Zeitschrift: Archives des sciences [1948-1980]
Herausgeber: Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève
Band: 10 (1957)
Heft: 6: Colloque Ampère

Artikel: Maser à NH3 : expériences, résultats, applications
Autor: Bonanomi, J. / Prins, J. de / Herrmann, J.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-738777

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 17.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Maser à NH_3; expériences, résultats, applications

par J. Bonanomi, J. de Prins [1], J. Herrmann,
P. Kartaschoff et J. Rossel

Institut de physique de l'Université
et Laboratoire suisse de recherches horlogères, Neuchâtel (Suisse) [2]

Sommaire.

Les caractéristiques de fonctionnement d'oscillateurs moléculaires à NH_3 sont analysées. On étudie en particulier les critères de mesure de fréquence et les facteurs qui influencent cette fréquence. La structure des composantes hyperfines de la raie (3,3) est reconsidérée avec une résolution accrue ($2\Delta\nu = 2$ kHz).

Avec les précautions indiquées, une stabilité de l'étalon de fréquence de 2.10^{-10} a été obtenue.

Une première étude comparative des étalons moléculaires et astronomiques de temps, en vue de l'établissement d'un système amélioré de conservation du temps est entreprise.

I. Introduction.

Le principe et le fonctionnement du Maser est décrit en détail dans la littérature [1, 2, 3]. Nous nous intéressons ici surtout à la production d'oscillations moléculaires de haute stabilité. Le dispositif est composé essentiellement d'un gicleur produisant un jet de molécules de NH_3, d'un focaliseur, où le jet est appauvri en molécules se trouvant dans l'état inférieur d'inversion, par l'action d'un champ électrostatique inhomogène, et d'une cavité résonnante cylindrique dans laquelle les molécules entretiennent par émission induite une oscillation de très haute pureté spectrale.

---

[1] Stagiaire du Centre belge de navigation.

[2] Communication au VIe colloque A.M.P.E.R.E., Saint-Malo, 24-26 avril 1957.

Nous avons construit 2 installations Maser déjà décrites brièvement ailleurs [4], et dont nous désirons analyser les performances dans cet article. Tous nos résultats ont été obtenus pour la transition d'inversion (3,3) de NH_3 à 23.870 MHz.

II. Expériences de fonctionnement.

1. *Détermination de la fréquence nominale d'oscillation.*

a) *Critère de disparition de l'oscillation.*

Le maser étant un oscillateur à réaction, sa fréquence dépend fortement de l'accord de la cavité (l'élément de réaction). L'entraînement de fréquence est proportionnel au désaccord de la cavité: $\Delta f_M = \frac{Q_C}{Q_M} \cdot \Delta f_C$ où les indices C et M se réfèrent à la cavité et à la raie moléculaire respectivement. L'oscillation ne prend naissance que si la cavité est accordée approximativement sur la fréquence moléculaire. Par une variation de sa température, nous déplaçons la fréquence de la cavité jusqu'à ce que les oscillations cessent de part et d'autre de l'accord optimum. La moyenne des deux fréquences de l'oscillation au moment de sa disparition est prise comme résultat de la mesure. La fréquence déterminée par ce critère est reproductible avec une erreur inférieure à $\pm 5.10^{-10}$. Nous avons appliqué ce critère à des cavités fonctionnant sur les modes suivants: TM_{010}, TE_{211}, TM_{111}, TE_{011}.

b) *Critère du saut de fréquence.*

Ce premier critère n'est applicable qu'aux cavités dont le mode possède 0 ou 1 nœud suivant l'axe z ($n = 0$ ou 1). Pour $n > 1$, la raie spectrale est dédoublée par effet Doppler avec une séparation en fréquence de l'ordre de 10 kHz ($f_1 - f_2 \simeq n \cdot v/L$; v: vitesse la plus probable des molécules du jet, L: longueur de la cavité). L'oscillation n'est possible qu'à la fréquence de l'une ou l'autre des deux composantes de la raie double. Lorsque l'accord de la cavité est déplacé d'une composante à l'autre (en variant la température de 0,02° environ), la fréquence d'oscillation saute abruptement d'environ 10 kHz. La moyenne des 2 fréquences immédiatement avant et après le saut est prise comme résultat de la mesure. La reproductibilité du résultat est meilleure que 2.10^{-10}. Les modes suivants ont été utilisés pour cette méthode: TM_{012} et TE_{013}.

c) *Critère du déplacement magnétique.*

Shimoda et Wang [3] suggèrent l'utilisation d'un champ magnétique qui déplacerait la fréquence d'oscillation sauf pour un accord bien déterminé de la cavité. Dans notre cas, la méthode s'est révélée peu sensible, et la fréquence mesurée beaucoup trop dépendante des conditions expérimentales.

2. *Facteurs influençant la fréquence d'oscillation.*

Parmi les paramètres influençant la fréquence du maser, les plus importants sont: la longueur de la cavité, le nombre de molécules dans le jet, la tension de focalisation.

Les cavités à mode $n = 0$ ou 1 accusent une augmentation de la fréquence maser avec la longueur. Pour une série de 8 cavités (Mode TM_{010}) de longueurs différentes (10 à 35 cm) l'augmentation mesurée est linéaire avec la longueur ($\sim 5.10^{-10}$/cm). La valeur de la fréquence extrapolée pour $L = 0$ est assez voisine de celle mesurée pour nos cavités à mode $n > 1$. Le signe de l'effet n'est pas celui prévu par Shimoda et Wang [3] en supposant la présence d'une composante d'onde progressive de direction opposée à celle des molécules du jet.

Quelques mesures faites sur des cavités à mode $n > 1$ semblent indiquer une dépendance de la longueur beaucoup moins marquée: les fréquences des 4 cavités expérimentées (10 cm $< L <$ 20 cm) étaient identiques à 10^{-9} près. Cette constatation peut s'expliquer par l'élimination de l'effet Doppler, obtenue grâce au critère de mesure appliqué à ces cavités.

Les fréquences mesurées dépendent en général faiblement du nombre de molécules admises. Cet effet est prévisible vu que la vitesse moyenne des molécules du jet peut augmenter de 30% avec le nombre de molécules comme on a pu le constater par la mesure du spectre dédoublé dans une cavité $TE_{1,1,13}$. La variation de fréquence qui s'ensuit est néanmoins suffisamment faible pour permettre une bonne reproductibilité. De plus, on peut déterminer une valeur de la tension du focaliseur telle que cet effet disparaisse.

Les fréquences Maser observées dépendent assez fortement de la tension du focaliseur ($\sim 3.10^{-10}$ par kV). L'effet pourrait être dû à la multiplicité de la raie centrale (3,3) de structure hyperfine, l'intensité des différentes composantes dépendant de la tension du focaliseur. Gordon [2] a effectivement postulé une multiplicité de la composante centrale, déduite de l'asy-

métrie mesurée des satellites magnétiques. Nous avons remesuré ce spectre avec une résolution accrue ($2\Delta\nu = 2$ kHz, amplification $\simeq 1$). L'asymétrie de la structure hyperfine observée peut être expliquée par le fait que la constante de couplage quadrupolaire est plus grande de 3,0 kHz $\pm$ 0,7 kHz dans l'état d'inversion inférieur. (Détails à paraître dans *Helv. Phys. Acta.*)

La figure 1 montre la raie centrale et ses satellites magnétiques.

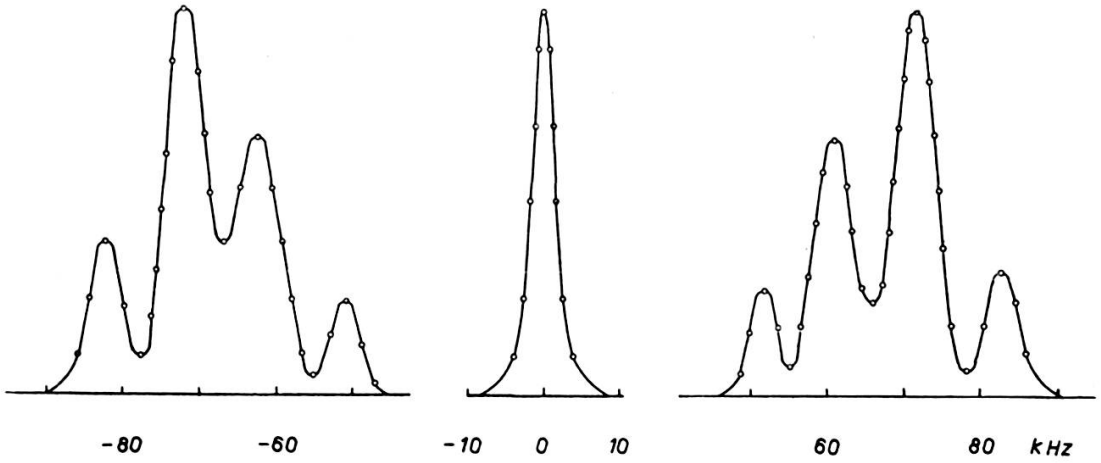

Fig. 1: Transition d'inversion (3, 3) de NH_3: raie centrale avec satellites magnétiques (détection de l'amplitude). Energie inductrice et nombre de molécules fortement diminués pour la raie centrale.

II. Résultats.

Nos mesures ont porté essentiellement sur la détermination des caractéristiques suivantes:

1. Fréquence moléculaire naturelle;
2. Concordance de fréquence pour des masers de construction identique;
3. Reproductibilité de la mesure de fréquence pour un maser donné.

1. Les fréquences mesurées avec toutes nos cavités (compte tenu des extrapolations qui s'imposent) tombent toutes à 10^{-8} près dans le voisinage de la même fréquence [4]. Au vu des résultats beaucoup plus précis mentionnés ci-dessous, la valeur numérique de cette fréquence ne présente pour l'instant qu'un intérêt secondaire en tant qu'étalon de fréquence.

2. Les cavités étant d'une part l'élément dont l'influence sur la fréquence d'un maser est la plus grande, et, d'autre part l'élément le moins exactement reproductible, nous avons construit 5 paires de cavités mécani-

quement semblables. Dans ces conditions nous avons constaté que 2 cavités jumelles, tous les autres paramètres étant constants, donnent à 10^{-9} près la même fréquence. D'autre part une cavité primitivement en laiton brut, reproduisit après polissage et cuivrage la même fréquence également à 10^{-9} près. La reconstruction exacte du reste de l'installation étant facilement réalisable, nous pouvons donc assurer une reproductibilité absolue de fréquence à 10^{-9} près.

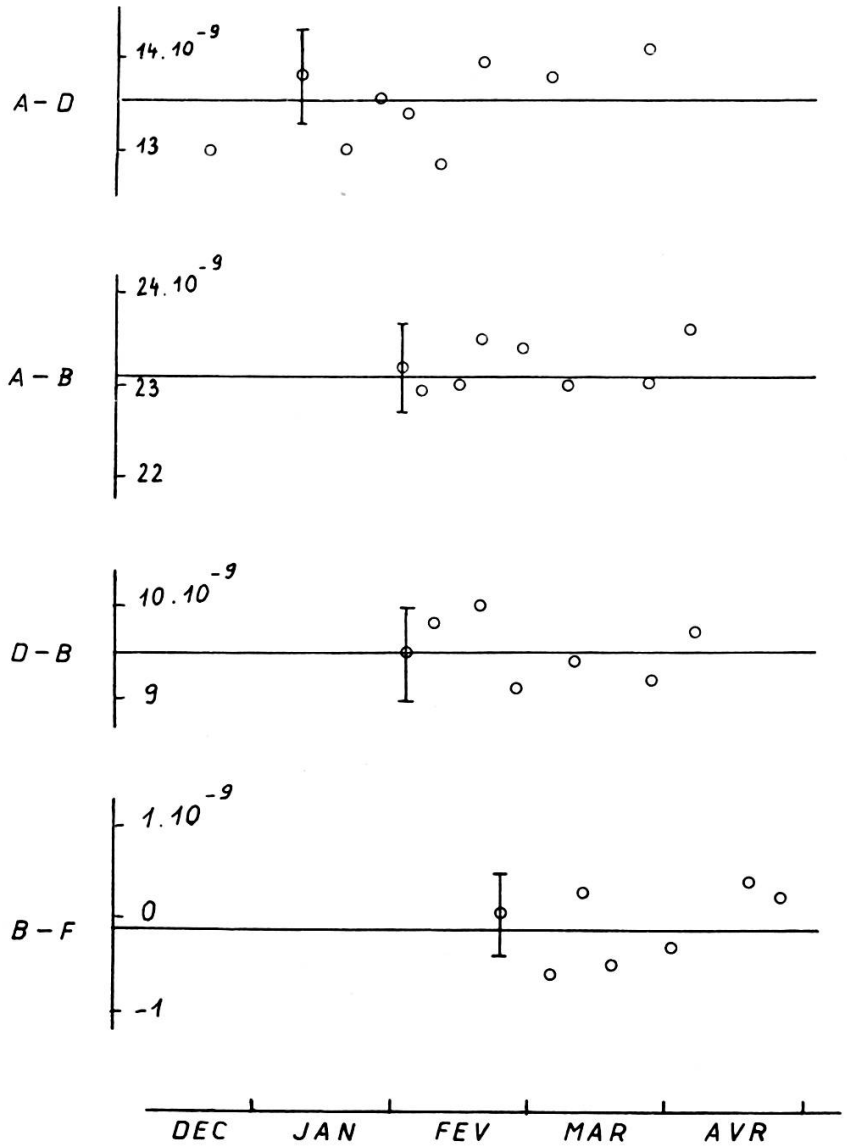

Fig. 2: Comparaison de fréquence entre 4 MASER en fonction du temps.

A = Installation No I avec une cavité TM_{010} (L = 30 cm)

B = Installation No I avec une cavité TM_{012} (L = 10.6 cm)

D = Installation No II avec une cavité TM_{010} (L = 16 cm)

F = Installation No II avec une cavité TE_{013} (L = 18.3 cm)

En ordonnée est reportée la différence relative de fréquence (10^{-9} ≙ 24 Hz)

3. Nous avons étudié la constance à longue durée de plusieurs dispositifs aux caractéristiques préalablement bien déterminées (cavité, focaliseur et sa tension, gicleur, nombre de molécules, géométrie). Les mesures se sont réparties sur plusieurs mois, pendant lesquels les installations furent complètement démontées à plusieurs reprises. La comparaison des différentes fréquences entre elles révéla une constance remarquable. Chaque comparaison implique deux mesures consécutives par rapport à un oscillateur à quartz auxiliaire. La stabilité de cet oscillateur pendant le temps des mesures ($\sim$ ½ heure) détermine l'imprécision de la mesure ($\pm$ 4.10^{-10}). La figure 2 montre le résultat des comparaisons de fréquence entre 4 cavités sur 2 installations. Nous pouvons dès à présent assurer une stabilité à longue durée meilleure que 4.10^{-10}. Nos dernières mesures exécutées avec un oscillateur auxiliaire amélioré nous permettent déjà de réduire cette limite à environ 2.10^{-10}.

IV. Applications.

A côté de son utilisation en spectromètre de haute résolution et comme étalon de fréquence, l'application du maser à la conservation du temps est des plus importantes.

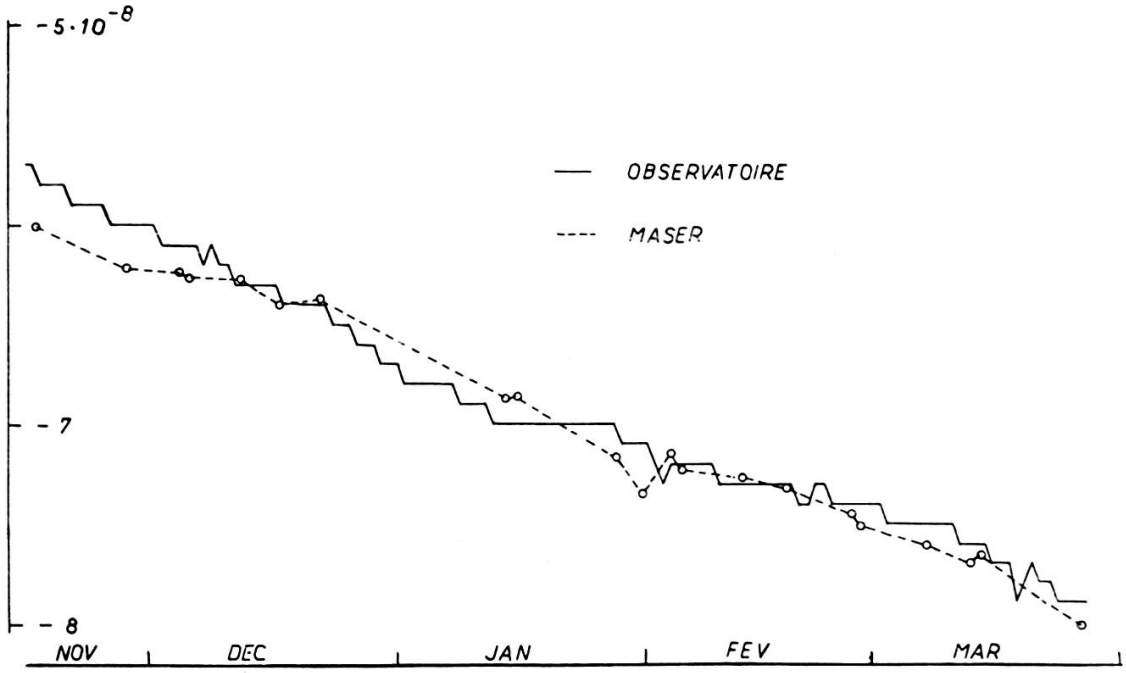

Fig. 3: Fréquence d'une horloge à quartz mesurée par un MASER (----) et par l'Observatoire de Neuchâtel (——). L'Observatoire communiquait chaque jour, la correction moyenne de la journée, en TU_2, arrondie à 10^{-9}. Les mesures avec Maser ont été faites, en 1/2 heure, à un moment quelconque de la journée.

Les fréquences fournies par les masers en opération ont été régulièrement comparées à une horloge à quartz dont la marche était contrôlée à son tour par l'Observatoire de Neuchâtel sur la base du temps universel TU_2. Dans la figure 3, nous avons reporté la fréquence de cette horloge mesurée d'une part relativement aux masers, d'autre part relativement à TU_2 déterminé à Neuchâtel.

Actuellement il ne paraît pas essentiel dans un système garde-temps de faire fonctionner en permanence l'oscillateur moléculaire pour l'intégration temporelle. On peut confier ce rôle aux horloges à quartz dont la stabilité à courte durée ($\simeq 10^{-10}$ en 24 h.) est suffisante et contrôler leur marche périodiquement au moyen du maser.

Nous tenons à remercier le Fonds national suisse de la recherche de l'aide financière qu'il a accordé à ces travaux.

BIBLIOGRAPHIE

1. Gordon, J. P., H. J. Zeiger et C. H. Townes, *Phys. Rev.*, *99*, 1264 (1955).
2. Gordon, J. P., *Phys. Rev.*, *99*, 1253 (1955).
3. Shimoda, K., T. C. Wang et C. H. Townes, *Phys. Rev.*, *102*, 1308 (1956).
4. Bonanomi, J. et J. Herrmann, *Helv. Phys. Acta*, *29*, 451 (1956).