



HAL
open science

Turbine phonique

Z. Carriere

► **To cite this version:**

Z. Carriere. Turbine phonique. Journal de Physique et le Radium, 1921, 2 (11), pp.337-345.
10.1051/jphysrad:01921002011033700 . jpa-00204294

HAL Id: jpa-00204294

<https://hal.science/jpa-00204294>

Submitted on 4 Feb 2008

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

TURBINE PHONIQUE

Par M. Z. CARRIERE.
Institut catholique de Toulouse.

Je propose comme roue phonique ⁽¹⁾ et j'appelle *turbine phonique* une turbine alimentée et automatiquement réglée par un courant d'air auquel un système vibrant quelconque donne une forme *pulsatoire*.

1. **Turbine simple.** — La figure 1 en donne en haut et à droite une projection horizontale, en bas une projection verticale. Le disque 'DD' est

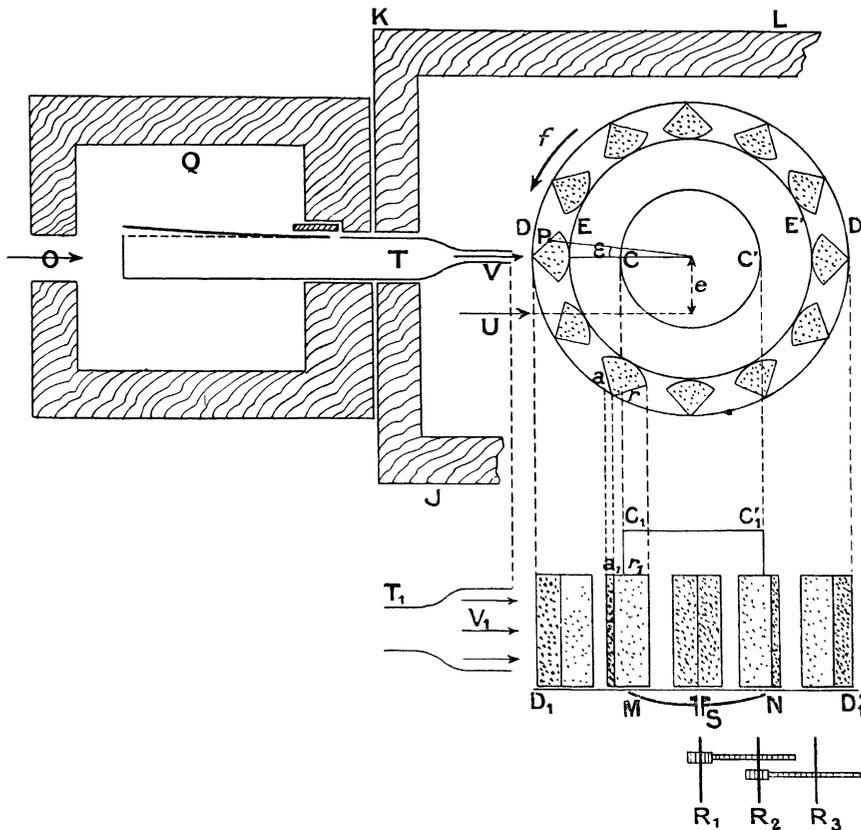


Fig. 1.

la roue réceptrice d'axe vertical. Les aires ombrées par un pointillé représentent les aubages. Ce sont des solides cylindro-prismatiques

⁽¹⁾ Voir BOUASSE. *Pendule, Spiral, Diapason*, tome II, p. 343 et suiv.

dont l'élément essentiel est le dièdre ar, a_1r_1 . Les arêtes des m dièdres ($m = 12$ dans la figure) sont normales au disque et uniformément réparties sur son pourtour. L'angle plan des dièdres est égal (ou supérieur) à 90 degrés.

La turbine n'a pas de roue directrice. Cet organe serait facile à introduire, mais présente ici peu d'avantages. Un ajutage unique T, T_1 amène suivant V, V_1 le courant d'air pulsatoire (rendu tel par une anche dans le cas de la figure) sous forme de nappe parallèle à l'axe de rotation et au plan du disque DD' . L'épaisseur de la nappe est petite par rapport aux dimensions horizontales des dièdres. Son action n'est sensible que sur le dièdre le plus rapproché; un cylindre de papier CC' s'oppose à toute action au delà de l'axe.

Soit N la fréquence du vent V : ce vent est capable d'entretenir le mouvement de la turbine qui fait défiler, devant l'ajutage T , N dièdres par seconde. La roue fait alors N/m révolutions par seconde; sa vitesse est dite vitesse de synchronisme. L'entretien du mouvement *dans le sens f exige que, à l'instant où il est maximum, le vent V frappe une face orientée comme a (face accélératrice), avec une intensité et en des points P tels que l'énergie A ainsi transmise à cette face compense la somme totale des énergies absorbées pendant une rotation de $2\pi/m$.*

Parmi les énergies absorbées, il faut compter non seulement celles F dues aux frottements divers (pivots, brassage d'air, etc.) et fonctions de la vitesse seule, mais encore l'énergie B absorbée par la face orientée comme r (face retardatrice).

Cette dernière, aussi bien que A , est fonction du point P frappé, ou, ce qui revient au même, de l'angle ε de la figure qui définit, par rapport à la direction V , la position de l'arête du dièdre à l'instant du maximum.

Nous retrouvons tous les éléments de la discussion de la marche des moteurs synchrones, y compris le calage ε dont les variations, petites suivent exactement les variations des frottements et réalisent le phénomène de synchronisation.

Le calage ε n'est pas une simple variable géométrique. Faisons l'obscurité et éclairons-nous au moyen d'une flamme de Kœnig montée sur la paroi du porte-vent non représentée figure 1. Nous réalisons un éclairage intermittent de fréquence N . A la vitesse de synchronisme, la roue paraît immobile et calée sur son axe. Les petites variations de frottement se traduisent par un léger décalage. Il y a plus, ces petites variations du calage sont alternativement positives et négatives (oscillatoires), et la roue est vue comme un oscillateur de torsion dont le fil de suspension serait

confondu avec l'axe de rotation. Le carré du nombre d'oscillations de torsion qu'il effectue en une seconde mesure le couple de rappel à l'azimut d'équilibre; dans le mouvement réel, il mesure la *stabilité du synchronisme*.

La turbine de la figure 1 peut marcher indifféremment dans le sens f ou en sens inverse; elle doit être lancée. De plus, elle exige, comme il a été signalé plus haut, une intensité maximum du vent convenable. Bien que ces conditions soient assez faciles à réaliser, il est préférable de remplacer la nappe V par la nappe U qui passe à une distance e de l'axe de rotation. La nappe U peut se décomposer en une nappe radiale agissant comme V et une nappe tangentielle à action indépendante de ε . Celle-ci lance la turbine, pour une valeur de e assez grande. On diminue progressivement e jusqu'à réaliser l'accrochage et la stabilité maximum (oscillations de calage les plus rapides possibles). Le réglage optimum correspond au cas où la composante tangentielle du courant U compense l'ensemble des frottements: ε est alors nul, en moyenne.

La translation de V en U n'a pas que des avantages. Son inconvénient est la possibilité de décrochages par variation de *pression au réservoir*, d'où émane le courant. Cette variation entraîne, en effet, une variation de l'impulsion dans le sens f par la composante tangentielle du courant. D'où la nécessité d'un régulateur sensible de pression.

Voici les caractéristiques d'une turbine simple dont j'ai vérifié la marche sans décrochage pendant une heure, à la vitesse de 6 tours à la seconde.

Diamètre du disque DD' (en mica) : 70 mm; hauteur des 12 dièdres (en moelle de sureau) : 15 mm; profondeur des faces : 7 mm; diamètre du cylindre CC' : 40 mm. L'axe est un bout de fil de fer rectifié par allongement permanent, dont les extrémités coniques tournent dans des crapaudines. Il est fixé à la cire gôlaz sur le mica DD' et sur la base supérieure (en papier) du cylindre CC'. Une couronne plane de papier limitée par les cercles DD' et EE' collée à la base supérieure des dièdres maintient constant leur écartement entre eux et leur distance à l'axe. L'ajutage T a un orifice de $2 \times 10 \text{ mm}^2$ et débouche à 3 mm environ des arêtes. La pression en Q est de quelques centimètres d'eau.

La turbine simple sera avantageusement employée dans l'étude des vibrations du système qui donne au courant d'air la forme pulsatoire, de l'anche dans le cas de la figure. Je l'emploie à l'étude de flammes vibrantes susceptibles de jouer le rôle de manomètres sans inertie. Par une méthode

décrite ailleurs ⁽¹⁾, je mesure, aux divers instants de l'oscillation, non la hauteur de la flamme, mais la vitesse d'écoulement des gaz à sa base. L'écran qui permet de découvrir la flamme à un instant de la vibration et à cet instant seulement est parallèle au disque DD' de la turbine et a ses 12 fentes convenablement calées par rapport aux 12 dièdres.

2. Turbine avec compte tours. — Montons la turbine sur un compte-tours. Elle nous permettra de mesurer la fréquence des vibrations du système qui rend le vent pulsatoire.

Un compteur satisfaisant est constitué par le train d'engrenages compris entre l'axe des secondes et l'axe des minutes d'une *montre à trotteuse*, représenté en $R_1 R_2 R_3$, fig. 1. La turbine est montée sur l'axe R_1 de la trotteuse au moyen de la pièce MSN. S est un manchon tiré d'une aiguille trotteuse et soudé normalement au centre d'une feuille de clinquant MN qu'on colle à la cire golaz, sur le mica de la turbine. Il est avantageux de découper le clinquant MN en forme d'étoile à trois branches qu'on déforme suivant les besoins, jusqu'à obtenir un centrage satisfaisant. Le coût de l'appareil est minime. Les minuteriers qu'on trouve dans des compteurs industriels ne m'ont donné que des déboires. Les frottements qu'ils introduisent sont trop importants.

3. Mesure de la fréquence d'un tuyau. — La figure 1 montre comment on mesure la fréquence d'une anche montée sur le porte-vent Q, soit en l'absence de tout résonateur (système JKL enlevé), soit avec tuyau résonateur (le tuyau JKL est conservé et convenablement prolongé vers la droite). Ce dernier cas suppose, d'abord, que le tuyau possède des fenêtres munies de glaces : ensuite et surtout, que sa largeur, au fond, est suffisante pour loger la turbine.

On peut encore, et cette solution est seule acceptable avec des résonateurs coniques, introduire la turbine dans le porte-vent Q convenablement dilaté. L'ajutage TT, doit alors être enlevé de la place qu'il occupe dans la figure 1, et placé en O, l'extrémité aplatie tournée vers l'intérieur.

Pour les tuyaux à embouchure de flûte, la figure 2 donne deux positions S_1 et S_2 pour lesquelles la turbine se synchronise parfaitement dans les conditions suivantes.

En S_1 , la synchronisation exige que les arêtes des dièdres passent très

⁽¹⁾ Z. CARRIÈRE. *Ann. Fac. Sc. Toulouse*, 3^e S., t. v. p. 278 et suiv. — *C. R.*, 1913, t. CLVI, p. 1834.

près de la nappe d'air issue de la lumière L. La planchette MNL doit, dans ce but, être biseautée comme le montre la figure. De plus, le diamètre de la turbine doit être inférieur à une limite donnée. Enfin, pour les tuyaux courts à fréquence élevée, il est nécessaire d'augmenter le nombre m des dièdres.

Voici les caractéristiques de trois turbines ayant fonctionné de façon satisfaisante dans les conditions indiquées :

Numéro de la turbine	1	2	3
Nombre m de dièdres	12	12	18
Profondeur des faces des dièdres, en mm.....	4	3,5	3
Diamètre de la turbine, en mm.....	38	28	28
Hauteur de la bouche du tuyau, en mm.....	48	9	5
Fréquence N du tuyau	160	230	414

Les turbines 1 et 2 n'arrivent pas à se synchroniser à 414 vibrations : la turbine 1 a un trop grand diamètre et trop peu de dièdres, la turbine 2.

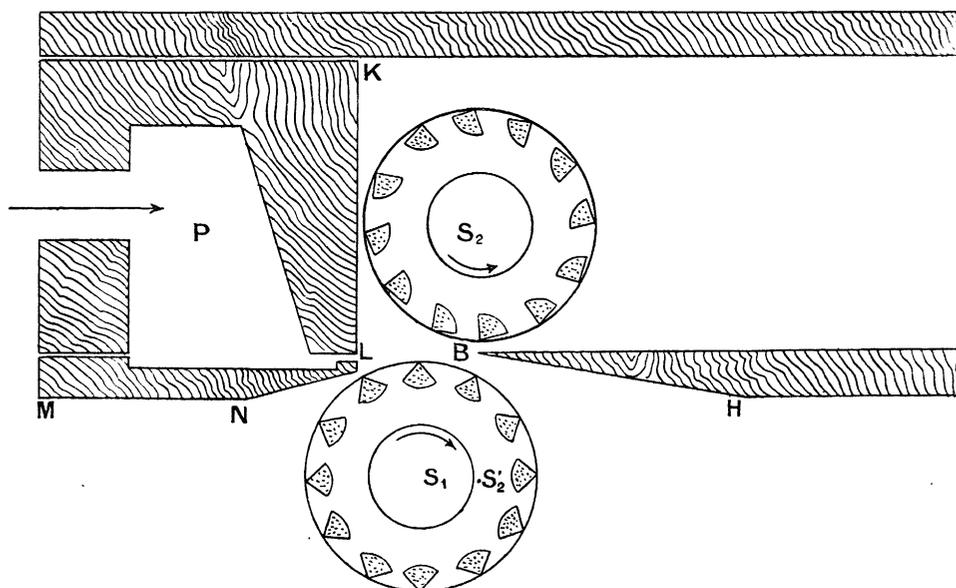


Fig. 2.

trop peu de dièdres; la turbine 3 se synchronise à 230 et même à 160, mais avec une stabilité très médiocre. La stabilité du synchronisme est maximum pour le diamètre maximum de la turbine compatible avec les dimensions de la bouche.

S_2 est une deuxième position de synchronisation, à condition que les dièdres de la turbine soient orientés comme l'indique la figure. La position symétrique de S_1 par rapport à LB ne peut être atteinte, à cause du plancher KL. L'orientation des dièdres permet d'obtenir le fonctionnement malgré le plancher KL. Inversement, une turbine *symétrique de S_2 par rapport à LB* se synchroniserait *hors du tuyau*, en S'_2 .

La fréquence d'un tuyau quelconque, soit à anche, soit à embouchure de flûte, peut être déterminée de la façon suivante. En un nœud du tuyau,

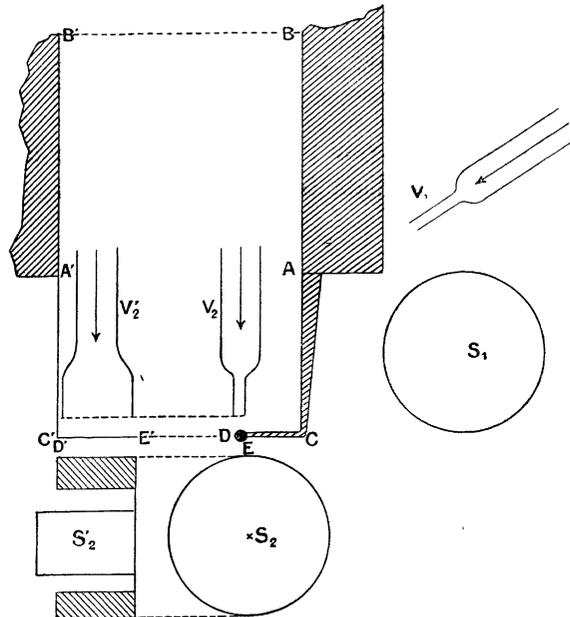


Fig. 3.

on dispose une capsule de Kœnig qu'on fait traverser par le courant alimentant la turbine. Continu quand le tuyau est silencieux, ce courant est pulsatoire quand le tuyau vibre. La membrane de la capsule joue le rôle de soupape intermittente. Le caractère pulsatoire est d'autant plus marqué et la synchronisation d'autant meilleure que la soupape vibre plus près de son siège, avec une plus grande amplitude. On donne donc à la membrane le plus grand diamètre possible, et on fait sortir les gaz par un tube coulissant dans un bouchon de liège dont l'extrémité intérieure peut être amenée à distance voulue de la membrane.

Enfin, si l'on veut éviter de modifier quoi que ce soit au tuyau

dont la fréquence est à mesurer, il faut opérer de la manière suivante.

On montera la turbine phonique sur un tuyau auxiliaire convenablement adapté pour la recevoir et, d'autre part, réglable quant à la fréquence du son fondamental, par déplacement d'un bouchon mobile. Le biseau sera également mobile de façon à donner à la bouche une hauteur convenable. Au besoin, on aura un jeu de turbines de diamètres différents. La capsule de Kœnig pour l'observation stroboscopique sera montée sur ce tuyau. Je signale ici, et la remarque est valable pour tous les cas, qu'on peut placer la capsule en un endroit à peu près quelconque du tuyau, sauf *exactement* à un ventre. Je la place généralement sur la planchette de réglage.

On agira sur le tuyau auxiliaire pour le faire vibrer à l'unisson du tuyau proposé, dont la fréquence sera alors donnée par la turbine.

On peut réaliser l'unisson de deux tuyaux avec une très grande approximation par la méthode des battements. La mesure de la fréquence se fait avec la même approximation; le comptage des tours de la turbine synchronisée peut se prolonger pendant des dizaines de minutes et même des heures.

Les causes de décrochage faciles à éviter sont des courants d'air accidentels ou des variations de pression à la soufflerie. Aussi bien, chercher une grande approximation dans la mesure de la fréquence n'a de sens que pour une pression d'alimentation bien constante.

4. **Mesure de la fréquence d'un diapason.** — Dans la figure 3, AB représente la projection horizontale d'une branche de diapason vibrant dans le plan de la figure; A'B' en est la projection verticale. V_1 est un ajutage à bout aplati amenant sur la face extérieure de AB et sous une incidence d'une trentaine de degrés une nappe de vent *continu* dont les filets sont horizontaux et la grande dimension normale au plan de vibration.

Quand le diapason est excité et entretenu électriquement, la turbine se synchronise parfaitement en une position S_1 . Le mouvement du diapason donne au vent continu qui glisse le long de sa face un déplacement latéral vibratoire dont le résultat est l'entretien de la turbine au synchronisme.

Prolongeons AB par la pièce légère deux fois recourbée ABCDE. D et E sont confondus sur la projection horizontale C' et D' sur la projection verticale. DE est un fil métallique de diamètre égal à la petite dimension de l'ajutage. V_2 , V'_2 est une position de ce dernier pour laquelle on obtient la synchronisation. On fera passer la direction de la nappe soit par la position

moyenne du fil, soit par une des positions extrêmes. La fréquence de la pulsation du courant est, dans le premier cas, double de celle du diapason. Si l'éclairage a la même fréquence que le diapason, deux dièdres doivent défiler dans l'intervalle de deux maxima d'éclairement.

Enfin, on peut envoyer sur la turbine un courant continu qui traverse une capsule de Kœnig dont la membrane est périodiquement frappée par le diapason. Cette capsule est même nécessaire en toute hypothèse pour l'observation stroboscopique : mais, comme il a été remarqué au paragraphe précédent, sa sensibilité doit être accrue si elle doit régler le courant d'alimentation.

5. Mesure de la fréquence d'une corde vibrante. — Dans la figure 3, et dans le paragraphe précédent, convenons que le fil DE, D'E' est un segment ventral d'une corde vibrante. Le problème est résolu. Il faut, tout au plus, remarquer que, si la corde est excitée par un diapason dont les vibrations sont parallèles à sa propre direction et dont l'une des branches commande la capsule stroboscopique, la fréquence de l'éclairage intermittent est double de la fréquence de la corde. Dans le cas où la nappe V_2 est normale à la vibration et passe par la position moyenne de la corde, l'éclairage et le courant ont même fréquence.

6. Micro-turbines. — La marche d'une turbine phonique à vitesse constante, avec oscillations de calage, est l'indice d'un courant pulsatoire. On utilisera donc des turbines du genre de celles qui viennent d'être décrites pour explorer tout espace où on soupçonne l'existence de courants pulsatoires, par exemple l'espace qui avoisine la bouche d'un tuyau sonore en vibration.

Dans un cube de celluloid de 3 mm de côté, j'en ai taillé une que

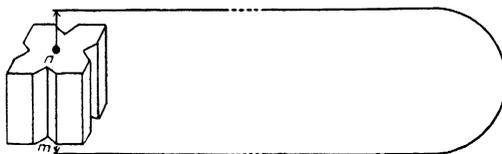


Fig. 4.

représente la figure 4. Il n'est pas difficile de faire plus petit : le centrage seul est délicat.

Le lancement obligatoire se réalise aisément en soufflant latéralement

au moyen d'un tube. La marche au synchronisme est généralement de courte durée. Le but cherché est atteint si, pendant ces quelques instants, on a pu observer des oscillations de calage.

7. Conclusion. — Il n'est guère de système vibrant auquel la turbine phonique ne puisse être avantageusement appliquée, soit comme appareil d'étude analytique de la vibration, soit comme mesureur de fréquence. Son emploi se recommande par la souplesse de son couplage avec le vibreur. Sa construction facile et sans frais, même avec compteur, n'est interdite par aucun brevet. Les indications qui précèdent ne sont qu'un résumé limité par le petit nombre de pages mis à ma disposition. Des détails plus circonstanciés et une discussion plus approfondie des conditions de fonctionnement seront insérés dans une autre publication.

Z. CARRIÈRE.

Manuscrit reçu le 2 août 1921.

