

# La vibration active des cordes vocales



**Nombreux sont ceux qui s'imaginent qu'il n'y a rien de plus banal que de parler, chanter ou crier. Le comble, c'est qu'encore aujourd'hui les physiologistes eux-mêmes (les « spécialistes ») ont souvent une conception en partie erronée des mécanismes mis en jeu. L'objet de cet article est d'en faire la démonstration. Il décrit également l'approche originale que représentent les travaux de Raoul Husson, auxquels l'auteur de cet article a collaboré, et qui ont mis en évidence la vibration active des cordes vocales.**

**RÉMI SAUMONT**

**L**a consultation des ouvrages de physiologie, de biophysique ou de médecine nous conduit à admettre que la phonation a malheureusement souvent été considérée comme un sujet mineur de ces disciplines.

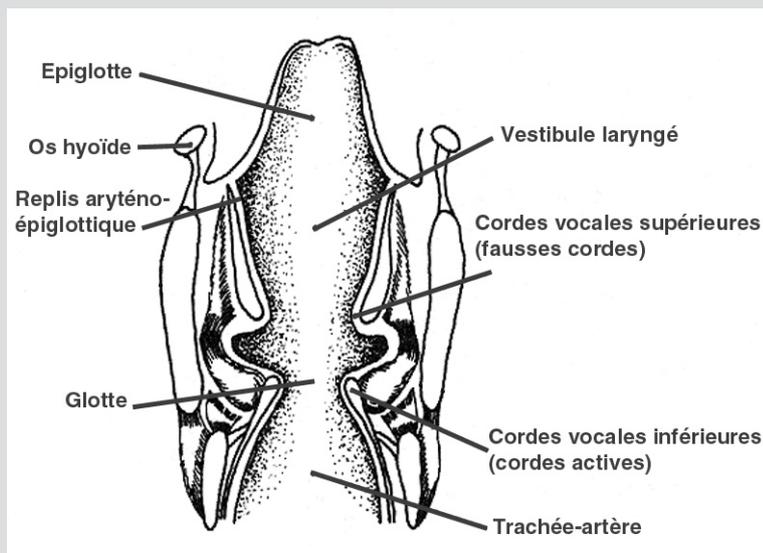
L'exposé portant sur la phonation ne comprend, par exemple, que six pages dans la *Physiologie* de E. Gley (neuvième édition de 1938) qui en comporte sept cents.

Cette fonction de relation, pourtant si importante, est complètement ignorée dans le *Traité de biophysique* de F. Grémy et F. Leterrier paru en 1966. Le chapitre « Acoustique physiologique » de cet ouvrage de référence comporte soixante-trois pages mais ne traite que de l'audition, et cela de manière particulièrement approfondie, comme si en quelque sorte la phonation « coulait de source » et ne méritait pas la moindre étude.

Une carence de cet ordre se retrouve également dans les ouvrages d'enseignements primaire et secondaire. En effet, l'un des grands classiques de la préparation au baccalauréat – *Traité d'anatomie et physiologie animale et végétale*, le populaire manuel de Boulet et Obré – ne faisait pas, durant les années 60, la moindre allusion à la fonction phonatoire.

On peut ainsi se demander si les générations d'humains ayant obtenu leurs diplômes pendant les quelques décennies précédant le début de ce troisième millénaire ont la moindre notion de ce qui se passe lorsqu'ils crient, chantent et parlent. Somme toute, à la manière de Monsieur Jourdain, ils parlent sans le savoir.

On sait bien sûr par ouï-dire qu'il existe des cordes vocales dans la



**Figure 1. Configuration interne du larynx (d'après Lumby), coupe frontale.**

« gorge » et qu'un courant d'air les fait vibrer. Certains ont parfois une vague notion de localisation dans le cerveau d'un centre de commande car ils ont été témoins chez une personne de leur entourage de troubles du langage liés à un accident cérébral. Toutefois, même dans ce cas, ils ne se souviennent pas forcément si cette localisation est droite ou gauche.

Une telle carence n'est pas si étonnante et s'inscrit dans le contexte réductionniste de la science moderne. L'« honnête homme » n'ignore plus grand-chose des problèmes d'immunologie, de virus ou de codage génétique mais, le plus souvent, il ne sait pas exactement comment et pourquoi il est capable d'émettre des sons et de les articuler de manière à communiquer avec ses semblables.

Et pourtant, si nous sommes ce que nous sommes, c'est-à-dire les « maîtres de la création », c'est avant tout à ce merveilleux moyen de communication – la voix – que nous le devons.

Le comble, c'est qu'encore aujourd'hui les physiologistes eux-mêmes (les « spécialistes ») ont souvent une conception en partie erronée des mécanismes mis en jeu. L'objet de cet article est d'en faire la démonstration.

Selon les paléontologistes, l'*Homo sapiens*, dont l'apparition remonte à 100 000 ans, ne parle que depuis

40 000 ans et l'homme est le seul primate qui a pu, à partir d'un certain moment de son évolution morphologique, disposer de l'organisation anatomique nécessaire à l'émission verbale structurée. Ce serait l'abaissement du larynx produit par une lente adaptation à une variation climatique (la sécheresse) qui aurait rendu possible l'apparition du langage, permettant ainsi, à travers l'espace et aussi le temps (par l'écriture), la transmission du symbolique (Chomsky).

Comme le rappelle à bon escient le physiologiste Jack Baillet : « *Au commencement était le Verbe.* »

### Quelques éléments de phonologie classique

Le larynx, source de l'émission vocale, est abouché au soufflet respiratoire que constituent les poumons par l'intermédiaire de la trachée-artère.

Par les modifications de certaines de ses structures, en particulier celles des deux vraies cordes vocales, c'est-à-dire les cordes vocales inférieures, les seules actives (**Figure 1**), le larynx produit, au passage de l'air qui le traverse, des sons dont la hauteur (c'est-à-dire la fréquence de vibration) et l'intensité (l'amplitude de ladite vibration) sont données. Ces deux paramètres dépendent donc essentiellement de l'état

mécanique instantané de la fente séparant les cordes (la glotte).

En effet, le chant et le cri sont impossibles sans larynx.

#### Les consonnes et le langage parlé

Par contre, ainsi que le montrent les cas de laryngectomie, une parole articulée, bien que d'intensité faible, peut demeurer compréhensible (certes avec difficulté) en l'absence de cet organe, le courant d'air étant fourni par l'œsophage.

Ce genre d'expériences montre que la caisse de résonance supérieure (le pharynx, le voile du palais, la langue, les dents et les lèvres), qui détermine le timbre de la voix, joue un rôle essentiel dans la production de certains phonèmes irréductibles de la langue parlée (par exemple k, p, s, an, etc.).

Les consonnes, en particulier, naissent lorsque le flux d'air rencontre un obstacle (zone d'articulation) dont la nature détermine le type (guttural, labial, dentaire). Ainsi, l'ébranlement sonore, qui avait le caractère d'une oscillation entretenue, acquiert certains des caractères aléatoires d'un bruit à large spectre. Les consonnes, qui sont des émissions interrompues, dépendent donc d'un mécanisme spécifique qui peut jouer son rôle sans nécessiter l'intervention d'un flux laryngé, et ce sont elles et les phonèmes irréductibles qui, par leur richesse spectrale, assurent l'intelligibilité du signal vocal.

Les fréquences de cette émission correspondant à un langage efficace (facilement intelligible) s'étendent sur une gamme basse allant de 20 à 35 cycles par seconde. Un calcul des effets de résonance et d'adaptation d'impédances sonores montre alors que la transmission de vibrations sonores de fréquences aussi basses nécessite une longueur minimale de la caisse de résonance pharyngée. Il faut donc que la position du larynx soit basse.

Voilà pourquoi les singes ne parlent pas : leur pharynx est trop court compte tenu de sa position haute.

Il en est de même du nouveau-né humain qui, bien que son larynx émette des sons de fréquences plus élevées, ne peut cependant parler de manière intelligible que lorsque son larynx s'est abaissé.

#### La théorie de l'émission sonore laryngée

Le larynx est donc l'organe qui

permet le cri et le chant. Il est innervé par deux paires de nerfs : les deux nerfs laryngés supérieurs et les deux nerfs laryngés inférieurs qui sont des branches des nerfs pneumogastriques (faisant partie des nerfs crâniens).

De chaque côté, le nerf laryngé supérieur est le nerf sensible de la muqueuse laryngée, mais il contient aussi des fibres vasodilatatrices de la muqueuse et des filets excitosecrétateurs ; le nerf laryngé inférieur est parfois appelé « récurrent » parce qu'il effectue une demi-boucle pour innerver ensuite les muscles du larynx – c'est donc le nerf de commande de la phonation laryngée. En effet, sa section bilatérale provoque une aphonie complète.

L'épithélium, au niveau de la glotte, est de type pavimenteux (alors que celui de la trachée est de type cylindrique) et il recouvre des couches de tissu élastique qui existent tout le long de la trachée. Celles-ci forment, par un accroissement d'épaisseur, une partie du renflement qui constitue la corde vocale en recouvrant, à ce niveau, du tissu musculaire strié. Ce sont les différents faisceaux de ce dernier tissu qui constituent la musculature phonatoire commandée par le récurrent.

Selon la conception classique de la phonation, en particulier celle d'Ewald, l'air expiré par la trachée vient frapper les cordes vocales accolées en position phonatoire. Lorsque la pression trachéale de l'air devient suffisante, la résistance élastique des cordes vocales est vaincue et une certaine quantité d'air s'échappe par la glotte. La baisse de pression ainsi provoquée permet aux cordes qui s'étaient laissées disjointes de reprendre leur position initiale et le même phénomène se reproduit ainsi tant que dure le temps phonatoire, de telle sorte que l'oscillation longitudinale de la colonne d'air prend la forme d'une émission sonore dont la fréquence fondamentale serait donnée essentiellement par la période propre de résonance des muscles tenseurs des cordes.

Cette théorie, qui apparaît pourtant bien simpliste, a encore des défenseurs chez les oto-rhino-laryngologistes.

L'examen laryngoscopique d'un sujet émettant une voyelle montre la vibration des bords des cordes vocales inférieures, ce qui a conduit alors à penser que le fonctionnement du larynx n'était pas comparable à celui d'un sifflet mais plutôt à celui d'un tuyau sonore à anche, la vi-

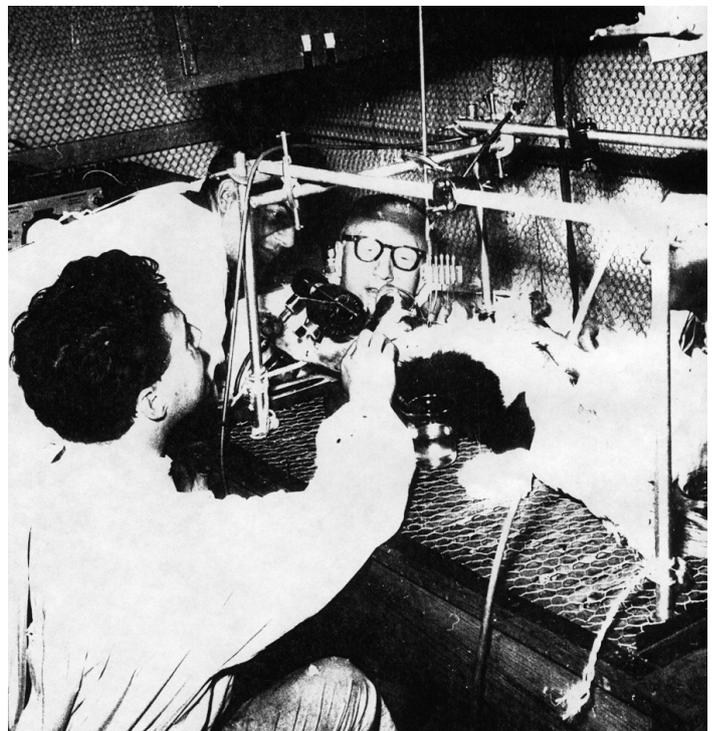
bration étant celle du muscle thyroarythénoïdien constituant l'élément tenseur de la corde.

Selon cette conception, la hauteur du son émis par vibration passive ne dépendrait donc que de l'état de tension du muscle : plus la glotte est resserrée, plus le son est aigu.

## Les failles de la théorie classique

Une certaine incompréhension existait depuis longtemps entre les chanteurs et les médecins spécialistes qu'ils venaient consulter. Il est classique, en technique du chant, de parler de registres. Un chanteur qui « monte la gamme » sait que, partant des sons graves en voix de poitrine, il arrive un instant, lorsqu'il augmente la fréquence de son émission sonore, où il lui est nécessaire de changer de registre et d'adopter ce que l'on appelle la voix de tête.

Il s'agit là d'une sensation bien réelle que les physiologistes se sont pourtant longtemps évertués à nier car, selon la théorie classique, elle n'a



A gauche, Rémi Saumont, Paul Laget et Robert Gaillard en train d'opérer une dissection du nerf récurrent sur un chien. A droite, les mêmes avec, au centre, Raoul Husson, effectuant un examen par stroboscopie de la vibration active des cordes vocales du chien. (Laboratoire de physiologie des fonctions, Sorbonne, 1953.)

aucune raison d'être (voir note 4).

Seul un chercheur rompu aussi à la technique du chant, comme l'était Raoul Husson, pouvait accepter de prendre en considération le problème ainsi posé. Et cela *a fortiori* si ce physiologiste était en plus mathématicien car la notion de registre pouvait avoir une justification par le calcul.

Ancien élève de l'École normale supérieure, né en 1901, Raoul Husson était diplômé d'études supérieures de physique mathématique et de calcul des probabilités, et c'est comme statisticien qu'il a débuté sa carrière. A la veille de la Seconde Guerre mondiale, il est devenu secrétaire général de la Statistique générale de la France et ce n'est qu'après la Libération qu'il a intégré le CNRS en tant que chargé de recherches dans la section de physiologie, après avoir soutenu, en 1950, une thèse de doctorat ès sciences naturelles, avec comme président de thèse le physicien Yves Rocard.

A ce cursus étoffé, il faut aussi ajouter qu'il était doté d'une belle voix de baryton et était fort bien introduit dans le monde de l'opéra.

C'est donc à partir du fait cité plus haut que Husson a été amené à réexaminer la théorie de l'émission sonore laryngée, et cela d'autant plus que d'autres faits militaient aussi en faveur d'un tel réexamen : par exemple, l'impossibilité, dans l'hypothèse de la vibration passive, d'une justesse d'attaque de l'émission, ou encore le fait que cette vibration en régime continu ne permet pas d'envisager une relation intensité-fréquence correspondant à la réalité.

Ces considérations ont donc conduit Husson à concevoir à partir de son expérience de chanteur la possibilité d'une vibration active des cordes vocales sous l'effet d'une commande nerveuse transmise par les nerfs récurrents innervant les muscles laryngés.

Il s'agissait là d'une hypothèse osée qui ne pouvait manquer de se heurter à l'opposition des électrophysiologistes. En effet, les sons aigus qu'une cantatrice soprano peut émettre ont une fréquence qui peut atteindre et même dépasser 2 000 cycles par seconde. Selon les lois de l'électroneurologie, aucune fibre nerveuse n'était censée pouvoir transmettre des potentiels d'action à une telle fréquence. Compte tenu des travaux de Sherrington, la limite supérieure de la fréquence de transmission ne

pouvait pas dépasser 900 cycles par seconde.

Cependant, les travaux de Stevens et Davis avaient montré dans le domaine de l'audition l'existence d'un « codage » dans la conduction nerveuse permettant la transmission de fréquences pouvant atteindre trois fois les 900 hertz fatidiques.

On pouvait donc envisager l'existence d'un phénomène de ce genre dans la transmission récurrentielle.

### **Les expériences de mise en évidence d'une vibration active des cordes vocales**

Nonobstant les réticences, une série d'expériences a pu être effectuée au début des années 50 dans le laboratoire de A. M. Monnier, titulaire de la chaire de physiologie des fonctions à la Sorbonne, pour tenter de mettre en évidence, suivant l'hypothèse de Husson, la réalité d'une vibration active des cordes vocales. Pour cela une stimulation des nerfs récurrents dénudés a été réalisée sur des chiens anesthésiés dont les cordes vocales étaient observées au moyen d'un stroboscope permettant de mesurer la fréquence de leur éventuelle vibration *en l'absence de tout courant d'air* (c'est-à-dire après trachéotomie basse). L'équipe, outre Raoul Husson, comprenait Paul Laget, chargé de recherches, Robert Gaillard, attaché de recherches, et moi-même, assistant à la Sorbonne. Je dois dire que ce n'est pas sans surprise que nous avons pu constater que la stimulation des récurrents (le stimulateur avait été construit par mes soins) provoquait bien une vibration des cordes vocales et cela à des fréquences de plusieurs centaines de cycles par seconde et *sans qu'aucun courant d'air ne soit responsable de cette vibration* (voir photos de la page précédente).

Le compte rendu de ces expériences, bien qu'effectué dans des conditions polémiques difficiles, a fait quelque bruit à l'époque et déclenché une âpre discussion en physiologie. Cependant, le monde du chant a d'emblée accueilli cette explication avec enthousiasme car la prise en compte de la théorie de Husson a débouché sur des applications

thérapeutiques (par exemple, la mesure de la chronaxie récurrentielle par Christian Chenay a permis de mieux appréhender les questions d'erreurs de tessiture).

### **L'étude électrophysiologique du nerf récurrent**

Afin d'apporter quelques éléments nouveaux susceptibles de préciser les données du débat, Edouard Coraboeuf (autre élève de Monnier), Michel Gargouil et moi-même avons décidé d'effectuer en 1955 une étude électrophysiologique du nerf récurrent. Par cette étude, nous avons pu montrer que le nerf récurrent, par un mécanisme analogue à celui rencontré dans l'appareil auditif, était apte à transmettre des potentiels d'action à une fréquence de loin supérieure à 900 cycles par seconde, et cela par recrutement tournant de paquets de fibres nerveuses au sein du nerf (voir note 11), en conformité avec les travaux de Sherrington. C'était lorsque la fréquence de stimulation atteignait 900 cycles par seconde que le régime de fonctionnement du nerf se modifiait automatiquement et que la transmission se faisait alors par alternance de paquets de fibres avec une remarquable stabilité (**Figure 2**). Peut-être faut-il voir là l'explication du changement de registre cité plus haut.

### **Discussion et conclusion**

Il paraît donc que la théorie classique de la phonation, et surtout du chant, telle qu'on la définissait avant les années 50, ne suffisait pas à rendre compte de manière satisfaisante de la fonction mise en cause.

Il a été démontré que le nerf laryngé inférieur est parfaitement capable de transmettre des signaux aux fréquences acoustiques qui sont celles du chant, c'est-à-dire à plus de 2 000 cycles par seconde. Par contre, en ce qui concerne la contraction effective du muscle strié de la corde vocale sous forme de vibration phonogène active, le travail de démonstration demeure incomplet.

La corde vocale peut effectivement vibrer par commande du récurrent,

mais peut-elle le faire à plus de 440 cycles par seconde (fréquence du  $la^3$ ), par exemple ?

Alfred Fessard, neurophysiologiste, membre de l'Académie des sciences et chef de file d'une école renommée d'électrophysiologie, y a répondu par la négative. Il s'est basé sur ce que l'on sait du fonctionnement de la plaque motrice musculaire (organe de jonction fibres nerveuses-muscle) qui serait censée ne pas répondre au-delà de 100 cycles par seconde. Néanmoins, est-on sûr que la plaque motrice du muscle de la corde se comporte comme celle des muscles squelettiques ? Rien ne le prouve pour l'instant.

Les résultats de l'examen électromyographique qui ont été mis en avant ne sont pas plus probants car ils donnent la fréquence de réponse fibre par fibre. S'il existe au niveau du muscle un recrutement tournant analogue à celui mis en évidence pour le nerf, l'électromyographie peut difficilement en rendre compte.

Dans toutes ces études, Raoul Husson a joué un rôle moteur majeur et c'est lui qui était l'âme de ces recherches. Malheureusement, il a été tué dans un accident de voiture en 1967, laissant la tâche partiellement inachevée car les différentes collaborations qu'il avait pu susciter ne représentaient pour leurs acteurs que des activités secondaires.

A l'heure actuelle, les résultats ob-

tenus semblent sombrer petit à petit dans l'oubli, d'autant plus qu'il ne reste pas beaucoup de témoins des événements scientifiques relatés ici. Outre Raoul Husson, sont également décédés Alexandre Marcel Monnier, Alfred Fessard et Edouard Coraboeuf. Les quelques survivants sont retraités et se sont dispersés. Le laboratoire dans lequel ces travaux ont été effectués, au deuxième étage de la Sorbonne à l'angle de la rue Saint-Jacques et de la rue Cujas, a depuis longtemps été désaffecté.

La phonation demeurerait-elle donc le chapitre mal-aimé du grand livre de la physiologie ?

La phoniatrie (surtout dans ses implications psychologiques et sociologiques) demeure cependant une discipline active, comme en témoigne l'émission de télévision du 31 mars dernier sur *France 2* (à 1 heure 30 du matin, malheureusement) qui traitait de la voix. On a pu en particulier découvrir les talents de Tran Quang Hai qui travaille dans le cadre du musée de l'Homme. Il a réalisé une démonstration saisissante de certaines des possibilités de l'émission vocale humaine qui, paraît-il, sont courantes en Mongolie ou chez les moines bouddhistes, à savoir l'émission simultanée de sons de hauteurs différentes en fondamentales.

Comment, dans de telles conditions, se comportent les cordes

vocales ? Nous n'en savons rien, semble-t-il.

Existence de faits de ce genre, difficilement compatibles avec les théories classiques, pourrait conduire à reprendre en considération la théorie neurochronaxique de Husson. En effet, comment expliquer qu'il soit possible d'émettre simultanément une gamme ascendante et une gamme descendante de sons laryngés, parfaitement discernables à l'oreille, par simple vibration passive des cordes vocales ? Il y a là certainement matière à d'intéressantes études. n

#### Bibliographie succincte

1. Weiss D., *Die Laryngostroboskopie Zeitschrift f. Laryngoskopie*, 1932, 20, pp.391-418.
2. Heymann O., *Die Stroboskopie im Dienste der Laryngoskopie Archiv. f. Ohren Wasenund Kehlkopfheilk*, 1933, 136, pp.64-116.
3. Husson R., « Réaction du résonateur pharyngien sur la vibration des cordes vocales pendant la phonation », *Cr. Acad. Sc.*, 1933, 196, p.1535.
4. Gley E., *Physiologie*, neuvième édition, 1938, p.643. (Intéressant par sa description anatomo-histologique du larynx.)
5. Husson R., *Thèse de doctorat des sciences : étude des phénomènes physiologiques et acoustiques de la voix chantée*, Editions de la Rev. Sc., Paris, 1950.
6. Husson R., *Folia Phonetica*, 1951, 3, p.240.
7. Husson R., *Ann. d'oto-laryngol.*, 1952, 69, p.130.
8. Husson R., Saumont R., « Analyse générale de la structure acoustique des sons du langage par superposition de composantes périodiques et de composantes aléatoires », *Cr. Acad. Sc.*, 1953, 237, p.1955 (étude mathématique).
9. Moulonguet A., Laget P., Husson R., *Bull. Acad. Med.*, 1953, 137, p.475.
10. Vannier J., Saumont R., Labarraque L., Husson R., *Rev. de laryngologie*, Supplémentum, février 1964, p.160.
11. Coraboeuf E., Saumont R., Gargouil Y.M., « Etude comparée de l'activité électrique du récurrent du chien et de celle d'autres nerfs de mammifères », *Rev. de laryngologie*, Supplémentum, mai 1956 (démonstration du fonctionnement par recrutement tournant des fibres du nerf laryngé inférieur).
12. *Encyclopédie internationale des sciences et des techniques*, tome 8, « La phonation », p.831-835, Presses de la Cité, Paris, 1972 (l'auteur anonyme de cette rubrique, s'il cite Raoul Husson, y défend plutôt les thèses de Vallencien).
13. Baillet J., Nortier E., *Précis de physiologie humaine*, Ellipse, Paris, 1992, pp.801-810 (ouvrage de référence concernant les centres cérébraux contrôlant la phonation, y compris en ce qui concerne les incidences cognitives).

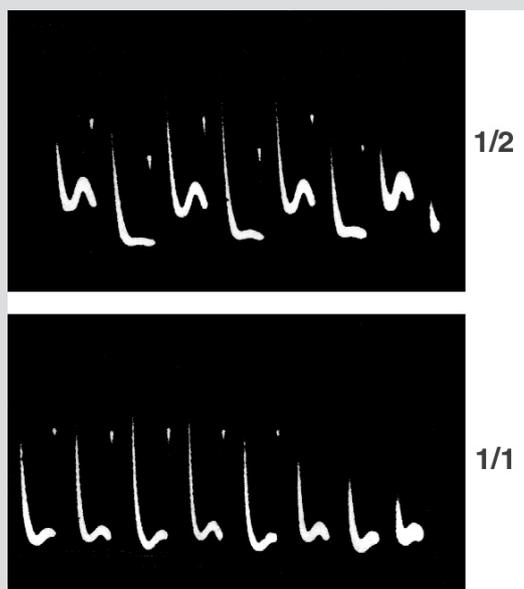


Figure 2. Réponse du nerf récurrent aux fréquences élevées, supérieures à 900 cycles par seconde (états stables).