Sensibilité au tempo en audition : mesure et modélisation

C. Drake, M.-C. Botte

► To cite this version:

C. Drake, M.-C. Botte. Sensibilité au tempo en audition : mesure et modélisation. Journal de Physique IV Proceedings, 1994, 04 (C5), pp.C5-375-C5-378. 10.1051/jp4:1994577 . jpa-00253072

HAL Id: jpa-00253072

<https://hal.science/jpa-00253072>

Submitted on 1 Jan 1994

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.

Sensibilité au tempo en audition : mesure et modélisation

C. DRAKE et M.-C. BOTTE

Laboratoire de Psychologie Expérimentale, Université René Descartes, Paris V, URA 316 du CNRS, 28 rue Serpente, 75006 Paris, France

abstract : The ability of listeners to detect slight changes in tempo of isochronous auditory sequences was investigated by measuring differential thresholds for tempi (with interonset intervals IOI ranging from 100 to 1500 ms) of sequences varying in the number of intervals they contain. A multiple-look model presented previously [3] predicts that sensitivity increases as the number of intervals in the sequence increases, since multiple observations afford the elaboration of a more precise mental representation involving the coding of the average duration and degree of dispersion of the intervals in the sequence. The results of the present study indicate that an additional parameter, that of the total duration of the sequence is also involved: the faster the tempo of the sequence, the more intervals are necessary to obtain the lowest JNDs. The upper limit of this "temporal window" is about one second for sequences of 50 to 300 ms IOI and about 2.5 seconds for sequences of 500 to 1500 ms IOI.

1. INTRODUCTION.

Il y a une trentaine d'années, Fraisse [1] et Michon [2] se sont demandés quelle est la précision avec laquelle des auditeurs sont capables de dire si deux séquences sonores ont la même cadence, autrement dit quelle est la sensibilité au changement de tempo. Nous effectuons dans notre équipe une série d'expériences qui cherchent à préciser les conditions dans lesquelles le traitement du tempo est optimal afin d'élaborer un modèle des processus de traitement des intervalles temporels successifs par le système auditif.

Dans une expérience déjà publiée [3, Expérience 1], nous avons examiné l'effet du nombre d'intervalles composant une séquence sur la sensibilité au changement de tempo. Nous avons fait l'hypothèse que, plus une séquence est longue, plus l'auditeur dispose d'"observations" de l'intervalle et donc plus élaborée est la représentation du tempo. Nous avons mesuré les seuils différentiels de tempo pour des séquences en fonction du nombre d'intervalles qu'elles contenaient (1, 2, 4 ou 6) et en fonction de leur tempo (100 à 1500 ms entre les débuts de deux sons successifs). Les séquences étaient composées de sons purs (440 Hz) qui duraient 50 ms. Une méthode adaptative avec choix forcé entre deux intervalles d'observation a été utilisée. Le sujet entendait deux séquences successives, l'une étant légèrement plus rapide que l'autre. La tâche du sujet était de dire laquelle des deux était la plus rapide. Une seule réponse erronée entraînait une augmentation de la différence de tempo entre les deux séquences tandis que deux réponses correctes entraînaient une diminution de cette différence. Les seuils ont été mesurés pour quatre sujets très entraînés. Les résultats indiquent que le nombre d'intervalles influence considérablement la sensibilité : les seuils diminuent de façon significative avec le nombre d'intervalles, au moins jusqu'à quatre intervalles pour les tempi moyens.

2. MODELE D'OBSERVATIONS MULTIPLES

Ces données nous ont permis d'élaborer un modèle d'"*observations multiples*". Ce modèle prévoyait que, par rapport aux seuils mesurés pour un seul intervalle, les seuils différentiels diminueraient comme $1/N$, N étant le nombre d'intervalles, de sorte que plus grand serait le nombre d'intervalles entendus, plus précise serait la représentation mentale, et donc plus fine serait la sensibilité. Toutefois, le fait d'augmenter le nombre d'intervalles aurait progressivement moins d'effet.

Lorsqu'on confronte ce modèle aux données expérimentales on constate que le modèle s'applique assez bien aux tempi moyens. D'autres phénomènes semblent intervenir pour les tempi plus rapides et plus lents. En effet, les résultats expérimentaux suggèrent que, pour les tempi rapides, les seuils continuent à augmenter pour un nombre d'intervalles supérieur à quatre et que, pour les tempi les plus lents, le fait d'augmenter le nombre d'intervalles au-delà de deux intervalles n'entraîne pas d'amélioration des seuils.

Le modèle original doit donc être affiné. Il semblerait, en particulier, que lors du processus de moyennage portant sur chacun des intervalles présentés, seules des informations disponibles dans un laps de *temps limité* puissent être intégrées dans la représentation mentale. Nous appellerons cette durée limite la "fenêtre d'observation". Les données expérimentales précédentes suggèrent que la durée de cette fenêtre varie en fonction du tempo.

D'une part, en effet, pour le *tempo lent* de 1500 ms, la durée totale d'une séquence de 2 ou de 3 intervalles est respectivement de 3000 et 4500 ms. Aucune diminution des seuils n'étant observée entre 2 et 3 intervalles, on peut conclure que la limite de la fenêtre se situe entre 3000 et 4500 ms.

D'autre part, pour des *tempi rapides* (par exemple 100 ms), le seuil continue à diminuer jusqu'à 6 intervalles, c'est-à-dire avec une durée totale de 600 ms. Nous faisons l'hypothèse que, si la séquence était encore plus longue, le seuil continuerait à diminuer. C'est encore une question de fenêtre : pour une séquence rapide et courte, le temps d'observation et d'intégration de l'information n'était pas optimal dans cette expérience. Une durée d'observation plus longue devrait permettre une meilleure intégration des informations et donc des seuils meilleurs. Encore une fois, ce phénomène ne se produira que jusqu'à une durée de fenêtre maximale. Compte tenu du nombre d'intervalles examiné, ces premières données ne permettent pas une estimation de la durée de la fenêtre pour les tempi rapides.

3. EXPERIENCE.

3.1. Objectifs

L'expérience présentée ici avait comme objectif d'examiner de plus près la possibilité que le modèle d'observations multiples basé sur le nombre d'intervalles ne s'applique qu'aux tempi intermédiaires, et ensuite de déterminer l'existence d'autres facteurs qui pourraient intervenir, en particulier la durée totale de la séquence. Nous avons donc mesuré les seuils différentiels de tempo pour des séquences régulières de tempi différents en fonction du nombre d'intervalles qu'elles contiennent. Nous avons ensuite calculé, pour chaque tempo, le nombre d'intervalles (et donc la durée totale de la séquence) à partir duquel le fait d'ajouter un intervalle supplémentaire n'entraîne plus de diminution du seuil. Cet indice nous donne une indication de la durée de la fenêtre d'observation pour chaque tempo.

3.2. Méthode

Six sujets naïfs ont participé à cette expérience. Sept tempi allant de 50 à 1500 ms ont été examinés. Pour chaque tempo, une pré-expérience sur deux sujets a établi la gamme du nombre d'intervalles qu'il était nécessaire de tester. Une gamme légèrement plus large a été adoptée dans l'expérience principale. Chaque sujet a passé chacune des 38 conditions deux fois. Toutes les conditions à un tempo donné étaient passées dans la même séance, et tous les ordres étaient contrebalancés entre les sujets. Chaque sujet a passé 10 sessions d'environ deux heures. La même procédure que précédemment a été adoptée.

3.3. Résultats

La Figure 1 présente les seuils moyens des deux répétitions pour les 38 conditions. Les données sont présentées en fonction de la durée totale de la séquence, durée qui résulte d'une combinaison donnée "tempo-nombre d'intervalles". Par exemple, une séquence ayant un tempo de 100 ms et contenant 5 intervalles a une durée totale d'une demi-seconde. Chaque courbe représente les seuils pour un tempo donné, chaque point représente le seuil pour un nombre d'intervalles donné.

Conformément aux données antérieures, tous les seuils baissent au fur et à mesure que le nombre d'intervalles augmente. De plus, chaque courbe atteint un plateau avec un seuil minimal. Ce qui nous intéresse plus particulièrement c'est le fait que les courbes évoluent plus ou moins vite avec le nombre d'intervalles selon le tempo, atteignant un minimum pour un nombre d'intervalles différent. Par exemple, pour le tempo de 100 ms, le seuil relatif diminue progressivement jusqu'à 15 intervalles (durée totale de 1500 ms) et se stabilise ensuite à d'environ 2,5%. Par contre, au tempo 750 ms, le seuil diminue jusqu'à 3 intervalles (durée totale de 2250 ms) et se stabilise à environ 4,2%. Nous considérons que le fait que les seuils ne baissent plus indique que la fenêtre est saturée.

Figure 1. Seuils différentiels relatifs moyens (rapportés au tempo de référence) pour les 38 conditions en fonction de la durée totale de la séquence.

Figure 2a. Nombre d'intervalles moyen à partir duquel le fait d'ajouter un intervalle supplémentaire n'entraîne plus de baisse de seuil, pour 7 tempi (50-1500 ms).

Figure 2b. Durée maximale de la fenêtre en fonction du tempo.

Afin de comparer les différents tempi entre eux, il faut établir, pour chaque tempo, le nombre d'intervalles à partir duquel le fait d'ajouter un (ou des) intervalle(s) supplémentaire(s) n'entraîne plus de diminution des seuils : pour chaque tempo, les seuils individuels pour chaque nombre d'intervalles ont été comparés entre-eux. On a cherché le nombre d'intervalles à partir duquel le fait d'ajouter un (ou des) intervalle(s) supplémentaire(s) n'entraîne plus de baisse de seuil pour chaque tempo (moins de 25% de diminution). Ces valeurs sont présentées dans la Figure 2a, accompagnées de deux prédictions théoriques : 1) les prédictions du modèle d'observations multiples avec un nombre d'intervalles constant, fixé à quatre, et 2) ce qu'on attendrait si la baisse des seuils était limitée par une "fenêtre d'observation" de durée limitée, fixée ici à 3 secondes. Une analyse de variance pour les sept tempi et deux répétitions montre un effet global significatif du tempo sur le nombre maximum d'intervalles ($F(6,30)=55.9, p<0.01$), et des comparaisons partielles indiquent qu'il n'existe pas de différence entre les seuils pour 300, 500, 750 et 1000 ms et que ces seuils ne diffèrent pas significativement de 3%.

Confirmant les résultats antérieurs, les données expérimentales correspondent relativement bien aux prédictions du modèle d'observations multiples en ce qui concerne les tempi moyens (300 à 1000 ms). Le nombre maximum d'intervalles utiles se situe autour de 3, un de moins que précédemment (4 intervalles). Cette différence pourrait être liée au fait que ces calculs ont été effectués sur les données individuelles plutôt que sur les moyennes de groupes.

Cependant, aux tempi extrêmes (rapide : 50 et 100 ms, lent : 1500 ms), ce sont les prédictions d'une fenêtre de durée limitée qui prennent le relais. Pour les tempi rapides, la baisse des seuils continue jusqu'à 15 ou 18 intervalles pour les tempi 100 et 50 ms respectivement. Au contraire, pour le tempo le plus lent, une baisse du seuil est observée entre un et deux intervalles mais pas au-delà. Il y a donc une fenêtre limitée à deux intervalles.

La Figure 2b présente les mêmes données que la Figure 2a, mais cette fois organisées en fonction de la durée totale de la fenêtre (tempo x nombre d'intervalles utiles). Cette figure confirme que la durée de la fenêtre dépend du tempo, avec deux zones ayant des durées de fenêtre différentes : la zone des tempi rapides de 50 à 300 ms avec une fenêtre d'environ une seconde, et la zone des tempi lents de 500 à 1500 ms avec une fenêtre d'environ deux secondes et demie. Une analyse de variance concernant la durée maximale de la fenêtre en fonction du tempo confirme un effet global du tempo ($F(6, 30) = 9.5, p < .01$) et des comparaisons partielles confirment que les seuils moyens pour les trois tempi les plus rapides ne diffèrent pas significativement entre eux. Il en est de même pour les quatre tempi les plus lents.

4. CONCLUSION.

Les résultats expérimentaux présentés ici permettent d'apporter des précisions au modèle d'observations multiples. Nous confirmons les observations précédentes selon lesquelles plus il y a d'observations, plus précise est la représentation du tempo de la séquence. Nous pouvons maintenant ajouter que cette règle générale dépend également du tempo : beaucoup plus d'intervalles peuvent être pris en compte lorsqu'il s'agit d'un tempo rapide que lorsqu'il s'agit d'un tempo lent. En effet, il existe un deuxième facteur limitant qui est la durée de la fenêtre d'observation : elle est beaucoup plus courte pour les tempi rapides que pour les tempi lents.

5. REFERENCES.

- [1] Fraisse P. Le seuil différentiel de durée dans une suite régulière d'intervalles. *Année Psychologique* (1967) 1 43-49.
- [2] Michon J. A. Studies on subjective duration: I. Differential sensitivity in the perception of repeating temporal sequences, *Acta Psychologica* (1964) 22 441-450.
- [3] Drake C. & Botte M.C. Tempo sensitivity in auditory sequences: Evidence for a multiple-look model. *Perception & Psychophysics* (1993) 54 (3) 277-286.