

## *Section IV*

### **HYPOTHÈSES PORTANT SUR LES CARACTÉRISTIQUES QUI SERAIENT SPÉCIFIQUES AUX CHAMPS EM PRIORE.**

- NOS TENTATIVES DE SOLUTIONS POUR REMÉDIER AUX  
LIMITES DE L'INSTRUMENTATION PRIORE -

#### **Introduction.**

#### **4.1 - Fondements de nos hypothèses.**

- 4.1.1 - Considérations sur les intensités de certains paramètres.
- 4.1.2 - Certains champs n'agissent pas directement sur l'organisme vivant.
- 4.1.3 - Les champs qui agissent directement sur l'organisme vivant.
- 4.1.4 - Les différentes formes d'impulsions de l'onde UHF ne sont pas dues au trajet dans le tube à plasma.
- 4.1.5 - Des transformations possibles de l'onde UHF.

#### **4.2 - L'onde UHF est modulée en phase par les HF (1<sup>ère</sup> hypothèse).**

- 4.2.1 - Principe.
- 4.2.2 - Modulation de la densité électronique.
- 4.2.3 - Estimation de l'indice de modulation.
- 4.2.4 - D'autres paramètres permettraient d'agir sur le temps de recombinaison.
- 4.2.5 - Considérations sur le parcours de l'onde UHF dans la région de l'anode.
- 4.2.6 - Une question de lueur ?
- 4.2.7 - Le réglage de la puissance HF est dicté par la densité critique.
- 4.2.8 - Une question de limites ?

### **4.3 - Divers dispositifs physiques contribuent à faire varier aléatoirement la structure de l'onde UHF (2<sup>ème</sup> hypothèse).**

- 4.3.1 - Contribution au niveau de l'anode tournante.
- 4.3.2 - Contribution entre l'anode et la cathode.
- 4.3.3 - Contribution au niveau de la cathode chaude.
- 4.3.4 - Contribution au niveau du champ principal.
- 4.3.5 - Les raisons pour lesquelles la variation aléatoire de la structure de l'onde est nécessaire.

### **Conclusion.**

## **ANNEXE**

### **A 4.1 - Caractéristiques d'une modulation de phase.**

### **A 4.2 - Propagation d'une onde électromagnétique dans un plasma isotrope.**

### **A 4.3 - Propagation d'une onde électromagnétique dans un plasma anisotrope.**

- A 4.3.1 - Pulsations caractéristiques.
- A 4.3.2 - Propagation transversale.
- A 4.3.3 - Propagation longitudinale.
- A 4.3.4 - Propagation dans une direction quelconque.

### **A 4.4 - Eléments d'optique.**

### **A 4.5 - Adaptation des générateurs hautes fréquences au plasma.**

### **Introduction.**

*Les effets thérapeutiques confirmés sont tellement prometteurs qu'il nous importe maintenant d'appivoiser cet « Effet » au sein d'une instrumentation, en somme d'une Structure Réceptacle, qui soit un outil de soin opérationnel.*

## 4.1 - Fondements de nos hypothèses.

Nous formulons l'hypothèse fondamentale que : les effets biologiques observés chez l'animal grâce aux machines PRIORE résultent de l'action de facteurs physiques exclusivement de nature électromagnétique.

Les arguments que nous rassemblons dans ce §4.1 nous conduisent vers nos hypothèses concernant les caractéristiques qui seraient spécifiques des champs EM PRIORE ; hypothèses que nous étayons sur le plan théorique dans les §4.2 et 4.3.

### 4.1.1 - Considérations sur les intensités de certains paramètres.

*Les champs magnétiques.* — Sur M235 et P2, les bobines des champs d'anode, de cathode(s) et principal sont alimentées par la même source électrique pulsée ; les intensités de ces champs sont difficilement réglables indépendamment les unes des autres (§1.2.10), d'autant plus qu'à l'ouverture du commutateur électrolytique, les bobines de cathode et d'anode subissent l'influence de la bobine principale (§1.3.5).

En fait, pour obtenir les effets biologiques, des valeurs précises des intensités des champs magnétiques ne sont pas nécessaires : les intensités varient aussi bien d'une version de machine à l'autre que pour une même machine ; elles varient même au cours d'une série d'expérimentations (§3.2.1).

Pour une durée d'exposition donnée, on passe progressivement d'une efficacité biologique moindre à une efficacité supérieure en augmentant l'intensité des champs magnétiques.

*La puissance UHF à la sortie du magnétron.* — Deux types de magnétrons ont été utilisés : ces deux types fournissent des puissances différentes (§1.2.4). De plus, les magnétrons d'une même série ne fournissent pas exactement la même puissance. Par ailleurs, l'expérience avec le magnétron THOMSON donne des résultats encore très significatifs (§3.2.6). Pour toutes ces raisons, nous en déduisons qu'une valeur précise de la puissance à la sortie du générateur UHF n'est pas nécessaire pour obtenir des effets biologiques.

***La puissance disponible haute fréquence.*** — La puissance HF disponible augmente d'une version de machine à la suivante tout comme l'efficacité thérapeutique.

Mais une remarque importante s'impose : aucune expérience n'a été réalisée sur une même machine dans le but d'estimer le degré d'efficacité biologique en fonction de la puissance réellement fournie par les générateurs (tous les autres paramètres étant par ailleurs maintenus constants) ; expérience pourtant facile à réaliser. La puissance HF était-elle utilisée en totalité ou seulement en partie ?

#### **4.1.2 - Certains champs n'agissent pas directement sur l'organisme vivant.**

L'analyse qui suit montre que certains champs n'ont aucune action ou effet direct sur l'organisme vivant exposé. Cependant, leur présence s'avère nécessaire pour obtenir les effets biologiques. Ils doivent donc intervenir, selon nous, dans la production des champs EM aux effets biologiquement actifs.

***Les champs magnétiques de cathode et d'anode.*** — Vu la distance qui sépare les bobines de cathode de la table d'exposition (50-60cm sur P1, P2, M235 ; ~1,4m sur M600), le champ magnétique de cathode est théoriquement très faible au niveau de l'organisme vivant.

Sur P1, le champ de cathode est parallèle à l'axe du tube. Sur M235, P2 et M600, il est perpendiculaire à l'axe du tube ; la configuration perpendiculaire permet d'insérer des noyaux de fer à l'intérieur des bobines magnétisantes. Les lignes de champ sont ainsi concentrées dans l'entrefer, ce qui augmente l'intensité du champ magnétique au niveau de la cathode (sans surplus d'énergie électrique) mais diminue son intensité au niveau de la table d'exposition. Puisqu'en revanche, l'efficacité thérapeutique est améliorée avec ces trois machines par rapport à P1, le champ de cathode n'a certainement pas une action directe sur le système biologique exposé.

L'efficacité biologique en fonction de l'intensité du champ de cathode n'a pas été explorée. Cependant, l'arrêt du champ de cathode conduit à des résultats biologiques nuls (§3.2.3). On peut émettre l'hypothèse que, puisque l'intensité de ce champ magnétique a augmenté d'une machine à la suivante, cette augmentation contribue à améliorer l'efficacité biologique des champs PRIORE.

La distance entre la bobine du champ d'anode et la table d'exposition étant encore plus importante, on en conclut que le champ d'anode n'agit pas directement sur l'organisme vivant.

Ajoutons d'ailleurs que, dans le second brevet, ces deux champs n'ont pas été réalisés dans l'intention « d'irradier la cible » biologique (fonction dévolue au champ principal) [PRIORE, 1966].

**Le champ HF.** — La différence de potentiel entre les électrodes HF du tube à plasma produit un champ électrique mesurable dans tout le volume du laboratoire et notamment au niveau de la table d'exposition (§1.3.2).

Une variation de la puissance HF de décharge dans un gaz ionisé entraîne une variation comparable du courant HF ; par contre, la différence de potentiel entre les électrodes de décharge varie dans une proportion beaucoup moins grande que le courant. Ce phénomène est dû aux charges d'espace au niveau des électrodes tout comme pour une décharge en courant continu. La valeur de la différence de potentiel dépend du gaz (nature, pression,...) et du matériau constituant les électrodes [GORDON, 1960 ; PATEIUK, 1956]. Le champ électrique rayonné qui en résulte est donc pratiquement limité quelque soit la puissance appliquée dans une certaine gamme (pour des puissances trop faibles, le plasma se désamorçait ; pour des puissances trop importantes, la décharge autonome passe en régime d'arc : les fortes densités de courant peuvent alors endommager les électrodes et les générateurs). Nous avons pu nous même constater ce phénomène de limitation avec nos appareillages.

Par conséquent, bien que la puissance disponible sur les générateurs HF augmente d'une machine à la suivante, le champ HF au niveau de l'organisme vivant n'augmente pratiquement pas.

Cette observation peut conduire à deux interprétations :

- Si le champ HF agit directement sur l'organisme vivant : l'augmentation de la puissance HF est inutile au delà d'une certaine valeur puisque le champ rayonné est limité par le plasma. Comment alors interpréter l'obstination de A.PRIORE d'augmenter la puissance HF, obstination pourtant confirmée par l'accroissement de l'efficacité biologique (même si l'efficacité dépend aussi d'autres paramètres physiques) ? D'où l'intérêt, entre autre, de la remarque concernant la puissance HF réellement utilisée (§4.1.1).

- Si le champ HF n'agit pas directement sur l'organisme vivant : dans ce cas, le courant HF dans le plasma agit indirectement sur l'organisme vivant.

Les résultats des expériences réalisées avec les cages métalliques plaident en faveur de la seconde interprétation (§3.2.6). La hauteur des compartiments est nettement supérieure à leur largeur (13cm contre 3,7cm) d'une part, et d'autre part, ces dimensions sont très inférieures à la longueur d'onde HF (à 17MHz,  $\lambda_0 \cong 17m$ ). Par conséquent, bien qu'elles soient ouvertes par le haut, ces cages métalliques écrantent fortement le champ HF en faisant office de cage de Faraday; c'est d'ailleurs au fond des cages, dans la partie inférieure où circulent les souris, que le champ est le plus atténué. Or, malgré cela, l'efficacité biologique n'est pas amoindrie : elle demeure complète.

Cet écrantage s'applique aussi à d'éventuels champs basses fréquences. D'autre part, les courants induits dans les parois métalliques limitent aussi la composante magnétique HF.

#### 4.1.3 - Les champs qui agissent directement sur l'organisme vivant.

***Le champ magnétique principal.*** — De nombreuses expériences montrent que l'efficacité thérapeutique dépend de l'intensité du champ magnétique principal, mais seules quelques expériences montrent que ce champ agit directement sur l'organisme vivant exposé (§3.2.2). Par ailleurs, on peut émettre l'hypothèse que le champ magnétique principal agit aussi sur le fonctionnement de la machine, et donc, qu'il a un effet indirect sur l'organisme vivant.

Dans le même ordre d'idées, on ne sait pas s'il existe un seuil d'intensité au dessous duquel aucun effet ne peut être obtenu.

Rappelons qu'aucune expérience n'a été réalisée en maintenant l'intensité du champ principal à une valeur constante. Or, la modulation TBF de ce champ alourdit notablement la réalisation technique, en l'occurrence le commutateur électrolytique présent sur toutes les machines. Nous pouvons donc émettre l'hypothèse que cette modulation améliore les effets biologiques.

***L'onde UHF.*** — Si l'onde UHF est supprimée (en arrêtant le magnétron), écrantée (grille ou feuille métallique posée sur la cage contenant les animaux), ou trop atténuée (en particulier sur les bords de la zone d'exposition), on ne constate aucun effet thérapeutique (§3.2.6). D'autre part, l'efficacité biologique est fonction de l'intensité de l'onde au niveau de l'organisme vivant.

L'onde UHF agit donc directement sur l'organisme vivant.

**Conséquences.** — Puisque seuls le champ principal et l'onde UHF agissent sur l'organisme vivant, nous pouvons nous référer aux expériences des physiciens sur la machine simplifiée (§3.5). Le champ magnétique de cette machine ayant pratiquement les mêmes caractéristiques que le champ sur P2, la différence entre ces deux machines ne peut se situer qu'au niveau de l'onde UHF ; en effet, sur la machine simplifiée, l'onde UHF ne transite pas à travers un tube à plasma comme sur P2.

Il apparaît donc que l'onde subit une "transformation" en passant dans le tube à plasma. Tout semble avoir été réalisé pour assurer cette transformation puisque l'onde transite sur toute la longueur du tube depuis le haut (région de l'anode tournante) jusqu'au fond inférieur du tube d'où elle débouche pour atteindre l'organisme vivant.

#### **4.1.4 - Les différentes formes d'impulsions de l'onde UHF ne sont pas dues au trajet dans le tube à plasma.**

Nous avons eu l'occasion de tester une série de plusieurs magnétrons de type 2J42. Ce type de magnétron est similaire au 2J55 (ces deux types ont été utilisés par A.PRIORE ; §1.2.4). Nos magnétrons sont alimentés par un générateur d'impulsions haute tension emprunté à un équipement radar.

Le principe de fonctionnement de ce circuit est le suivant. Les capacités d'une ligne à retard sont chargées sous une tension continue (300 à 400V) à travers une inductance. La valeur de l'inductance fixe la durée de charge (~1ms). Lorsque la tension est maximum au bornes des capacités, un thyatron est déclenché : il décharge la ligne à retard dans le primaire d'un transformateur élévateur de tension. Au secondaire de ce transformateur apparaît alors une haute tension (HT ~4000V pour le 2J42) qui se maintient à un niveau à peu près constant pendant une durée de l'ordre de 1 $\mu$ s (fixée par les caractéristiques de la ligne à retard). Cette durée écoulée, la tension chute rapidement et s'annule. Ainsi, en répétant ce cycle de charge et de décharge, le magnétron est alimenté par des impulsions HT périodiques.

L'intérêt de cette description réside dans le fait que le circuit d'alimentation utilisé par A.PRIORE fonctionnait très probablement sur le même principe (§1.2.4). Selon l'état des paramètres qui régissent le fonctionnement de ce circuit, la forme des impulsions UHF peut être modifiée.

Lorsque le circuit générateur d'impulsions HT fonctionne normalement, le magnétron génère des impulsions UHF : toutes les impulsions ont la même

amplitude et la même forme (ou enveloppe) pratiquement rectangulaire, avec quelques légères ondulations dues à la structure de la ligne à retard (selfs et capacités). Le spectre fréquentiel présente un pic symétrique relativement étroit dont la largeur à mi-hauteur ne dépasse pas 4 à 5MHz. Très souvent, des petits lobes secondaires apparaissent de part et d'autre du pic ; dans la plupart des cas, leur répartition n'est pas symétrique par rapport au pic central, ou encore, les lobes n'apparaissent que d'un côté du pic.

En diminuant la tension de charge, les ondulations se creusent notablement et celles qui se situent en fin d'impulsion peuvent disparaître ; l'impulsion prend ainsi une forme approximativement triangulaire. Le spectre fréquentiel est alors étalé, très dissymétrique, plus ou moins accidenté en fonction de la tension appliquée, du magnétron utilisé et de l'état du circuit THT (l'état de ce circuit dépend notamment du thyatron ou de l'isolement du transformateur élévateur de tension ; composants facilement sujets à usure). La largeur du spectre varie entre ~10 et 60MHz.

Pour une tension de charge intermédiaire, les deux formes d'impulsions coexistent et se succèdent de façon aléatoire.

En diminuant encore la tension, l'impulsion adopte une forme approximativement rectangulaire mais de très courte durée (~0,2µs).

On ne peut qu'être frappé par la similitude entre ces formes d'impulsions et celles relevées par A.BOTTREAU et A.BERTEAUD sous le tube à plasma (§1.3.3). Il est donc difficile d'imputer les différentes formes qu'ils ont observé au fait que l'onde transite à travers le tube à plasma.

En revanche, la forte puissance électrique nécessaire au fonctionnement des champs magnétiques pouvait influencer le réseau électrique de l'installation réalisée par A.PRIORE. Si la tension de charge du circuit d'impulsions HT n'était pas régulée, elle pouvait s'abaisser périodiquement au rythme de la pulsation des champs magnétiques et affecter - indirectement, donc - la forme des impulsions UHF.

#### **4.1.5 - Des transformations possibles de l'onde UHF.**

Entre la face inférieure de sortie du tube et la table d'exposition, l'onde UHF se propage dans l'air. Le parcours dans l'air est suffisamment long et le diamètre du tube suffisamment grand pour que l'onde adopte la configuration "classique" - déduite des équations de Maxwell - d'une onde progressive dans un

espace infini de constantes diélectrique et magnétique égales à l'unité<sup>1</sup>. Les champs électrique et magnétique de l'onde oscillent en phase et forment un trièdre rectangle avec le vecteur de propagation. Le rapport de l'intensité du champ électrique sur l'intensité du champ magnétique est égal à l'impédance du vide ( $377 \Omega$ ).

Outre sa structure spatiale, une onde progressive monochromatique est caractérisée en chaque point de l'espace par sa polarisation et sa forme temporelle. Les mesures réalisées par A.BOTTREAU et A.BERTEAUD ont révélé qu'aucune polarisation n'est privilégiée au niveau de la table d'exposition (§1.3.3) alors que l'onde issue de l'antenne cornet (au niveau de l'anode tournante) est polarisée linéairement dans une direction fixe. Plus précisément, ces expérimentateurs ont constaté que l'amplitude moyenne des impulsions UHF ne dépend pas de la direction de polarisation d'analyse choisie. Néanmoins, l'amplitude relevée à l'aide d'une table traçante fluctue notablement de façon aléatoire.

En revanche, d'après notre analyse (§4.1.4), la forme des impulsions de l'onde ne semble pas être affectée en passant à travers le tube à plasma (ce n'est pas le cas de l'amplitude). Il est donc peu probable que la polarisation soit modifiée pendant la durée d'une impulsion de l'onde.

Au §4.3, nous développons des arguments concernant l'influence, sur la propagation de l'onde, des différents dispositifs mis en œuvre par A.PRIORE.

Aucune corrélation particulière n'existe entre les impulsions UHF émises : la fréquence de répétition peu varier (§1.2.4) et n'est synchronisée avec aucun autre paramètre physique ; les impulsions sont "indépendantes" les unes des autres, sans corrélation de phase entre elles (pour une impulsion donnée, la phase de l'onde est aléatoire car elle est tributaire de l'état d'agitation thermique des électrons émis par la cathode du magnétron au cours de son démarrage). Ainsi, la transformation de la forme temporelle de l'onde, au départ monochromatique<sup>2</sup> à la

---

<sup>1</sup> Les équations de MAXWELL acceptent des solutions d'ondes "exotiques", dirons nous, pour lesquelles les champs électriques et magnétiques sont colinéaires. Mais ces solutions, en général stationnaires et/ou obtenues dans des conditions particulières, peuvent être considérées comme résultant de la superposition d'ondes et de champs (parfois statiques) classiques [ZAGHLOUL, 1988 ; SHIMODA, 1990].

Dans le même ordre d'idées, bien que, dans un magnétoplasma, le champ électrique peut présenter une composante parallèle à la direction de propagation de l'onde (A 4.3.2), cela ne peut pas être le cas dans l'air ou dans le vide en espace libre.

<sup>2</sup> Dans le sens où, pendant la durée de l'impulsion, l'oscillation UHF s'effectue sinusoidalement.

sortie de l'antenne cornet, peut être effectuée grâce à une modulation pendant la durée de l'impulsion. Nous imputons cette modulation au fait que les effets thérapeutiques dépendent apparemment de la fréquence HF (§3.2.5). Remarquons aussi que l'abaissement de la puissance moyenne UHF de -10dB, suite à l'arrêt du générateur HF (§3.2.5), ne peut pas être préjudiciable à l'obtention d'effets biologiques car, avec une telle puissance, une proportion appréciable de souris arrive à négativer la parasitémie (expérience avec la cage n°2 ; §3.2.6). Cette remarque semble bien montrer que l'onde UHF est porteuse de "quelque chose" due à la présence des courants HF dans le plasma.

A.BOTTREAU et A.BERTEAUD ont soupçonné l'existence d'une modulation d'amplitude de l'onde UHF par les HF, mais cette hypothèse ne s'est pas confirmée (§3.5). D'ailleurs, elle ne nous paraît pas réellement fondée car la profondeur de modulation paraît très faible, voir inexistante (§1.3.3). En outre, la légère différence d'amplitude qui pourrait apparaître entre l'ondulation (de 17MHz) en présence de l'impulsion UHF et la même ondulation en l'absence de l'impulsion peut provenir de la non-linéarité de la diode détectrice : lorsque l'impulsion UHF est présente, la diode est - en moyenne - polarisée en inverse par la capacité de détection ; l'impédance dynamique de la diode est alors plus grande pour l'ondulation HF que lorsque l'impulsion est absente ; l'ondulation HF est donc moins absorbée dans la diode en présence de l'impulsion UHF.

Il existe d'autres types de modulations qui ne peuvent pas être révélées à l'aide d'une simple diode détectrice. C'est en particulier le cas de la modulation de phase (ou de fréquence - ces deux modulations présentent des similitudes) qui ne modifie pas la forme de l'impulsion d'onde.

Remarquons par ailleurs que le magnétron utilisé et sa stabilité, ainsi que la variation aléatoire - comme nous allons le voir - de la polarisation, de l'amplitude, de l'indice de modulation, en rapport avec la vitesse de balayage du spot de l'analyseur de spectre... font qu'une telle modulation peut être difficile à déceler au niveau du spectre en fréquence (§1.3.3) ; si en plus l'indice de modulation est faible en moyenne (~0,2-0,5), les raies dues à la modulation sont difficiles à distinguer du bruit de fond.

Puisque les champs HF n'ont pas une action directe sur l'organisme vivant exposé mais sont nécessaires aux effets biologiques (§4.1.2), l'hypothèse de la modulation de phase permet d'envisager un mode d'action des courants HF par l'intermédiaire de l'onde porteuse UHF.

Au §4.2, nous examinons cette hypothèse sur le plan physique.

## 4.2 - L'onde UHF est modulée en phase par les HF.

Dans un premier temps, nous allons proposer les éléments théoriques de base appropriés à notre hypothèse. Suivra ensuite une discussion pour préciser nos arguments et nous approcher, autant que possible, des conditions réelles de fonctionnement des machines PRIORE. Finalement, cette discussion permettra, si notre hypothèse s'avère juste, d'éclairer un peu plus la démarche de Antoine PRIORE.

### 4.2.1 - Principe.

Considérons une source monochromatique haute fréquence produisant une onde progressive et plane. Cette structure d'onde suffit pour développer le modèle théorique qui va nous permettre d'étayer nos propos.

La source est placée au point d'origine  $z = 0$ . L'onde se propage dans la direction de l'axe  $z$ . En un point  $z \neq 0$ , l'onde présente, d'après (A.4.1.1) et (A.4.2.2), une phase par rapport à l'origine :

$$\varphi = -k_0 z N'$$

Si l'indice  $N'$  est constant, la phase est constante. Pour simplifier l'exposé, nous ne tenons pas compte des pertes par conductivité ( $\epsilon_r'' = 0$ ) ; il vient d'après (A.4.2.1.a) et (A.4.2.4.a):

$$\varphi = -k_0 z (1 - a n_e)^{1/2} = \varphi(n_e)$$

En revanche, si la valeur de  $n_e$  varie, la phase au point  $z$  varie aussi. Ainsi, en modulant la densité électronique du plasma, la phase  $\varphi$  de l'onde est modulée en un point distant de la source monochromatique. Une variation de la densité de  $n_e - \Delta n_e$  à  $n_e$  produit une variation de phase de :

$$\Delta\varphi = -k_0 z [ (1 - a n_e)^{1/2} - (1 - a n_e + a \Delta n_e)^{1/2} ] \quad (1)$$

Si la variation de  $\varphi$  est proche d'une sinusoïde, l'indice de modulation de phase  $\eta$  (A.4.1.2) est approximativement égal à l'excursion de phase :

$$\eta \approx \Delta\varphi \quad (2)$$

La pente de la fonction  $\varphi = \varphi(n_e)$  a pour expression :

$$d\varphi / dn_e = k_0 z a / 2 (1 - a n_e)^{1/2} = k_0 z a / 2 (1 - \omega_p^2 / \omega^2)^{1/2} \quad (3)$$

Il apparaît donc que la pente est infinie à la coupure : le terme de phase de l'onde varie donc très rapidement au voisinage de la pulsation plasma. Toutefois, les pertes par conductivité atténuent quelque peu cette pente [HEALD, 1965]. Ainsi, pour une variation de densité donnée  $\Delta n_e$ , l'indice de modulation de phase est plus important autour de la fréquence de coupure.

#### 4.2.2 - Modulation de la densité électronique.

En régime continu (courant continu de décharge dans un plasma), la densité électronique est conditionnée par deux processus antagonistes permettant d'atteindre un état d'équilibre : d'une part, grâce à l'énergie acquise sous l'effet du champ électrique, des électrons ionisent des atomes neutres, créant ainsi des paires ion-électron ; à chaque instant, il se crée  $dn_{e \text{ création}}$  électrons ; d'autre part, des électrons sont capturés ou évacués du volume considéré par différents processus ; à chaque instant,  $dn_{e \text{ suppression}}$  électrons libres "disparaissent". A l'équilibre, on a l'égalité :

$$dn_{e \text{ création}} = dn_{e \text{ suppression}}$$

La densité qui en résulte est d'autant plus élevée que le courant électrique de décharge est intense.

Dans notre cas, nous avons à considérer un courant alternatif haute fréquence traversant le plasma, de pulsation  $\omega_{HF}$ . Au cours d'une période d'oscillation, lorsque le champ appliqué est maximum - alternance positive ou négative -, l'énergie cinétique acquise par les électrons est maximale ; celle-ci ne dépend pas de la direction du champ appliqué [GORDON, 1960]. Ainsi, les processus de création sont favorisés et la densité augmente. Entre deux alternances, le courant passe par une valeur nulle et les processus de suppression prennent le dessus ; la densité diminue. Il s'établit finalement une densité moyenne autour de laquelle la densité électronique subit une fluctuation périodique de pulsation  $\omega_{mod}$ , double de la pulsation du champ HF :

$$\omega_{mod} = 2 \omega_{HF} \quad (4)$$

Les processus de suppression des électrons peuvent être de plusieurs types : simple diffusion, diffusion ambipolaire, recombinaison en volume, recombinaison sur les parois, attachement aux neutres... Généralement, ces processus coexistent, chacun contribuant d'une façon plus ou moins importante à la suppression des électrons.

Pour le néon et l'argon très purs, la recombinaison électron-ion en volume est le processus de suppression dominant [BIONDI, 1949 ; SAYERS, 1947 ; BROWN, 1959]. Ce processus est bien quantifié sur le plan expérimental ; quant au mécanisme, la recombinaison en volume est certainement de type dissociative [BROWN, 1959]. Puisque ce processus fait intervenir deux corps, le taux de recombinaison est régi par l'équation différentielle suivante :

$$dn_{e \text{ suppression}} / dt = - \alpha n_e^2$$

$\alpha$  est la constante de recombinaison (en  $\text{cm}^3/\text{s}$ ). Cette relation suppose que le nombre d'ions et le nombre d'électrons sont identiques ; identité qui traduit la neutralité électrostatique du plasma. Lorsque cesse le courant de décharge provenant de la source électrique extérieure, seul subsiste le processus de recombinaison :

$$dn_e / dt = dn_{e \text{ suppression}} / dt$$

L'intégration de cette équation permet alors de déterminer l'évolution de la densité électronique :

$$n_e(t) = n_e(0) / ( 1 + \alpha t n_e(0) ) \quad (5)$$

$n_e(0)$  étant la densité électronique à l'instant  $t = 0$  où cesse le courant de décharge. Ainsi :

$$\Delta n_e = n_e(0) - n_e(t) = n_e^2(0) \alpha t / ( 1 + \alpha t n_e(0) ) \quad (6)$$

représente la variation de  $n_e$  entre les instants 0 et t .

#### 4.2.3 - Estimation de l'indice de modulation.

Dans le cas du néon pur, des mesures [BIONDI, 1949 ; OSKAM, 1957] montrent que  $\alpha$  est indépendante de la température entre 195 et 410K, et de la pression dans la gamme de 15 à 30mmHg. Sa valeur est :

$$\alpha = 2,1.10^{-7} \text{ cm}^{-3}.\text{s}^{-1}$$

Cette valeur a été obtenue par des méthodes de mesures diélectriques en cavité résonnante. L'indépendance de  $\alpha$  en fonction de la pression confirme que la recombinaison en volume est le processus de suppression dominant pour le néon pur.

Pour simplifier les calculs, nous allons assimiler le courant oscillant haute fréquence à une succession d'impulsions rectangulaires - successivement de signes opposés - plutôt qu'à une sinusoïde. Entre deux impulsions successives, le courant s'annule pendant un temps de l'ordre de grandeur de la demi période ; ainsi, entre deux impulsions, le nombre d'électrons décroît selon la loi d'évolution (5). Pour un champ haute fréquence de 17MHz, la durée  $\tau$  entre deux alternances est :  $\tau = 1/2f \approx 3.10^{-8}$ s.

Dans la discussion qui suit, nous allons considérer deux situations pour illustrer simplement nos propos. Dans le premier cas, nous nous plaçons à la coupure pour l'onde UHF :

$$\omega_p = \omega = 2\pi f = 2\pi .9,4.10^9 = 59,1.10^9 \text{ rad/s}$$

la densité électronique critique a pour valeur :  $n_{ec} = 1,08.10^{18} \text{ él./m}^3$ . Dans le second cas :

$$\omega_p^2 / \omega^2 = 0,1 \quad \text{soit} \quad \omega_p = 18,7.10^9 \text{ rad/s}$$

la densité prend alors pour valeur  $n_e = 0,1.n_{ec} = 1,08.10^{17} \text{ él./m}^3$ .

Il est intéressant de noter que ces valeurs sont à la limite des densités maximales que l'on peut obtenir par des techniques simples de décharges électriques dans les gaz [MARZAT, 1965], c'est à dire à l'aide de simples électrodes placées dans une enceinte en verre ; principe adopté par A.PRIORE. Pour obtenir de plus grandes densité par décharges électriques, il faut envisager d'autres moyens faisant appel à des structures plus élaborées et à des matériaux plus résistants, notamment au niveau des électrodes [voir par ex. BOTTREAU, 1969 ; MARZAT, 1969].

Nous avons signalé que A.M.BOTTREAU a fait une estimation grossière de la densité électronique dans l'espace anode-cathode fondée sur ses critères théoriques et expérimentaux (§1.3.1). Cette valeur est de  $\approx 10^{17} \text{ él./m}^3$  pour une puissance dissipée par la source de courant continu de l'ordre de  $400\text{V} \times 200\text{mA} = 80 \text{ W}$ .

Or, la puissance efficace que peuvent délivrer les générateurs haute fréquence est nettement supérieure à cette valeur. On peut donc penser que la densité électronique dans la région de l'anode est supérieure à  $10^{17} \text{ él./m}^3$  ; la puissance effective ionisante [GORDON, 1960 ; BADAREU, 1968] n'étant pas trop inférieure à la puissance efficace dans la gamme des fréquences métriques et pour des pressions

de gaz de quelques mmHg. Nous voyons donc que la valeur de la densité critique  $n_{ec} = 1,08.10^{18}$  él./m<sup>3</sup> est en accord avec ces estimations.

Avec ces valeurs numériques, le dénominateur de l'expression (6) est pratiquement égal à l'unité. Il vient :

$$\Delta n_e \approx n_e^2(0) \alpha \tau \quad (7)$$

Pour  $\omega_p = \omega$ , on trouve  $\Delta n_e \approx 6.10^{15}$  él./m<sup>3</sup>.

Pour  $\omega_p^2 / \omega^2 = 0,1$ , on trouve  $\Delta n_e \approx 6.10^{13}$  él./m<sup>3</sup>.

A la coupure, la variation relative de densité entre deux alternances du courant haute fréquence est  $\Delta n_e / n_e \approx 5,6.10^{-3}$ ; elle est 10 fois plus faible pour  $\omega_p^2 / \omega^2 = 0,1$ . Ces chiffres permettent d'assimiler  $n_e(0)$  à la densité moyenne  $n_e$ .

Au premier abord, on peut penser que la faible variation relative  $\Delta n_e / n_e$  que nous venons de calculer ne peut avoir aucune influence notable sur l'onde UHF. Cherchons, malgré tout, à estimer le changement de phase que produit cette variation.

Considérons que l'épaisseur du plasma que traverse l'onde UHF est de l'ordre de 5cm - longueur en rapport avec les dimensions caractéristiques (dimensions de l'anode, volume de l'enceinte en verre autour de l'anode, distance entre les électrodes HF). La fréquence de l'onde est de 9,4GHz ( $\lambda_0 = 3,19$  cm).

Loin de la coupure ( $\omega_p^2 < \omega^2$ ) et pour une petite variation relative de densité  $\Delta n_e / n_e$ , la relation (3) permet de déterminer l'excursion de phase au premier ordre :

$$\Delta \varphi \cong k_0 z a \Delta n_e / 2$$

Avec les chiffres proposés et trouvés pour  $\omega_p^2 / \omega^2 = 0,1$ , on trouve  $\Delta \varphi = 0,86.10^{-4} \pi$ ; l'indice de modulation est donc extrêmement faible. Si par contre,  $\omega_p$  est égale à  $\omega$ , il faut utiliser la relation (1). On simplifie cette expression en remarquant qu'à la coupure  $1 - a n_e = 0$ ; il vient :

$$\Delta \varphi \cong k_0 z (a \Delta n_e)^{1/2} = 1,89.10^{-7} z (\Delta n_e)^{1/2} \quad (8)$$

soit une valeur numérique de  $\Delta \varphi = 0,233 \pi$ ; à la coupure, l'indice de modulation devient significatif. Ces données sont rassemblées dans le tableau suivant :

	$\omega_p^2 / \omega^2 = 0,1$	$\omega_p = \omega$
$\omega_p$ (radian/s)	$18,7.10^9$ (2,97GHz)	$59,1.10^9$ (9,4GHz)
$n_e$ (él./m <sup>3</sup> )	$1,08.10^{17}$	$1,08.10^{18} = n_{ec}$
$\Delta n_e / n_e$	$5,6.10^{-4}$	$5,6.10^{-3}$
$\Delta \varphi$ (radian)	$0,86.10^{-4} \pi$	$0,233 \pi$

#### 4.2.4 - D'autres paramètres permettraient d'agir sur le temps de recombinaison.

Pour donner une estimation de la valeur  $\Delta n_e$ , nous nous sommes placés dans l'hypothèse des gaz purs et n'avons considéré que les processus de recombinaison en volume. Examinons quelques autres processus de recombinaison ; certains peuvent avoir une influence sur  $\Delta n_e$  et donc sur l'indice de modulation.

Les électrons peuvent quitter le volume parcouru par les UHF par diffusion libre ou ambipolaire. Dans ces processus, les électrons migrent des zones de fortes densités électroniques vers les zones de plus faibles densités, et se recombinent sur les parois de l'enceinte contenant le gaz ionisé. Ces processus sont donc régis par la géométrie de l'enceinte (formes et dimensions). Les calculs, faisant appel à la méthode des fonctions propres [DELCROIX, 1994], sont simples pour des géométries élémentaires telles que les parallélépipèdes, les cylindriques. Par contre, dans le cas des machines PRIORE, la structure de l'anode avec ses "palettes" inclinées et son mouvement de rotation rendent le traitement mathématique plus complexe.

En fait, la disparition des électrons par diffusion libre n'intervient que pour les gaz très faiblement ionisés. J.DELCROIX et A.BERS proposent une formule [DELCROIX, 1994] permettant d'estimer la densité  $n_e$  au delà de laquelle la recombinaison en volume domine la diffusion libre :

$$n_e n_0 \alpha \Lambda^2 \approx 10^{19}$$

$n_0$  est le nombre d'atomes par  $\text{cm}^3$  ;  $\Lambda$  a la dimension d'une longueur (en cm), caractéristique de la géométrie de l'enceinte. Prenons comme longueur caractéristique - la plus favorable à la diffusion, donc la plus petite - l'espace entre les palettes de l'anode et la paroi en verre du tube à plasma :  $\Lambda \approx 1$  cm. La pression minimale est de 2 mmHg, d'où  $n_0 = 6.10^{16}$  at./ $\text{cm}^3$  à la température ambiante. Pour le néon  $\alpha = 2,1.10^{-7}$   $\text{cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Avec ces valeurs, on trouve  $n_e = 8.10^{14}$  él./ $\text{m}^3$  ; cette valeur est très inférieure à la densité critique  $n_{ec} = 1,08.10^{18}$  él./ $\text{m}^3$ . La suppression par diffusion libre est donc négligeable au regard de la recombinaison en volume.

D'autre part, les ions diffusent beaucoup plus lentement que les électrons à cause de leur plus grande masse. Pour des gaz plus ionisés que dans le cas de la diffusion libre, les différences des vitesses de diffusion entre les ions et les électrons sont à l'origine de charges d'espace. En retour, les charges d'espace ralentissent les électrons qui diffusent donc moins vite que lorsqu'ils sont libres.

D'un autre côté, les processus de diffusion sont ralentis lorsque la pression augmente.

Il est donc très peu probable que la suppression des électrons par diffusion intervienne dans notre problème. Ces arguments sont valables aussi pour les mélanges de gaz.

Les atomes neutres de néon et d'argon ne peuvent pas capturer des électrons, ces gaz étant chimiquement inertes. Par contre, certains gaz présentent une affinité électronique favorisant les processus d'attachement des électrons aux neutres. C'est le cas des gaz électronégatifs tels que, par exemple, l'oxygène, les halogènes, divers hydrocarbures [LLEWELLYN-JONES, 1966 ; BADAREU, 1968]. Les gaz moléculaires permettent aussi d'absorber une partie de l'énergie cinétique des électrons par rotation et vibration moléculaire, facilitant ainsi les processus de recombinaison [BIONDI, 1949 ; BROWN, 1959].

La capture d'un électron par un neutre produit un ion négatif. L'électron est "alourdi" par cet attachement et ne peut plus osciller sous l'effet de l'onde UHF : l'électron est donc supprimé pour l'onde UHF. L'ion négatif se recombine ensuite avec un ion positif ou les parois avoisinantes (enceinte en verre et anode tournante avec ses palettes dans notre cas).

Lorsque, dans un gaz pur donné, la recombinaison par attachement constitue le processus dominant, la suppression des électrons est régie par l'équation :

$$dn_{e \text{ suppression}} / dt = - h v_c n_e = - v_a n_e$$

$v_a$  est la fréquence d'attachement et est inférieure à la fréquence de collision  $v_c$ . Le rapport  $h = v_a / v_c$  exprime donc la probabilité d'attachement lors d'une collision.

L'intégration de cette équation donne la loi d'évolution de la densité électronique :

$$n_e(t) = n_e(0) e^{-v_a t}$$

Plus le nombre de neutres électronégatifs est important, plus le nombre de collisions est élevé ;  $v_c$  augmente ainsi que  $v_a$ , corrélativement. Les électrons sont donc capturés d'autant plus vite que la pression est élevée. Cette dépendance de la vitesse de suppression en fonction de la pression permet de distinguer la recombinaison par attachement de la recombinaison en volume (cette dernière étant indépendante de la pression). Ces phénomènes sont mis en évidence par des mesures en cavité résonnante hyperfréquence [BROWN, 1959].

Dans un mélange, où le gaz principal est le néon ou l'argon, une proportion relativement faible de gaz électronégatif peut suffire pour que la recombinaison par attachement devienne notable ; la fréquence d'attachement  $\nu_a$  étant fonction du nombre de neutres électronégatifs disponibles pour un attachement ; nombre qui peut être très supérieur au nombre de neutres déjà liés à un électron. Par exemple, 1% de gaz ajouté et pour une pression totale du mélange de 2mmHg, la densité de neutres est de  $n_0 = 6.10^{20}$  at./m<sup>3</sup>, soit presque  $10^3$  fois plus que la densité électronique  $n_{ec}$ , ou encore  $\sim 10^5$  fois  $\Delta n_e$ .

La recombinaison par attachement peut donc dominer la recombinaison en volume. Dans ce cas, la relation ci-dessus remplace la relation (5).

Ainsi, deux paramètres physiques permettent de diminuer le temps de recombinaison des électrons : l'ajout de gaz électronégatif au gaz inerte, et la pression. Certaines données nous permettent de penser que A.PRIORE a exploré ces paramètres physiques.

Bien que les modalités d'explorations n'aient pas été précisées, divers mélanges de gaz ont été essayés. De plus, l'air pouvait s'infiltrer dans le circuit du vide (§1.3.1). D'ailleurs, les opérations de dégazage sous basse pression ne permettaient probablement pas de retirer toutes les traces d'impuretés à cause des grandes longueurs et des petits diamètres des tubes du circuit du vide, notamment la canalisation reliant l'unité de pompage au tube à plasma (§1.2.1). D'autre part, le circuit du vide ne correspond pas exactement en tous points au schéma relevé par A.BERTEAUD et A.BOTTREAU ; des accès de produits supplémentaires peuvent avoir été pratiqués.

D'un autre côté, le spectre d'émission visible du plasma, relevé par ces auteurs (§1.3.7), ne résulte pas d'une simple superposition des spectres du néon et du mercure. La présence d'autres molécules est donc possible.

Considérons la tension de maintien de la décharge entre l'anode et la cathode (§1.3.1). Les différentes valeurs relevées sur les différentes machines peuvent être attribuées à plusieurs causes.

On peut tout d'abord écarter la nature du matériau constituant la cathode car, depuis le premier brevet, il semble que se soit le molybdène qui ait été retenu. En revanche, des atomes ou des molécules peuvent se fixer sur la cathode et augmenter ainsi la tension de maintien de la décharge. L'oxygène, même en très faible quantité, peut former une couche monoatomique très stable à la surface d'une cathode en molybdène. Cependant, grâce à l'impact des ions, la couche d'oxygène disparaît autour du point de contraction (voir §4.3.3) de la décharge après 30 à 40mn de fonctionnement ; la tension de décharge dans la zone de

cathode passe de  $\sim 210\text{V}$  à  $\sim 150\text{V}$  (voir moins) dans le cas du néon, pour des pressions de l'ordre de quelques mmHg à quelques dizaines de mmHg [PENNING, 1946 ; JURRIANSE, 1946].

De plus, le chauffage de la cathode à  $450^\circ\text{C}$  (§1.2.1) favorise l'émission électronique par effet thermoionique [LLEWELLYN-JONES, 1966] : cet effet contribue à abaisser la tension de maintien de la décharge.

Les moyens mis en place par A.PRIORE pour réaliser le vide ne permettaient pas d'enlever la couche d'oxygène car il faut, pour cela, chauffer la cathode à plus de  $1500^\circ\text{C}$  ou procéder à sa pulvérisation superficielle [PENNING, 1946 ; JURRIANSE, 1946]. Néanmoins, les longues heures de fonctionnement des machines permettaient probablement d'arracher la couche d'oxygène au(x) point(s) de contraction(s) sur la cathode ; le chauffage de la cathode pouvant aider au décapage. Or, même en tenant compte de la chute de tension dans la colonne positive de la décharge (en général très inférieure à la chute de tension dans la zone de cathode), nous voyons que les tensions relevées entre anode et cathode sur les machines de A.PRIORE sont nettement supérieures à celles que F.PENNING et T.JURRIANSE indiquent.

Ces différences de tensions laissent à penser, ici encore, que A.PRIORE aurait procédé à des mélanges de gaz.

Lorsque la fréquence de collision est suffisamment élevée ( $v \approx \omega_{\text{HF}}$  ou  $v > \omega_{\text{HF}}$ ), les courbes de décharge en haute fréquence sont similaires aux courbes en courant continu (vu la distance entre les électrodes HF et l'anode, la recombinaison en volume domine la diffusion) ; les valeurs des tensions entre les électrodes sont toutefois différentes à cause des répartitions différentes des charges d'espace dues aux ions positifs. Le potentiel d'amorçage HF est minimum pour une certaine pression ; pression qui est fonction de la structure et des dimensions de l'enceinte contenant le gaz. Pour les pressions supérieures, ce potentiel s'élève car le nombre de collisions augmente.

La courbe du potentiel de maintien évolue, en fonction de la pression, de la même manière que la courbe du potentiel d'amorçage [GORDON, 1960] ; pour conserver la même densité  $n_{\text{ec}}$  (critique pour l'onde UHF) lorsque la pression augmente, il faut augmenter la tension haute fréquence de maintien, et donc la puissance des générateurs HF.

Ainsi donc, dans le cas de l'ajout d'un gaz électronégatif, l'accroissement de la pression permettrait d'augmenter l'indice de modulation de phase mais demande, en contrepartie, une augmentation de la puissance modulante HF appliquée au plasma.

**4.2.5 - Considérations sur le parcours de l'onde UHF dans la région de l'anode.**

D'après les principes d'optique, lorsqu'un milieu est caractérisé par une constante diélectrique négative ( $\epsilon'_r \leq 0$ ,  $\epsilon''_r = 0$ ), l'onde électromagnétique est totalement réfléchi sur le dioptre vide-milieu et ne peut pas pénétrer dans ce milieu [BORN, 1964].

Par contre dans le cas des plasmas, d'une façon générale, la densité électronique n'est pas uniforme dans tout le volume du gaz ionisé. La répartition de la densité électronique dans la région de l'anode tournante est en fait dictée par les densités de courants haute fréquence (elles-mêmes fonction de la disposition des électrodes d'application) et par la recombinaison des électrons au contact des parois ( $n_e \approx 0$  sur les parois).

Considérons tout d'abord le cas simple d'un plasma dont la densité électronique varie seulement le long de l'axe (z) de propagation de l'onde :

$$n_e = n_e(z)$$

L'extension du plasma étant limitée,  $n_e(z)$  croît progressivement à partir de  $z = 0$  sur une longueur comparable ou supérieure à la longueur d'onde, passe par un maximum  $n_{e \max}$ , puis décroît tout aussi progressivement. Les réflexions multiples sont réduites par rapport au cas d'une lame à faces parallèles et la phase au point  $z = L$  est donnée, avec une bonne approximation, par l'intégrale :

$$\phi = -k_0 \int_0^L \sqrt{\epsilon'_r(z)} dz = -k_0 \int_0^L [1 - a n_e(z)]^{1/2} dz$$

Sur le plan théorique, divers auteurs ont étudié les coefficients de transmission et de réflexion pour différents profils symétriques : trapézoïdal, parabolique, gaussien, hyperbolique,... [GINSBURG, 1961 ; ALBINI, 1961 ; PAPOULAR, 1961,1965 ; HEALD, 1965; BOTTREAU, 1969 ; MARZAT, 1969]. D'une façon générale, ces études montrent qu'une partie non négligeable de l'énergie de l'onde peut franchir le plasma alors que la densité électronique  $n_{e \max}$  dépasse - dans une certaine mesure - la densité critique. Il faut, d'autre part, que la longueur de la zone où  $n_e(z) \geq n_{ec}$  ne soit pas trop importante par rapport à la longueur d'onde. Ce phénomène est similaire à l'effet "tunnel" en mécanique quantique ; des mesures confirment ces études théoriques. Ainsi, à la lumière de ces travaux, le parcours de 5cm pour l'onde UHF, que nous avons choisi au §4.2.3, peut être considéré comme la longueur caractéristique d'un profil symétrique pour  $n_e(z)$ , profil permettant la propagation d'une partie appréciable de l'énergie UHF même si  $n_{e \max}$  dépasse quelque peu  $n_{ec}$ .

Dans le cas qui nous intéresse, l'antenne cornet pointe dans la direction de l'anode. L'onde émise franchit le plasma, y est modulée, et se présente face aux orifices pratiqués sur le pourtour de l'anode tournante (§1.2.1). Ces orifices forment des guides d'onde de section circulaire. La longueur d'onde de coupure  $\lambda_{0c}$  d'un guide circulaire pour le mode de propagation fondamental est donnée par la formule [GARDIOL, 1981] :

$$\lambda_{0c} = \pi d / 1,841$$

où  $d$  est le diamètre du guide, le guide étant vide. Pour  $d \approx 1,5\text{cm}$ , on a  $\lambda_{0c} = 2,55\text{cm}$ . Cette valeur est inférieure à la longueur d'onde UHF ( $\lambda_0 = 3,19\text{cm}$  pour  $9,4\text{GHz}$ ). La fréquence de coupure de ces guides est donc sensiblement supérieure à la fréquence de l'onde UHF. L'onde peut toutefois transiter, en partie seulement, à travers ces orifices sur un mode évanescent dès lors que la longueur de ces derniers n'est pas trop importante ; de plus, sa pénétration dans ces conduits est facilitée par la forme conique de leur embouchure. A la sortie des orifices, cette partie de l'onde UHF débouche dans la cavité interne de l'anode tournante. Elle est finalement dirigée vers la cible biologique puisque cette cavité est ouverte vers la bas.

En réalité, la densité électronique ne varie pas uniquement suivant l'axe  $z$ . Elle est aussi fonction des deux autres coordonnées du repère cartésien :

$$n_e = n_e(x,y,z)$$

Les inhomogénéités de densités peuvent être de tailles comparables à la longueur d'onde. Ainsi, non seulement une partie de l'onde est transmise à travers le plasma, mais une autre partie de son énergie est déviée, dispersée [HEALD, 1965]. L'énergie dispersée est d'autant plus importante que la zone, où la densité critique est dépassée, est volumineuse.

D'une façon générale, les chemins optiques de l'onde UHF sont régis par le principe de Fermat. Le traitement analytique du problème peut devenir très complexe [BRANDSTATTER, 1963] d'autant plus que la fonction  $n_e(x,y,z)$  n'est pas simple. Ces chemins sont incurvés et dépendent de cette fonction et de l'angle d'incidence. Sur une partie de leur parcours, ces chemins "glissent" le long des surfaces où la densité avoisine la densité critique :

$$n_e(x,y,z) = \text{constante} \approx n_{ec} \quad (9)$$

Les ondes dispersées subissent donc elles aussi une modulation de phase à la fréquence  $2\omega_{\text{HF}}$ . Remarquons encore que ces surfaces fluctuent au rythme de la modulation TBF des courants HF. Les chemins optiques orientés vers le bas

rencontrent les palettes de l'anode ; ces dernières canalisent ainsi une partie de l'énergie électromagnétique vers la cible biologique.

Enfin, qu'elle ait transité par la cavité ou par la périphérie de l'anode tournante, l'onde UHF débouche sous l'anode. A ce niveau, le gaz est ionisé par le champ haute fréquence (§1.3.1) mais aussi par le courant de décharge anode-cathode modulé en basse fréquence. Il est difficile d'estimer la contribution des courants HF à la densité, d'autant plus que la disposition des électrodes HF ne favorise pas la répartition des courants sous l'anode mais plutôt autour de celle-ci. L'indice de modulation est probablement très faible à ce niveau.

#### 4.2.6 - Une question de lueur ?

D'après une observation de A.BOTTREAU, les UHF produisaient une lueur dans la région située entre la sortie de l'antenne cornet et l'anode tournante (§1.3.1).

Plaçons nous en un point suffisamment distant de la sortie du cornet pour pouvoir considérer que l'onde UHF se propage dans un espace "infini". Le champ électrique efficace de l'onde, juste avant d'entrer dans le plasma, a alors pour valeur :

$$E = (120\pi P)^{1/2}$$

P est la densité de puissance de l'onde (en W/cm<sup>2</sup>, et E en V/cm) ; le coefficient 120π est l'impédance du vide. La puissance d'émission du magnétron 2J55 est de 40kW crête. Si on prend 25cm<sup>2</sup> pour la surface moyenne d'éclairement du cornet, la densité de puissance à la sortie de celui-ci est de l'ordre de 40.10<sup>3</sup> / 25 = 1,6.10<sup>3</sup> W/cm<sup>2</sup>. Ce qui donne, pour le champ électrique, une valeur de 777 V/cm crête.

Ce champ est légèrement supérieur au champ disruptif dans le néon ou l'argon pour les UHF, et est donc supérieur au champ de maintien de décharge [PROWSE, 1952] ; le néon possède d'ailleurs un champ disruptif relativement faible par rapport aux autres gaz [PROWSE, 1951]. Il ne faut cependant pas oublier qu'au niveau de l'anode, le gaz est essentiellement ionisé par les courants HF. Vue sa valeur moyenne (rapport cyclique de 7.10<sup>-4</sup> ; §1.3.3), l'onde UHF semble donc seulement contribuer à l'illumination du plasma. Notons toutefois que sur M600 le rapport cyclique peut être beaucoup plus élevé (impulsions de 100μs ; §1.2.4).

Lorsque  $\omega_p$  augmente et s'approche de la pulsation  $\omega$  de l'onde,  $\epsilon'_r$  décroît et  $\epsilon''_r$  augmente ( $\epsilon''_r$  varie comme le carré de la pulsation plasma) (A.4.2.4.a et b). Pour une valeur de  $\epsilon''_r$  donnée, la dérivée de la relation (A.4.2.1.c) montre que  $N''$  croît de façon monotone lorsque  $\epsilon'_r$  décroît ; et donc  $N''$  croît d'autant plus que  $\epsilon''_r$  augmente. Ainsi, le coefficient d'atténuation dans (A.4.2.2) augmente lorsque  $\omega_p$  tend vers  $\omega$ . A la coupure, l'onde électromagnétique peut se propager et présente des pertes qui sont fonction, d'après la relation (A.4.2.5), du coefficient d'atténuation  $k_0 \xi z$ .

De son côté, l'accroissement de la pression, et donc de la fréquence de collision électronique  $\nu$ , contribue à augmenter le coefficient d'atténuation.

L'onde UHF cède donc une partie de son énergie au plasma par effet joule ; et ce d'autant plus que les gradients de densité électronique favorisent la pénétration de l'onde au cœur du plasma où règne la densité critique. L'onde UHF contribue aux processus de collisions électrons-ions et donc à l'ionisation du plasma.

Ces arguments permettent de donner ainsi une interprétation à l'observation de A.BOTTREAU.

L'illumination du gaz ionisé à la sortie du cornet UHF - c'est à dire au niveau de la densité de champ UHF maximale - peut constituer, d'après nos hypothèses, un moyen de contrôle visuel de la densité critique : si la densité électronique est faible, l'onde UHF cède peu d'énergie au gaz ionisé et contribue peu à l'illuminer ; si cette densité dépasse trop la densité critique, l'onde UHF ne pénètre plus dans le plasma et ne contribue plus à son illumination ; autour de la densité critique, l'illumination UHF est "maximale".

Il est tentant de penser que A.PRIORE fixait ses réglages grâce à cette indication visible. En réglant l'intensité du courant HF, il ajustait en somme la pulsation plasma à la pulsation de l'onde UHF fixée par le magnétron : cette façon de voir, donne une consistance "palpable" à la notion de « *mélange* » des HF et des UHF.

S'agit-il ici d'un des fameux réglages secrets de Antoine PRIORE ?

Dans cet esprit, rien d'étonnant si, dès la première expérimentation réalisée sur chaque machine nouvellement construite, les résultats biologiques s'avéraient très probants sans que cela ne passe par quelques essais et tâtonnements dans le déroulement des expériences. On comprend alors avec quelle grande assurance Antoine PRIORE pouvait reproduire ses machines.

On peut chercher à estimer la puissance UHF crête au niveau de la table d'expérimentation sur P2. Le magnétron 2J55 fournit une puissance de  $\sim 40$  kW crête. Une approximation grossière consiste à considérer que l'onde UHF issue de

l'antenne cornet est dispersée de façon isotrope, en moyenne, par l'anode tournante et le plasma qui l'entoure. La table d'exposition est distante de  $\sim 1,5\text{m}$  de l'anode. La densité de puissance UHF au niveau de la table est donc égale à la puissance fournie par le magnétron divisée par la surface de la sphère de rayon  $1,5\text{m}$  centrée sur l'anode ; soit  $\sim 140 \text{ mW/cm}^2$  crête.

Cette valeur peut être plus élevée au niveau de la table d'exposition car les palettes de l'anode tournante peuvent favoriser la déflexion de l'onde UHF dans cette direction.

Cette valeur est donc supérieure à celle relevée par A.BOTTREAU et A.BERTEAUD ( $16\text{mW/cm}^2$  crête), ce qui peut être imputé au fait que l'onde est en partie absorbée dans le plasma. Le rapport entre ces deux puissances :

$$R_{\text{abs}} \approx 16 / 140 = 0,11$$

est donné par le carré du terme d'atténuation du champ (A.4.2.5) :

$$R_{\text{abs théorique}} = e^{-2 k_0 \xi z}$$

Dans ce cas, avec  $z = 5\text{cm}$ , le rapport de puissance est compris entre 0,64 et 0,25.  $R_{\text{abs}}$  est donc un peu en dessous de  $R_{\text{abs théorique}}$ . A condition que la valeur relevée par les physiciens soit correcte (§1.3.3), une valeur plus faible au niveau de la table d'exposition peut avoir plusieurs raisons : notre hypothèse d'isotropie est très approximative (l'onde incidente issue du cornet serait de préférence diffusée vers l'arrière ; de plus, elle subit une réflexion en arrivant dans le fond inférieur du tube), ou le parcours de l'onde à travers la densité avoisinant  $n_{\text{ec}}$  est un peu plus long ; une fréquence de collisions électroniques plus grande paraît moins probable. Notons encore que la structure de l'onde est constamment perturbée en transitant à travers le tube à plasma (§4.3).

#### 4.2.7 - Le réglage de la puissance HF est dicté par la densité critique.

Par rapport à P2, le diamètre du tube et les dimensions de l'anode ont été augmentés sur M600. Le volume de gaz autour de l'anode est donc plus important. Aussi, afin de maintenir la densité électronique au niveau de la densité critique  $n_{\text{ec}}$ , l'énergie HF doit être augmentée. Le trajet de l'onde UHF dans le gaz ionisé par les HF est ainsi allongé ce qui a pour conséquence d'accroître l'indice de modulation (2).

On peut ainsi expliquer pourquoi la puissance des générateurs HF est plus importante sur M600.

D'autre part, c'est sur M600 que les émetteurs HF de fortes puissances ont été endommagés au niveau de l'étage de puissance. Cette panne a été fatale puisqu'elle a rendue cette machine définitivement inutilisable.

Pourtant, ces générateurs pouvaient fonctionner à puissance réduite en utilisant l'amplificateur qui précède l'étage de puissance. Cet amplificateur fournit une puissance de l'ordre de 1,5kW, pour chacun des trois générateurs, comparable à la puissance utilisable sur P2. Mais, cette possibilité, relativement facile à mettre en œuvre, n'a pas été explorée tout au moins au niveau de l'expérimentation biologique.

Nous en déduisons donc qu'une puissance "trop faible" des générateurs HF ne permet pas d'atteindre la densité critique dans un volume suffisamment grand ; ce qui expliquerait pourquoi aucune expérience n'a été réalisée pour vérifier l'efficacité thérapeutique en fonction de la puissance HF (§4.1.1).

Nous développons en annexe (§A 4.5) le formalisme mathématique des circuits adaptateurs que A.PRIORE disposait entre les générateurs HF et les électrodes HF du tube à plasma. Il ressort que la puissance fournie au plasma peut être réglée par la tension plaque des tubes amplificateurs et par le couplage entre les enroulements des circuits.

Si cette description théorique apporte un éclaircissement sur le mode de fonctionnement de ces circuits, il est utile de noter que toute personne familiarisée avec les techniques HF peut maîtriser les réglages par quelques tâtonnements sans connaître les formules mathématiques (d'ailleurs, sur notre instrumentation, nous avons nous même procédé ainsi avant de nous intéresser au formalisme théorique). Il est certain que Antoine PRIORE avait acquis « *un savoir faire* », « *un tour de main* » à ce niveau,... entre autre.

D'autre part, si la fréquence des générateurs n'est pas stabilisée, le circuit adaptateur peut ne plus être accordé au cours du fonctionnement, ce qui réduit la puissance HF fournie au plasma : la densité critique n'est plus alors atteinte ; l'efficacité biologique est notablement diminuée (§3.2.5).

#### 4.2.8 - Une question de limites ?

A la lumière des lois physiques propres à notre hypothèse de la modulation de phase et des lois biophysiques concernant la propagation de l'onde UHF dans les milieux biologiques, nous pensons que les choix de certains paramètres effectués par A.PRIORE découlaient des limites imposées par la conception même de son instrumentation, outre d'autres contraintes possibles telles que la disponibilité ou pas de certains moyens techniques. C'est ainsi que dans le cadre de ces limites, il a cherché à optimiser les effets biologiques.

Parmi les fréquences explorées, la fréquence de 9,4GHz a été retenue. Elle est située dans une bande de fréquences (bande X) fixée par des normes techniques. Cette bande de fréquences a été très employée : d'un côté, les composants hyperfréquence ne sont pas trop volumineux et onéreux, et d'un autre côté, les générateurs peuvent être très puissants (magnétrons, klystrons...). Il est donc tout à fait naturel que A.PRIORE ait utilisé cette bande de fréquences.

Nos hypothèses peuvent expliquer pourquoi de meilleurs résultats biologiques ont été obtenus avec cette fréquence.

Si l'on considère l'interaction de l'onde électromagnétique avec les organismes vivants, on pourrait émettre l'hypothèse que les effets biologiques sont obtenus uniquement avec cette fréquence particulière. Si tel était le cas, cela voudrait dire que l'inventeur n'aurait observé aucun effet avec les autres fréquences explorées. La chatte de 1953 aurait alors été guérie avec cette fréquence et, en 1962, date de la rédaction de son premier brevet, soit presque 10 ans après, A.PRIORE aurait renoncé depuis longtemps à explorer d'autres fréquences. Or, dans ce premier brevet, il indique bien que les fréquences UHF utilisées s'étalent de 375MHz à 10GHz (§1.2.4). Ces arguments contradictoires nous poussent à penser que la fréquence de 9,4GHz ne constitue pas une fréquence unique, "pointue", avec laquelle des effets biologiques sont obtenus.

En revanche, le choix de la fréquence peut provenir de la méthode physique développée par l'inventeur. Nous avons avec les relations (7) et (8) :

$$\Delta\varphi \approx 1,89 \cdot 10^{-7} z (\alpha \tau)^{1/2} n_e(0) \quad (10)$$

$\tau$  étant de l'ordre de la demi période du courant HF modulant. Cette relation montre que l'indice de modulation est proportionnel à la densité moyenne ( $n_e(0) \cong n_e$ ). Puisque cette relation est valable à la coupure ( $\omega = \omega_p$ ),  $n_e$  est proportionnelle à  $\omega^2$ . Ainsi, pour une longueur  $z$  de plasma donnée, l'indice de modulation est d'autant plus grand que la fréquence de l'onde à moduler est

élevée. Puisque d'après nos hypothèses, l'efficacité biologique croît avec l'indice de modulation, la fréquence la plus élevée dans la gamme annoncée par l'inventeur (375MHz à 10GHz) donne de meilleurs résultats.

En contre partie, la densité électronique doit être augmentée afin d'atteindre la densité critique correspondant à cette fréquence, ce qui demande une plus grande puissance HF ionisante (et modulante). Les électrodes HF et l'enceinte du plasma doivent alors être conçues pour mieux résister à l'échauffement.

Cependant, lorsque la fréquence UHF augmente, la profondeur de pénétration dans les tissus biologiques diminue, ce qui pourrait réduire l'efficacité biologique (§3.2.6). La fréquence de 9,4GHz constituerait alors un compromis entre l'indice de modulation et la profondeur de pénétration.

D'autre part, des contraintes financières pouvaient limiter l'utilisation de générateurs plus puissants et/ou de fréquences plus élevées.

L'efficacité biologique dépend apparemment de la fréquence HF. En effet, l'exploration initiale de la fréquence HF "optimale" pour le modèle *T.equiperdum* s'est faite en progression croissante : 21, 19 et 17m (§3.2.5). Or, ces fréquences approchent de la limite des fréquences accessibles par les générateurs (§1.2.2). Cependant, A.PRIORE annonce de larges plages de fréquences au dessus de la fréquence de 17MHz (18 à 1m, soit 16,6 à 300MHz) ; plages de fréquences peut-être explorées, mais en tout cas marquées de l'intention de les explorer. D'ailleurs sur M600, sans pour autant atteindre la valeur de 300MHz, la fréquence maximale des générateurs est intentionnellement supérieure à celle de P2 (§1.2.2). On peut donc penser que l'efficacité biologique augmente lorsque la fréquence de modulation augmente.

En revanche, lorsque la fréquence de modulation augmente, le facteur  $\tau$  diminue ainsi que l'indice de modulation (10). La physique des plasmas limite donc, dans une certaine mesure, l'amélioration de l'efficacité biologique lorsque la fréquence modulante HF augmente.

Si cette façon de voir est correcte, les réglages des fréquences amélioreraient l'efficacité biologique conjointement pour toutes les pathologies explorées dans la section 2, et non pas de façon spécifique pour telle ou telle pathologie. C'est d'ailleurs le cas pour le paramètre intensité du champ magnétique.

Cela signifierait que le mode d'action des champs PRIORE, sur le système de défense immunitaire, est le même quelque soit la pathologie.

Cette façon de voir contribue à l'idée que l'efficacité biologique s'est améliorée de façon progressive au cours des diverses expérimentations. Elle confirmerait

même que, pendant la genèse des machines et dans l'esprit de l'inventeur, toutes les fréquences qu'il lui était possible d'explorer agissaient suivant les mêmes "principes" sur les organismes vivants étudiés ; sur le plan conceptuel, l'ensemble des champs oscillants constituait un système "homogène" puisque pratiquement aucune discontinuité de fréquence n'apparaît entre la gamme des HF (16-300MHz) et la gamme des UHF (375MHz-10GHz) annoncées. Les fonctions spécifiques de chaque fréquence - HF d'un côté et UHF de l'autre - se seraient précisées par la suite.

### **4.3 - Divers dispositifs physiques contribuent à faire varier aléatoirement la structure de l'onde UHF.**

En traversant le tube à plasma, l'onde UHF se propage à travers divers environnements physiques qui peuvent avoir une influence sur sa structure et son mode de propagation : magnétoplasmas inhomogènes en densité et en champ magnétique, effluves de gaz ionisé en mouvement, parois de l'enceinte en verre, anode et cathode de formes particulières, anode en rotation...

Il est donc difficile de faire une description précise, "exacte", des conditions de propagation. Il ne faut d'ailleurs pas oublier que Antoine PRIORE a conçu ses appareillages non pas pour vérifier les concepts du Physicien, mais par un aller et retour constant entre la clinique humaine, l'expérimentation animale et ses conceptions de son instrumentation. Les modifications qu'il apportait à son instrumentation étaient essentiellement justifiées par les effets biologiques qu'il en récoltait.

Nous allons suivre le parcours de l'onde UHF et montrer que les dispositifs placés le long de ce parcours permettent de modifier aléatoirement la polarisation et la répartition de l'onde au niveau de la table d'exposition. Nous terminerons cette section en indiquant comment cette modification de la structure de l'onde UHF peut contribuer à améliorer les résultats biologiques.

#### **4.3.1 - Contribution au niveau de l'anode tournante.**

Le plan de polarisation de l'onde issue de l'antenne cornet est parallèle à l'axe du tube. L'onde franchit la paroi en verre du tube et entre dans la région de l'anode tournante.

Si on considère tout d'abord que le plasma autour de l'anode est transparent pour l'onde, l'onde subit une réflexion métallique sur l'anode (§A 4.4), vu la conductivité du matériau qui constitue l'anode (§1.2.1). Les plans d'incidence qui passent par la zone d'exposition de la table sont pratiquement confondus avec le plan de polarisation. Ainsi, quelque soit l'orientation des palettes de l'anode, l'onde réfléchie vers la table d'exposition reste polarisée dans le plan de polarisation de l'onde incidente.

Or, d'après notre hypothèse sur la modulation de phase, la densité du plasma présente une surface d'équidensité autour de l'anode, de valeur égale à la densité critique (9), qui affecte la propagation de l'onde. Pour certains angles d'incidence des chemins optiques, le plan de polarisation de l'onde peut subir une rotation ou une dépolarisation elliptique de façon similaire à ce qui est observé dans le cas d'un dioptre (§A 4.4).

Cependant, les gradients de densité électronique compliquent le traitement théorique; traitement encore compliqué par le fait que les surfaces d'équidensité fluctuent au rythme de la modulation TBF des générateurs HF.

#### 4.3.2 - Contribution entre l'anode et la cathode.

Sur P2 et M600, le courant de décharge anode-cathode est modulé (50 ou 100Hz). L'amplitude de cette modulation BF est suffisamment prononcée pour que la densité varie de façon notable.

Si la densité reste inférieure à la densité critique ( $n_{ec} = 1,08.10^{18} \text{ é.l./m}^3$  à 9,4GHz), le plasma est transparent pour l'onde UHF : comment interpréter dans ce cas le fait que l'annulation du courant de décharge ne conduit à aucun effet biologique (§3.2.8) ?

Si par contre, la densité atteint ou dépasse  $n_{ec}$  dans les zones les plus denses (ce qui est concevable vu l'estimation de A.BOTTREAU, §1.3.1), les chemins optiques de l'onde fluctuent au rythme de la modulation BF du courant de décharge.

D'autre part, l'anode est constituée de palettes inclinées disposées sur son pourtour. Les bords des palettes sont anguleux ; les bords en regard de la cathode favorisent ainsi la création d'effluves de gaz ionisé par effet de pointe (les lignes de champ électrique se concentrent sur les parties anguleuses d'un conducteur). Les effluves sont alors entraînés par l'anode dans sa rotation autour de l'axe du

tube et l'onde est dispersée par les effluves en mouvement (sauf sur M600 où une seule couronne est disposée au niveau supérieur de l'anode).

Outre le fait que la forme annulaire de la cathode peut avoir été choisie pour laisser transiter l'onde UHF, elle peut aussi avoir été choisie pour permettre une meilleure répartition du gaz ionisé dans tout le volume compris entre l'anode et la cathode. La symétrie cylindrique de l'anode et de la cathode confère à la densité électronique  $n_e(x,y,z)$  approximativement - et en moyenne dans le temps - la même symétrie cylindrique autour de l'axe du tube.

Nous ne disposons d'aucune valeur concernant l'intensité du champ magnétique d'anode. Mais il est probable, vu les dimensions de la bobine, que l'intensité de ce champ ne soit pas suffisante pour que le degré d'anisotropie du magnétoplasma perturbe la propagation de l'onde UHF (§A 4.3.3). Toutefois, le mouvement des effluves peut être légèrement affecté par ce champ.

#### 4.3.3 - Contribution au niveau de la cathode chaude.

Sur toutes les machines, la cathode chaude est soumise à un champ magnétique. La direction du champ de cathode n'a pas une importance cruciale pour l'obtention des effets biologiques : sur P1, le champ est parallèle à l'axe du tube ; il est perpendiculaire sur les machines suivantes.

Considérons ici uniquement la configuration perpendiculaire, puisqu'elle a été adoptée dès M235. La direction de propagation de l'onde UHF est donc transversale au champ magnétique, et le magnétoplasma est caractérisé par les indices de propagation ordinaire et extraordinaire (§A 4.3.2).

Sur M235 et P2, l'intensité du champ magnétique est de 200Gauss ( $= 0,02T$ ), ce qui conduit à une pulsation cyclotron  $\omega_b = 3,5 \cdot 10^9$  rad/s, soit une fréquence cyclotron de 565MHz. Ainsi :

- si la densité électronique est inférieure à la densité critique, la pulsation plasma est inférieure à la pulsation de l'onde ( $\omega_p < \omega = 59 \cdot 10^9$  rad/s) : le magnétoplasma a peu d'influence sur la propagation de l'onde UHF,

- si  $\omega_p \approx \omega$ , on a  $\omega_{hs} \approx \omega_p$  (car  $\omega_b \ll \omega_p$ ) et la différence qui caractérise le degré d'anisotropie  $\omega_2 - \omega_1 = \omega_b$  est nettement inférieure à  $\omega_p$  : la polarisation de l'onde est peu affectée.

D'un autre côté, l'intensité du champ de cathode a été augmenté sur M600 ; le degré d'anisotropie nécessaire pour affecter la polarisation peut avoir été atteint. Cependant, les résultats biologiques positifs obtenus sur les trois machines précédentes montrent que le changement de polarisation, qui peut apparaître au niveau de la cathode sur M600, n'est pas absolument déterminant pour obtenir les effets biologiques ; tout au plus contribue-t-il à améliorer l'efficacité biologique.

Or, il a été signalé que la présence du champ de cathode est absolument indispensable pour obtenir les effets biologiques (§3.2.3). Puisque ce champ n'agit pas directement sur l'organisme biologique (§4.1.2) et qu'il ne crée pas forcément une anisotropie suffisante au niveau du plasma pour l'onde UHF, un autre processus doit intervenir.

La décharge électrique dans un gaz de néon avec une cathode en molybdène (mais aussi avec d'autres métaux) a été étudiée par divers auteurs [JURRIANSE, 1946 ; PENNING, 1946]. Ces études ont mis en évidence la grande difficulté de maintenir la surface de la cathode exempte de toute trace d'impuretés, notamment d'oxygène. Une couche monomoléculaire d'oxygène suffit pour modifier notablement le coefficient d'émissivité ionique de la cathode (ce coefficient est fonction du nombre d'électrons émis par la cathode lorsque que celle-ci subit l'impact d'un ion). Cette couche ne peut pas être retirée par un vide poussé de l'enceinte.

Sous l'effet des impacts des ions, la couche d'oxygène est continuellement agressée. Après un certain temps de fonctionnement, en général inférieur à une heure, cette couche cède en un point quelconque de la surface. En ce point de rupture, le métal mis à nu présente un coefficient d'émissivité ionique supérieur au reste de la surface recouverte d'oxygène. La densité de courant, et par conséquent le nombre d'impacts ioniques, augmentent en ce point. Rapidement, la cathode est décapée autour du point de rupture où apparaît une tâche lumineuse : le volume de gaz ionisé se contracte pour former une effluve entre l'anode et le point de rupture de la cathode. L'effluve de gaz ionisé se stabilise finalement dans cette position contractée.

Ce phénomène, que A.PRIORE a très probablement observé, a pu l'inciter à mettre en œuvre des moyens techniques qui permettent d'éviter la contraction des effluves ou leur stabilisation dans une position contractée. L'application d'un champ magnétique, en déviant les trajectoires des ions et des électrons [BADAREU, 1968], peut empêcher ou déplacer les points de ruptures, et cela d'autant plus que l'intensité du champ est importante. Toute la surface de la cathode est ainsi recouverte ou balayée par les effluves de gaz ionisé. Les rayons cathodiques, si chers à l'inventeur (§1.1), peuvent ainsi émerger de tout le pourtour de la cathode.

Peut-on ainsi interpréter l'intérêt que A.PRIORE accordait à l'inversion périodique du champ de cathode (§1.3.5) par le mouvement de "va-et-vient" que ce champ induit sur les effluves ?

A la lumière de ces arguments, on est tenté de penser que les deux cathodes chaudes sur M600, avec les champs magnétiques qui les accompagnent, ont été mises en place dans l'intention d'accroître le volume des effluves en mouvement.

#### 4.3.4 - Contribution au niveau du champ principal.

Sur toutes les machines, un bobinage circulaire coaxial au tube génère un champ magnétique dans le volume situé entre la cathode et le fond inférieur du tube. Destiné dès l'origine à « *diriger, concentrer, accélérer les particules chargées* » (§1.1), sa principale fonction s'est ensuite affirmée au cours des transformations successives : soumettre l'organisme vivant à un champ magnétique (§3.2.2). Par ailleurs, bien qu'au début un champ magnétique perpendiculaire à l'axe du tube était aussi appliqué sur l'organisme vivant (§1.2.8), et bien que l'utilisation d'un circuit magnétique en forme de U (zone d'exposition aménagée dans l'entrefer, et champ ici aussi perpendiculaire à l'axe du tube) avait été envisagée (§3.2.2), A.PRIORE a définitivement opté pour un bobinage coaxial au tube. En procédant ainsi, l'inventeur a renoncé à l'avantage que procure sur le plan énergétique l'utilisation d'un circuit magnétique (rappelons que sur M600, les moyens techniques mis en œuvre pour produire le champ principal sont très imposants). On peut alors envisager l'hypothèse que cette disposition lui aurait permis d'améliorer les effets biologiques, et que par conséquent le champ magnétique principal aurait aussi un effet sur le fonctionnement de la machine.

Sur P1, la bobine de champ (qui deviendra plus tard le champ magnétique principal) se situe sous la cathode (§1.2.7). Il semble bien que l'inventeur veuille appliquer ce champ aux rayons canaux (§1.1).

Or, pour les pressions de quelques mmHg, ces effluves se prolongent sur de faibles distances, de 1 à quelques cm tout au plus [LEININGER, 1904]. La densité électronique doit donc décroître rapidement en fonction de la distance sous la cathode.

Les valeurs du champ sont 300 et 620Gs, ce qui correspond à des fréquences cyclotron respectivement de 848MHz et 1,7GHz<sup>3</sup>. Ces fréquences ne sont pas assez proches de la fréquence de l'onde UHF (9,4GHz) pour pouvoir produire une anisotropie suffisante du magnétoplasma.

Sur M235 et P2, des modifications techniques notables sont apportées à ce niveau par rapport à P1 :

- l'intensité du champ magnétique est augmentée de façon conséquente,
- la hauteur de la bobine est augmentée : sa face inférieure se situe à hauteur du fond inférieur du tube, sa face supérieure juste sous la cathode chaude,
- sur P2, deux cathodes demi cylindriques sont placées dans l'enceinte ; la densité électronique est plus importante à ce niveau que pour les deux machines précédentes, et le mouvement des effluves est apparent (§1.3.1).

Les lignes de champ magnétique comprises entre les deux faces de la bobine sont parallèles à l'axe du tube ; nous sommes dans le cas de la propagation longitudinale (§A 4.3.3). L'intensité du champ sur M235 et P2 atteint 1200Gs et correspond à une fréquence cyclotron de 3,39GHz. Si la densité est suffisante pour que  $\omega_p \approx \omega \approx \omega_b$ , le magnétoplasma peut modifier la polarisation de l'onde.

La pulsation plasma  $\omega_p$  est en fait une fonction de l'espace et du temps à cause de l'inhomogénéité et du mouvement des effluves, et de la modulation basse fréquence de la densité due au circuit d'alimentation (§1.2.10 et §1.3.1). D'autre part, la modulation du champ magnétique fait varier la fréquence cyclotron dans un rapport 1 à 10 (§1.3.4), puisqu'elle est proportionnelle à l'intensité de ce champ. En conséquence, les bandes de coupures (§A 4.3.3) varient en largeur et balayent l'axe des fréquences dans de grandes proportions. L'onde UHF est très perturbée au rythme de ces variations, aussi bien du point de vue de sa polarisation que des chemins optiques qu'elle emprunte.

Sur M600, la distance entre la cathode chaude inférieure (il y a deux cathodes chaudes sur M600) et les cathodes demi cylindriques s'accroît de façon importante. La bobine du champ magnétique principal est plus longue. L'intensité du champ est augmentée et inhomogène le long du tube : vue la position et la structure de la bobine (§1.2.7), l'intensité est importante à mi-parcours entre la cathode chaude et les cathodes demi cylindriques, et est inférieure en dessous et plus faible encore au dessus.

---

<sup>3</sup> A condition que l'intensité de 620Gs soit uniquement due au champ principal et non pas à la bobine enveloppante (§1.3.4).

La fréquence cyclotron électronique varie donc le long du parcours de l'onde UHF. Avec un champ de 0,5T, la fréquence cyclotron électronique est de 14,1GHz ; valeur supérieure à la fréquence UHF. D'autre part, une colonne de plasma peut s'établir sur tout l'espace compris entre la cathode chaude et les cathodes demi cylindriques (soit une longueur de ~1,4m et un diamètre de ~60cm). Ici aussi, nous pouvons émettre l'hypothèse - probable - que la densité électronique  $n_e$  peut approcher ou dépasser la densité critique, vu la puissance des circuits d'alimentations de la décharge (§1.2.10). Ainsi, l'onde UHF est très fortement perturbée par les effluves de gaz ionisé : grâce à la modulation TBF du champ magnétique, la position de la bande de coupure  $\{\omega_b, \omega_2\}$  balaye l'axe des fréquences dans une proportion plus grande que sur P2.

Par ailleurs, l'alimentation de la décharge fournit un courant redressé double alternance non filtré : la densité électronique oscille ainsi entre 0 et  $n_{e \max}$  à la fréquence BF de 100Hz, faisant ainsi "vibrer" la largeur des bandes de coupures  $\{0, \omega_1\}$  et  $\{\omega_b, \omega_2\}$  entre 0 et  $\omega_{1\max}$ .

Pour certains parcours optiques et au cours des cycles de modulation BF et TBF de la colonne de plasma, l'onde droite peut être absorbée ou réfléchiée ; seule l'onde gauche transite dans la colonne de plasma (et ce d'autant plus que la fréquence de coupure  $\omega_p$  s'abaisse à  $\omega_1$  sous l'effet du champ magnétique) et émerge par la face inférieure du tube avec une polarisation circulaire.

Lorsque le champ magnétique est maximal, l'onde droite peut transiter dans la colonne de plasma car dans ce cas  $\omega_b > \omega$  ; de plus, si, pour certains parcours optique,  $n_{e \max}$  arrive à dépasser notablement la densité critique de façon à ce que  $\omega_{1\max} > \omega$ , l'onde gauche est périodiquement réfléchiée/absorbée par la bande de coupure  $\{0, \omega_{1\max}\}$  à la fréquence de 100Hz : la polarisation oscille entre une polarisation rectiligne et une polarisation circulaire au rythme de cette BF.

L'allongement important du tube sur M600 peut aussi découler de considérations pratiques. Les impacts des ions de néon sur la surface de la cathode chaude pulvérisent légèrement le métal (§1.2.1). Ces très fines particules arrachées se déposent sur les parois en verre du tube avoisinant la cathode. L'épaisseur des dépôts augmente avec le temps de fonctionnement. Lorsque l'épaisseur du dépôt est comparable à l'épaisseur de peau pour l'onde UHF, cette dernière est réfléchiée de façon conséquente. En éloignant le fond inférieur du tube de la cathode, les particules métalliques pulvérisées se déposent moins au fond du tube, évitant ainsi d'atténuer l'onde UHF dirigée vers la table d'exposition.

#### **4.3.5 - Les raisons pour lesquelles la variation aléatoire de la structure de l'onde est nécessaire.**

Si l'onde UHF est émise par une antenne fixe seulement, les parois des cages contenant les animaux sont susceptibles d'être à l'origine d'ondes stationnaires : dans certaines régions de la cage, le champ électromagnétique est faible ou s'annule. La répartition spatiale du champ électromagnétique dépend de la géométrie de la cage, de la constante diélectrique du matériau qui la constitue (verre, plastique), et de la structure de l'onde incidente.

Pour les géométries simples telles que les parallélépipèdes, et une onde incidente plane dont les plans de phase sont parallèles à la face supérieure du parallélépipède, l'intensité du champ UHF peut-être plus faible sur les côtés de la cage. Or, il arrive fréquemment que les souris se regroupent entre-elles dans un coin de la cage pour sommeiller. Certains animaux peuvent alors ne pas recevoir la dose UHF nécessaire à l'effet thérapeutique.

D'autre part, l'indice de modulation de phase diffère selon le chemin optique qu'emprunte l'onde au voisinage de l'anode. Il en résulte que, sans ce "brassage" de la structure de l'onde, l'indice de modulation peut être faible ou nul dans certaines régions de la table d'exposition.

En permettant aux effluves de gaz ionisé de balayer l'intérieur du tube grâce à la rotation de l'anode, à la modulation du courant de décharge, et à la modulation TBF des générateurs HF et des champs magnétiques, les chemins optiques et la polarisation de l'onde UHF fluctuent au rythme de ces paramètres physiques. L'énergie de l'onde se répartie, en moyenne, de façon à peu près symétrique autour de l'axe du tube. En chaque point de la zone d'exposition, on assiste à une succession aléatoire de polarisations linéaires, elliptiques, circulaires, d'amplitudes et d'orientations quelconques ; et l'indice de modulation de phase fluctue et est en moyenne différent de zéro.

La répartition des ondes stationnaires est ainsi constamment modifiée. Quelque soit leur emplacement, tous les animaux reçoivent en moyenne la même dose UHF caractérisée par la densité de puissance et l'indice de modulation de phase de l'onde.

Remarquons encore qu'au voisinage d'une paroi métallique, l'onde UHF est fortement atténuée car la composante tangentielle de son champ électrique s'annule sur la paroi conductrice, ainsi que la composante normale de son champ magnétique. Cependant, l'efficacité biologique des champs EM n'a pas été amoindrie lors des expériences avec les cages métalliques (§3.2.6), et cela alors

que la largeur des loges concentriques de la cage n°2 (4cm) est seulement un peu plus grande que la longueur d'onde (3,19cm). Même si l'on considère que les animaux sont libres de se mouvoir, ces arguments tendent à montrer l'efficacité du brassage de l'onde UHF.

Nos interrogations nous incitent de jour en jour à aller au delà de notre regard de physicien pour inscrire nos observations dans une globalité de points de vues ; ainsi, par l'expérimentation, il sera fondamental de vérifier si le changement aléatoire de la polarisation est mis à profit par l'organisme vivant lui-même pour obtenir, maintenir et amplifier l'exaltation de ses capacités naturelles de défenses.

Notre analyse est en accord avec le fait que les champs thérapeutiques de A.PRIORE ne sont pas obtenus avec une configuration statique, figée, de la plupart des paramètres physiques, mais inscrits dans une mouvance dynamique. De plus, notre analyse apporte une interprétation physique à l'ensemble des procédés élaborés par A.PRIORE ; procédés qui découlent d'une approche singulière qui lui est propre.

### **Conclusion.**

*Avec les machines de A.PRIORE, même dans leur version "achevée", tout se passait comme si le rayonnement venait à jaillir d'une boîte noire dont on arrivait à peine à dompter les paramètres physiques qui la régissaient, ce qui pouvait à tous moments compromettre toute tentative d'optimisation maîtrisée des effets tant attendus.*

*On comprend alors pourquoi le contexte d'alors se prêtait bel et bien à une atmosphère propice à l'inquiétante étrangeté...*

*Nous avons formulé des hypothèses que nous avons étayées pour les soumettre à des vérifications expérimentales et cliniques. En effet, leur confirmation permettra, avec les techniques actuelles, de concevoir des instrumentations variées, aussi variées qu'il y aura d'applications, modulables au gré des diverses exigences cliniques, qu'elles soient diagnostiques, thérapeutiques ou axées sur la prévention.*