

MAGNÉTODYNAMIQUE DES GAZ. — *Instabilité de régime dans un générateur de Hall, avec ionisation hors d'équilibre.* Note (*) de M. JEAN-PIERRE PETIT, transmise par M. Jacques Valensi.

Un premier calcul des caractéristiques électriques d'un tel générateur est présenté ici compte tenu d'hypothèses qui seront sensiblement identiques à celles admises dans une Note précédente (1). L'hypothèse d'homogénéité du plasma se trouvera justifiée pour de faibles interactions et des tuyères de faible longueur. L'équation du gaz d'électrons s'écrit ici

$$(1) \quad \frac{\sigma u^2 B^2 (1 + \beta^2 K_H^2)}{1 + \beta^2} = 3 n_e m_e k \sum_{s \neq e} (T_e - T_g) \frac{\delta s \langle v_{es} \rangle}{ms}$$

La méthode de calcul de la conductivité est identique à celle utilisée dans la Note précédente (1). La température électronique T_e est calculée par itération, à l'aide d'un ordinateur, à partir de l'équation (1). Si L est la longueur de la tuyère et S sa section, il vient

$$(2) \quad K_H = \frac{I}{1 + \frac{L}{R_e S} \frac{1}{\sigma}}$$

La puissance électrique volumique et le rendement électrique ont pour expression

$$(3) \quad P_E = \frac{\sigma \beta^2}{1 + \beta^2} K_H (1 - K_H) u^2 B^2;$$

$$(4) \quad \eta = \frac{\vec{E} \cdot \vec{J}}{(\vec{J} \times \vec{B}) \cdot \vec{u}} = \frac{\beta^2 K_H (1 - K_H)}{1 + \beta^2 K_H}$$

La vitesse u est reliée à la température T_g par les relations du choc droit, les résultats devant servir à conduire une expérimentation en tube à choc. Le calcul porte sur un mélange binaire de gaz, composé de 30 % d'argon et de 70 % d'hélium (2). La longueur de tuyère est prise égale à 10 cm et sa section à 12,6 cm².

Dans la figure 1 sont tracées les courbes $T_e = f(R_e)$ pour différentes températures de gaz et un champ constant de 2 Ts. D'après ces résultats, à une valeur donnée de R_e peuvent correspondre trois valeurs de T_e , soit trois régimes de fonctionnement possibles. Il est facile de voir qu'en deux de ces points le fonctionnement est stable, le troisième, situé sur la branche médiane, correspondant à un fonctionnement instable. On peut, en effet, poser :

$$(5) \quad \frac{\sigma_{(T_e)} u^2 B^2 (1 + \beta_{(T_e)}^2 K_H^2(R_e, T_e))}{1 + \beta_{(T_e)}^2} = A_{(R_e, T_e)};$$

$$(6) \quad 3 n_{e(T_e)} m_e k \sum_{s \neq e} (T_e - T_g) \frac{\delta s \langle v_{es} \rangle (T_e)}{ms} = B(T_e).$$

L'équation (1) peut s'écrire

$$(7) \quad Q = A(R_e, T_e) - B(T_e) = 0,$$

soit R_e, T_e , un couple de valeurs satisfaisant à cette équation.

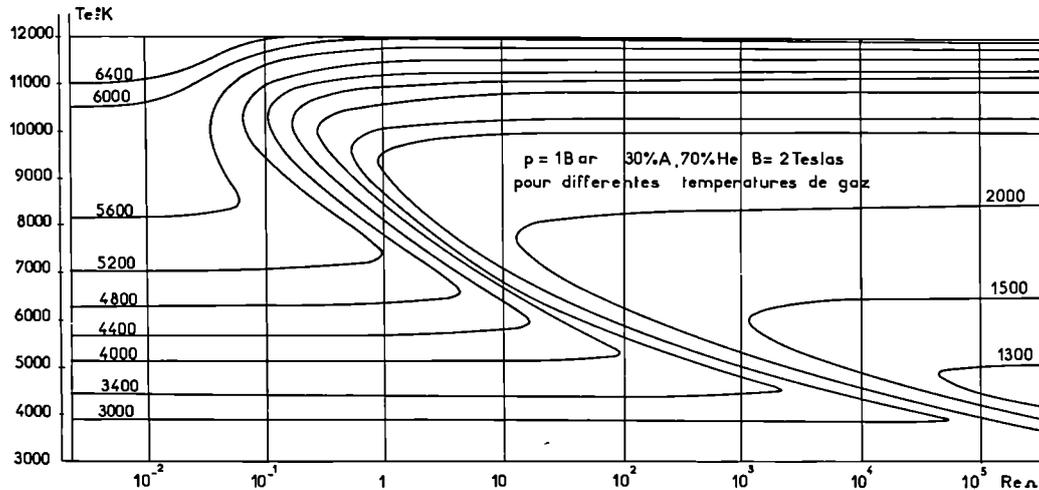


Fig. 1. — Développement de l'instabilité de régime en tuyère de Hall.

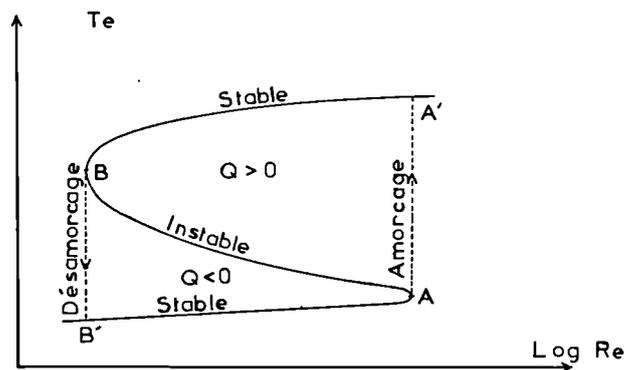


Fig. 2.

Donnons à T_e un accroissement δT_e arbitrairement petit et calculons δR_e tel que :

$$(8) \quad Q(R_e + \delta R_e, T_e + \delta T_e) = 0.$$

Le régime de fonctionnement sera instable si $\delta Q / \delta T_e > 0$, c'est-à-dire, comme il est facile de le voir lorsque $\delta T_e / \delta R_e < 0$.

Parcourons la courbe de la figure 2 en faisant croître la résistance de charge depuis zéro. On voit que T_e croît lentement jusqu'au point A, d'où le point figuratif saute brusquement en A', sur la portion supérieure de la courbe, le fonctionnement étant instable le long de BA. Le point A

peut être considéré comme un point d'amorçage. Inversement, si nous nous plaçons sur la branche supérieure et faisons décroître la résistance de charge depuis $+\infty$, le point représentatif du fonctionnement passe de B à B'. Le point B peut être considéré comme un point de désamorçage.

Sur la figure 3 ont été tracées les courbes $P_E = f(\eta)$ pour différentes valeurs de T_g . Ces courbes correspondent aux équations (3) et (4). Le lieu du

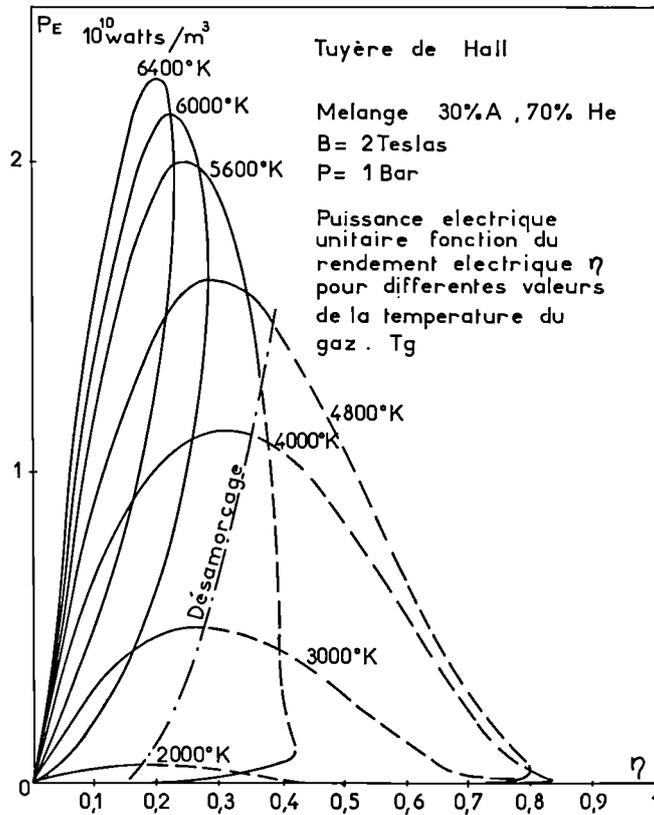


Fig. 3.

point de désamorçage a été figuré. Le phénomène semble apporter une limitation sévère au rendement électrique puisque $\eta < 0,20$ pour $T_g = 2000$ K. la figure 4 montre que cette limite supérieure peut être accrue légèrement en augmentant B.

En tube à choc l'amorçage pourrait être réalisé de la façon suivante :

Cas d'une tuyère linéaire. — Un étage amont, en montage de Faraday en court-circuit fournirait le préchauffage électronique. L'étage de puissance, en montage de Hall, aurait sa résistance de charge R_c ajustée de façon à travailler au voisinage du point d'amorçage.

Notons que $P_E(\text{amorçé})/P_E(\text{non amorçé})$ peut atteindre plusieurs ordres de grandeur.

Cas d'une tuyère disque. — Une anode annulaire serait placée en aval du col, de façon à permettre, entre le col et celle-ci, la circulation d'un fort courant azimuthal, cette portion correspondant au préétage de Faraday de la tuyère linéaire. La résistance de charge serait alors adaptée de manière à travailler au voisinage du point de désamorçage.

(*) Séance du 24 mars 1969.

(¹) J.-P. PETIT, *Comptes rendus*, 268, série A, 1969, p. × ×.

(²) J.-P. PETIT, J. VALENSI, D. DUFRESNES et J.-P. CARESSA, *Comptes rendus*, 268, 1969, série A, p. 245.

(³) P. J. NOWACKI, *Théories et applications de la physique des plasmas à basse température*, Publication de l'Institut National des Sciences et Techniques Nucléaires de Saclay.

(*Institut de Mécanique des Fluides
de l'Université d'Aix-Marseille,
1, rue Honnorat, 13-Marseille, 3^e,
Bouches-du-Rhône.*)