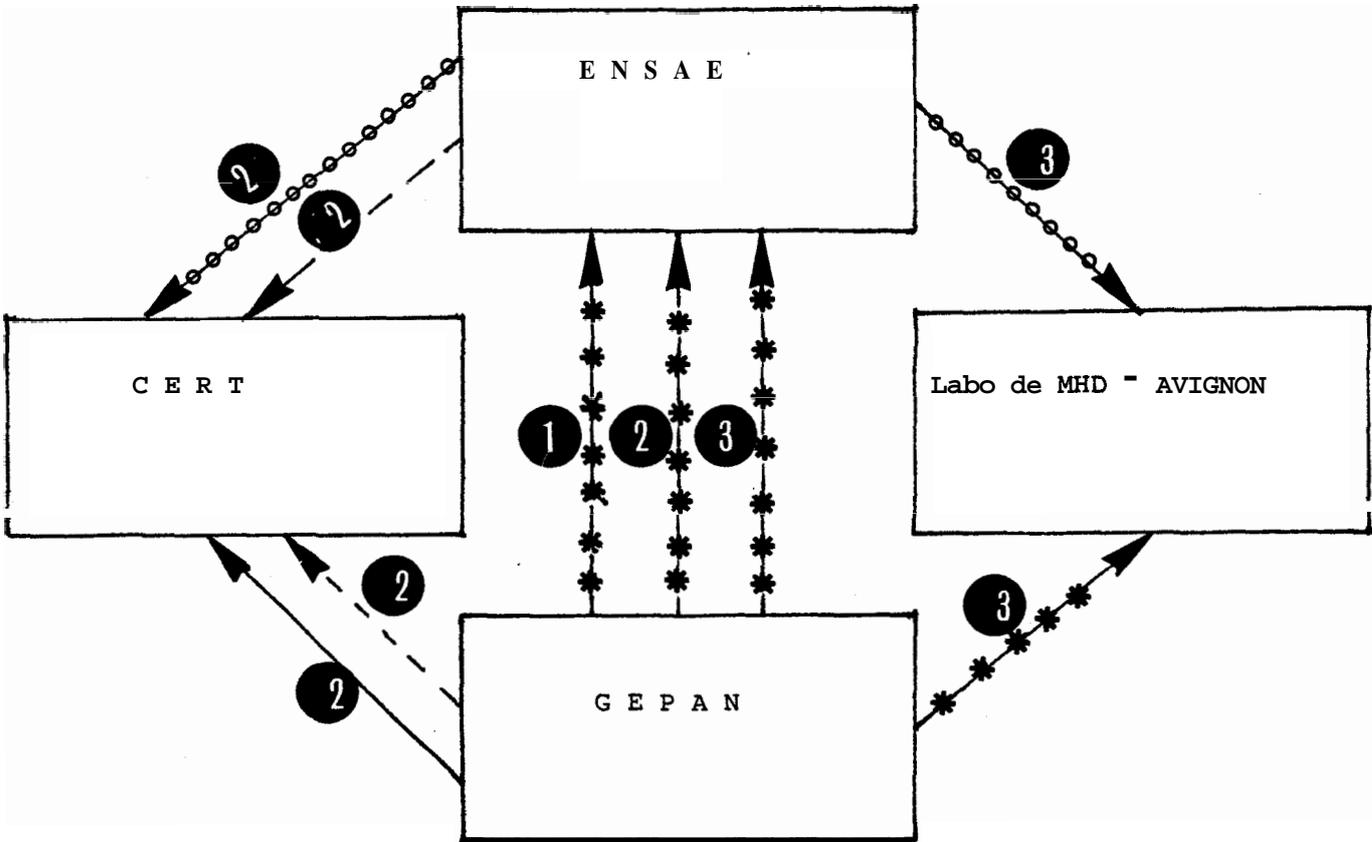
Il semble que le plan de charge du Laboratoire de MHD d'**Avignon** ne permette pas d'envisager une telle action au cours de l'année scolaire 1981/1982. Par contre, ceci est envisageable pour l'année scolaire **1982/1983**. Le Professeur VIVES devrait prochainement s'engager sur ce point.

3.4. - AUTRES

Il est prévu de proposer des participations individuelles au programme de recherche explicité ci-dessus (tout ou partie du programme). Une proposition dans ce sens sera adressée à des chercheurs scientifiques intéressés et compétents dans le domaine. Leur collaboration pourrait comprendre, suivant disponibilités, une participation aux réunions d'avancement et à certaines phases des travaux.

4. - ORGANIGRAMME ET PLANNING GENERAL.

4.1. - ORGANIGRAMME



—————> Convention - financement

* * * ———> proposition d'étude (projets, travaux d'études personnels, thèses)

- - - ———> soutien technique et fonctionnel (encadrement d'étudiants, assistance technique)

○ ○ ○ ○ ○ ———> stagiaires, étudiants, thésards

○ Etudes d'analogie hydraulique

2 Etude en écoulement subsonique

3 Etude dans le mercure

5. - CONCLUSION

Ce document de travail a exposé les thèmes de recherche **qui**, parvenus à un degré de maturité suffisant, ont pu faire l'objet de projets, de propositions et de contrats de recherche.

Les contacts pris pendant les 2ème et 3ème trimestres 1981 ont porté les choix du **GEPAN** sur une collaboration avec **le Complexe Aérospatial** de Toulouse ; en effet, le Centre **d'Etude** et de Recherche de Toulouse et **l'Ecole** Nationale Supérieure de l'Aéronautique **et** de **l'Espace** réunissent toutes les qualités requises pour mener à bien des recherches qui nécessitent matériel spécialisé, compétences et disponibilité de personnel hautement qualifié et expérimenté.

La grande souplesse d'organisation due à la proximité des divers intéressés ne peut que favoriser le déroulement de ces travaux.

Il faut remarquer que ces expérimentations ont pour l'instant un caractère très fondamental encore éloigné des applications propulsives éventuelles, du **moins** en atmosphère dense. Elles devraient cependant apporter une compréhension plus intime des phénomènes physiques qui interviennent et permettre, à terme de l'année de travail, d'élaborer des projets plus ambitieux (régime supersonique).

ANNEXE 1

PROPOSITION POUR T.E.P. - PREMIÈRE ANNÉE

Dans le cadre des recherches qu'il développe au CERT, le **CNES/GEPAN** propose un sujet pour un TEP **1ère** année sur "*L'étude des caractéristiques d'un plasma créé par micro-ondes*".

OBJET DE L'ETUDE

Examiner les possibilités d'ioniser un gaz par micro-ondes de façon à obtenir une conductivité électrique propice à l'établissement d'une décharge diffuse entre deux électrodes.

BUT DE L'ETUDE

Déterminer les caractéristiques d'un plasma micro-ondes, c'est-à-dire la conductivité, la densité et la température électronique, en **fonction** de l'intensité micro-ondes, du champ électrique appliqué entre les électrodes et de la pression du gaz.

ORGANISATION

Le travail se déroulera au CERT et utilisera le générateur ER 22 (700 KW crête, impulsions de 1 μ s toutes les ms à 16 cm de longueur d'onde \simeq 3 GHz).

PROPOSITION POUR T.E.P. - DEUXIÈME ANNÉE (*)

OBJET DE L'ETUDE

"Numérisation d'un système de mesure de pression autour d'une maquette MHD".

BUT DE L'ETUDE

Obtenir un moyen rapide d'acquisition d'une série de mesures de pression en ambiance électromagnétique sévère.

(*) Proposition établie par Marc PANIER du Laboratoire de Physique de l'ENSAE

Il existe actuellement, sur le marché, des capteurs numériques, mais leur emploi s'avère impossible sous certaines conditions de **champ** électromagnétique. D'autre part, la méthode qui consiste à **utiliser** des colonnes de liquide se montre rapidement fastidieuse voire insuffisante en présence d'un grand nombre de capteurs.

ORGANISATION

Le sujet proposé consiste à digitaliser, par un procédé **électro-optique**, l'information prélevée par un manomètre à tube capillaire. Les valeurs mesurées par ces capteurs, convenablement gérées par micro-processeur, serviront à définir la forme et l'évolution d'un champ de pression autour d'une maquette installée dans un plasma micro-onde et soumise à un champ de forces de Laplace.

----- PROPOSITION POUR PROJET DE FIN D'ÉTUDE ENSAE (I) -----

OBJET DE L'ETUDE

"Influence d'un champ de forces de Laplace sur l'écoulement de fluide compressible autour d'un cylindre".

BUT DE L'BTUDE

Mise en évidence, en écoulement subsonique, et en présence de forces de Laplace :

- du déplacement vers le culot du cylindre du point de **décolle-**ment de la couche limite,
- d'une diminution de la traînée des pressions due à l'apparition d'une dépression à l'avant du cylindre.

ORGANISATION

Ce travail se déroule au **CERT/DERAT** dans le cadre des recherches que le **CNES/GEPAN** y développe. La contribution de l'ingénieur stagiaire est une participation active à la recherche expérimentale, étant entendu qu'une thèse de docteur-ingénieur ou de 3ème cycle est tout à fait envisageable dans le prolongement direct du projet.

PROPOSITION POUR PROJET DE FIN D'ÉTUDES ENSAE (II)

OBJET DE L'ETUDE

"Influence d'un champ de forces de Laplace sur l'écoulement de fluide compressible autour d'un cylindre".

BUT DE L'ETUDE

Le **CNES/GEFAN** développe actuellement au CERT, une recherche expérimentale sur l'influence des forces de Laplace **sur** le recollement de la couche limite et sur la traînée **d'un** cylindre placé dans un écoulement subsonique au 1er régime.

L'ingénieur stagiaire fait un projet d'étude expérimentale sur l'interaction d'un champ de forces de Laplace et d'un écoulement supersonique. Dans le prolongement direct de l'étude actuellement développée au CERT, ce travail consiste à faire l'évaluation technique (modélisation d'ensemble, détermination des paramètres caractéristiques, dimensionnement des différents organes, choix des matériels et moyens de mesure), ainsi que la mise en place de l'organisation (besoin en personnel, profils techniques demandés, estimation des coûts, en main d'œuvre, fabrication et essais, planning sur la durée de l'étude).

Ceci devrait conduire à la rédaction d'une proposition de contrat de recherche à un organisme **d'Etat**.

ORGANISATION

Le travail s'effectue au CERT, encadré par l'équipe effectuant les recherches.

PROPOSITION POUR PROJET DE FIN D'ÉTUDES ENSAE (III)

OBJET DE L'ETUDE

"Influence d'un champ de forces de Laplace sur l'écoulement de fluide compressible autour d'un cylindre".

BUT DE L'ETUDE

Le CNES/GEPAN développe actuellement au CERT une recherche **expérimentale** sur l'influence des forces de Laplace sur le recollement de la couche limite et sur la **trainée d'un** cylindre placé dans un écoulement subsonique au 1er régime. L'ingénieur stagiaire est chargé de jeter les bases de l'étude théorique d'un écoulement subsonique autour d'un cylindre en présence de forces de Laplace et s'intéresse plus particulièrement à l'aspect couche limite. L'achèvement d'une telle étude constitue le complément nécessaire à l'étude expérimentale précitée.

ORGANISATION

Le travail s'effectue **au** CERT, encadré **par** l'équipe effectuant les recherches. Des développements en vue d'une thèse de docteur-ingénieur sont tout à fait envisageables.

ANNEXE 2

ÉTUDE DE L'INFLUENCE D'UN CHAMP DE FORCES DE LAPLACE SUR LE
.....

DÉCOLLEMENT DE LA COUCHE LIMITE SUR UN CYLINDRE PLACÉ DANS

UN ÉCOULEMENT SUBSONIQUE

I - BUT DE L'ÉTUDE

Montrer qu'il est possible, grâce à un champ de Laplace convenablement disposé, de repousser le point de décollement de la couche limite vers le culot d'un cylindre placé dans un écoulement subsonique au premier régime, ainsi que de **diminuer** la traînée des pressions.

II - PROGRAMME D'ÉTUDE

On distingue deux parties :

II - a : Étude de l'ionisation non **thermique** de l'air

Le régime de décharge électrique entre deux électrodes dépend du **procédé** d'ionisation employé. Si l'ionisation est produite par application d'un champ électrique, la décharge, suivant les conditions de densité de courant et de **pression**, peut se faire en régime d'arc. C'est pourquoi, il semble **préférable** a priori de **préioniser** le fluide à l'aide d'un générateur micro-onde qui doit favoriser le développement d'une décharge diffuse.

On s'intéresse en particulier à la valeur de la conductivité du plasma micro-onde ainsi qu'à la façon dont s'y établit un courant, en fonction de son intensité, de l'intensité du champ micro-onde et de la pression de l'air.

II - b : Etude en soufflerie de l'écoulement autour d'un cylindre en présence
des forces de Laplace

II - b - 1 : Etude du décollement de la couche limite

A partir des mesures de la pression paroi en des points convenablement choisis, avec et sans forces de Laplace, il s'agit de déterminer **la** position du point de décollement et d'étudier son évolution en fonction des paramètres caractéristiques.

II - b - 2 : Etude de la **trainée** des pressions

Par mesure de pression à la paroi, depuis le point d'arrêt **jusqu'à** son symétrique au culot du cylindre, il est possible, par simple intégration, de déterminer la valeur de la trainée. **Une** inversion de la trainée des pressions pourrait ainsi être mise en évidence, due à l'apparition d'une dépression à l'avant du cylindre.

II - b - 3 : Etude **paramétrique**

Elle consiste à effectuer les mesures pour différentes valeurs des nombres caractéristiques (REYNOLDS et HARTMANN).

III - TRAVAUX PREVUS AU TITRE DE LA PRESENTE COMMANDE
=====

III - a : Etude de l'ionisation de l'air

Le titulaire assure :

- la remise en état du générateur micro-onde ER 22 ;

- l'adaptation des guides d'onde à la configuration expérimentale ;
- le suivi des expériences par un ingénieur à temps partiel.

III - b : Etude de l'écoulement
.....

Le titulaire assure :

- l'adaptation de la **soufflerie** qui comprend :
 - le dessin et la fabrication de la capacité **amont**,
 - le dessin et la fabrication de la veine d'essai,
 - le dessin et la fabrication du diffuseur,
 - le dessin et la fabrication de la maquette avec ses électrodes et prises de pression ;
- la fourniture du dispositif de mesure de pression.

III--c :

L'expérimentation proprement dite, ainsi que la définition des matériels, seront menées par des agents CNES en collaboration avec les agents CERT, dans la limite du financement prévu par la **commande**.

ANNEXE 3

PROJET DE RECHERCHE ADRESSÉ AU LABORATOIRE DE MHD

D'AVIGNON

OBJET DE L'ETUDE

"Influence d'un champ de forces de Laplace sur l'écoulement d'un Ziquide incompressible conducteur autour d'un profil cylindrique isolant dont Zes génératrices sont orthogonales à la direction de la vitesse infinis amont" (Voir fig. 1).

BUT DE L'ETUDE

La mise en évidence d'un effet propulsif provenant de l'action sur le fluide entourant le profil d'un champ de forces de Laplace convenablement disposées dans ce but (voir fig. 1).

PROGRAMME DES ESSAIS

(1) Etude de la traînée

Par une mesure de la pression à la paroi, depuis le point d'arrêt jusqu'à son symétrique au culot du cylindre, il est possible par simple intégration de la courbe $P : P(\theta)$ où θ est l'angle des coordonnées cylindriques, d'obtenir la poussée. Une inversion de la traînée, due à l'apparition d'une dépression en amont et d'une surpression du culot devrait être ainsi mise en évidence.

(2) Etude du recollement de la couche limite

A partir des mesures de pression à la paroi, avec et sans champ de forces de Laplace, il s'agit de déterminer le point de décollement, c'est-à-dire le minimum de la fonction $\text{Préf.} - P(\theta)$ où Préf. est une pression de référence. Le point de décollement devrait, sous l'effet accélérateur des forces de Laplace, être repoussé vers le culot du cylindre.

(3) Etude paramétrique

L'étude paramétrique consiste à effectuer les mesures pour différentes valeurs des nombres caractéristiques, c'est-à-dire le nombre de REYNOLDS Re et le nombre de HARTMAN Ha . Elle devrait conduire à la détermination des **conditions** de fonctionnement optimales pour la géométrie cylindrique choisie.

MOYEN D'ESSAI

Le moyen d'essai est la cuve hydraulique en charge du laboratoire de Magnétohydrodynamique de l'université d'Avignon sous la direction du Professeur Charles VIVES. Le liquide est du mercure mis en mouvement par une pompe magnétique.

MOYEN DE MESURE

Le moyen de mesure, qui a déjà permis d'étudier un certain nombre de configurations d'écoulement autour de profils, a été mis au point au laboratoire de MHD.

Les pressions (Préf. - $P(\theta)$) sont effectuées par une "méthode de zéro" : la différence de pression Préf. - $P(\theta)$ est annulée par une petite pompe électromagnétique étalonnée et fonctionnant à contre courant. Un débitmètre indique l'annulation du débit dans la canalisation qui relie les deux prises de pression.

L'implantation des mesures est indiquée sur la figure 2.

ORGANISATION DES ESSAIS

Les essais sont effectués au laboratoire de Magnétohydrodynamique - Faculté des Sciences, 33, rue Louis Pasteur - 84000 AVIGNON.

Ils sont encadrés par un membre du laboratoire de MHD **et/ou** par un membre du **CNES/GEPAN** ou de l'**ENSAE**, et effectués par un ingénieur stagiaire de l'**ENSAE**.

Ce stagiaire bénéficiera de l'aide des techniciens et collaborateurs du laboratoire de MHD pendant les phases de fabrication de la maquette et de mise au point et étalonnage des systèmes de mesure.

Il va sans dire que la mise en évidence d'une inversion de la traînée, prolongée par une étude paramétrique systématique peut faire l'objet d'une note au **C.R.A.S.**

Le succès d'une telle action ne pourrait être **qu'encourageant** pour l'orientation vers une étude théorique complémentaire de l'étude expérimentale actuelle débouchant sur une thèse de docteur-ingénieur.

Si un financement des travaux d'atelier et d'interventions éventuelles de techniciens sur le montage expérimental était nécessaire le **CNES/GEPAN** pourrait le prendre partiellement ou en totalité à sa charge.

PLANNING DE PRINCIPE

(*)

ACTIONS	MOIS	-2	-1	1	2	3
	Etude fabrication		→			
Appro matière		→	→			
Eabrication maquette		→	→	→		
Etude trainée		→	→	→	→	
Etude décollement		→	→	→	→	
Etude paramétrique		→	→	→	→	→
Calculs		→	→	→	→	→
Rapport final		→	→	→	→	→

(*) Intervention du stagiaire ENSAE.

FIGURE 1

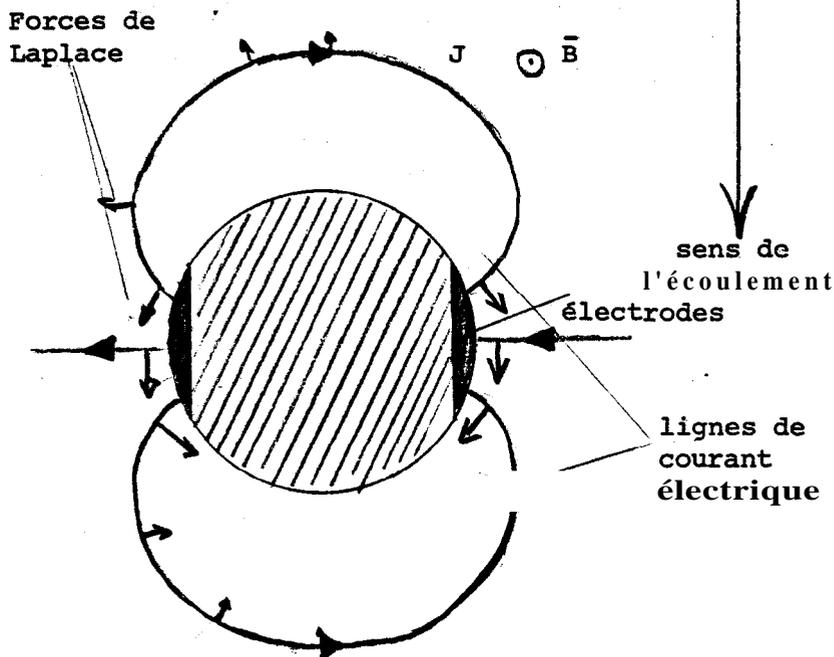
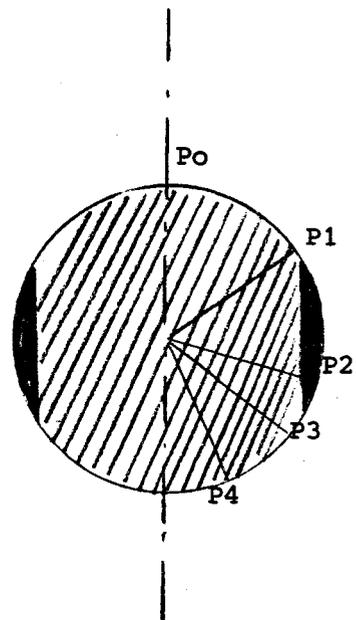


FIGURE 2



REFERENCES

JP. PETIT, M. VITON
Pour la Science
Mai 1980

SUTTON et SHERMAN
Engineering Magnetohydrodynamics
Mac Grow Hill
1959

B. ZAPPOLI
Note Technique N° 9 -
GEPAN
1981