

# L'effet d'aimant perceptif : réponses préliminaires au débat entre hypothèses acoustique et cognitive

Jennifer Krzonowski<sup>1</sup>, Emmanuel Ferragne<sup>2</sup>, Véronique Boulenger<sup>1</sup> et Nathalie Bedoin<sup>1</sup>

(1) Dynamique Du Langage - UMR 5596 / CNRS - Université Lyon 2

14 avenue Berthelot - 69007 LYON

(2) CLILLAC-ARP / Université Paris 7

10 rue Charles V - 75004 PARIS

jennifer.krzonowski@univ-lyon2.fr

---

## RESUME

Étant données les conséquences de l'effet d'aimant perceptif sur la théorie phonologique et l'absence de consensus pour déterminer s'il relève de processus de bas niveau liés aux aspects acoustiques de certaines voyelles ou de processus de haut niveaux associés à l'acquisition du langage, nous avons mené deux expériences pilotes tentant de répliquer l'effet d'aimant perceptif avec des voyelles du français, quantiques (/a/ et /i/) et non quantiques (/ɛ/ et /e/). Les premiers résultats d'une tâche de discrimination témoignent d'une sensibilité plus faible autour des prototypes quantiques qu'autour des prototypes non quantiques, ce qui est en faveur de l'interprétation quantique (acoustique) de l'effet d'aimant perceptif.

---

## ABSTRACT

### **The Perceptual Magnet Effect: preliminary results on the acoustic vs. cognitive debate**

Given the consequences of the Perceptual Magnet Effect on phonological theory, and the lack of agreement as to whether it reflects low-level processes triggered by specific acoustic features in certain vowels or higher level cognitive mechanisms associated with language acquisition, we conducted two pilot experiments involving quantal~non quantal French vowels continua /a/~ɛ/ and /i/~e/. Preliminary results in two discrimination tasks tend to show that sensitivity near the quantal prototype tends to be smaller than sensitivity near the non quantal prototype, which might lead to the tentative conclusion that the quantal (acoustic) explanation for the PME could interfere with the cognitive hypothesis.

---

MOTS-CLES : Effet d'aimant perceptif, prototype, voyelles quantiques, discrimination

KEYWORDS : Perceptual Magnet Effect, prototype, quantal vowels, discrimination

---

## 1 L'effet d'aimant perceptif

Les théories phonologiques ont longtemps considéré que les catégories phonémiques étaient perçues de façon essentiellement catégorielle. On considère actuellement qu'elles présentent une structure interne riche et que certains exemplaires de catégories sont plus représentatifs que d'autres (Kuhl, 1991; Miller, 2001). L'effet d'aimant perceptif (*perceptual magnet effect*) témoigne de cette structure interne complexe, car il révèle que, à distance objective équivalente, deux stimuli proches du prototype sont plus difficiles à distinguer que deux stimuli qui en sont éloignés (Iverson & Kuhl, 1995; Kuhl, 1991). Pour Kuhl et ses collègues (Kuhl et al., 2008), l'effet d'aimant perceptif est une conséquence de l'acquisition du langage. Si c'est le cas, la taille de cet effet pourrait être utilisée pour évaluer la maturation phonologique. L'effet d'aimant perceptif pourrait alors devenir un outil pertinent dans l'établissement de diagnostics, voire dans la conception de programmes de remédiation de troubles du langage (e.g., dyslexie développementale, dysphasie...), à l'instar de la perception catégorielle (Bogliotti, Serniclaes, Messaoud-Galusi, & Sprenger-Charolles, 2008).

Il n'y a cependant pas de consensus quant aux mécanismes sous-tendant l'effet d'aimant perceptif, ni même quant au caractère systématique de cet effet. Lotto et ses collègues (Lotto, Kluender, & Holt, 1998) critiquent ainsi la procédure expérimentale initialement utilisée par Kuhl. En particulier, certains des exemplaires utilisés étaient considérés comme peu typiques de la catégorie étudiée, alors qu'ils relèveraient en fait d'une autre catégorie. L'effet d'aimant perceptif observé se ramènerait alors à un simple effet catégoriel. D'autre part, si cet effet a été à plusieurs reprises répliqué, c'est essentiellement avec la voyelle /i/ (Diesch, Iverson, Kettermann, & Siebert, 1999; Iverson & Kuhl, 1995; Iverson & Kuhl, 2000; Sussman & Lauckner-Morano, 1995). Or, le /i/ est connu pour avoir des propriétés quantiques (Stevens, 1972, 1989), c'est-à-dire qu'une grande variation objective dans la zone du /i/ est perçue comme une variation plus faible que si une même variation était attestée dans une autre région de l'espace acoustique. Tomaschek et ses collègues (Tomaschek, Truckenbrodt, & Hertrich, 2011) ont toutefois répliqué l'effet d'aimant perceptif avec le /a/ de l'allemand, mais cette voyelle est ici encore quantique. De ce fait, il est possible que l'effet d'aimant perceptif résulte davantage des propriétés acoustiques des stimuli utilisés que de processus de haut niveau impliqués dans l'apprentissage de la langue.

Pour soutenir l'interprétation de l'effet d'aimant perceptif en termes de processus cognitifs élaborés, Kuhl (1991) a montré que cet effet n'est pas présent chez des macaques Rhésus. Cependant, la portée de cet argument peut être relativisée étant donné la taille assez petite de l'échantillon (6 singes).

Enfin, concernant l'approche électro-encéphalographique de cette question, il n'existe à notre connaissance que deux tentatives de réplification de l'effet d'aimant perceptif en potentiels évoqués (Aaltonen, Eerola, Hellström, Uuispaikka, & Lang, 1997; Sharma & Dorman, 1998). Seuls Aaltonen et collègues ont pu mettre en évidence un effet d'aimant perceptif à la fois à partir de données comportementales et de potentiels évoqués. Toutefois, l'effet est restreint aux seuls participants considérés comme de « bons catégorisateurs ». Afin de contribuer à une meilleure compréhension du niveau de traitement dont l'effet d'aimant perceptif relève, il semble donc essentiel d'apporter des

compléments à l'étude de la distorsion de l'espace acoustique qui caractérise l'effet d'aimant perceptif, au moyen de données comportementales, mais aussi électrophysiologiques. C'est pourquoi nous avons mené deux expériences pilotes permettant d'apporter quelques réponses préliminaires. Les données présentées ici relèvent de l'étude comportementale.

## 2 Expériences

### 2.1 Principe des expériences

L'objectif des deux expériences de discrimination est de répliquer l'effet d'aimant perceptif avec des voyelles du français, et en prenant soin d'éviter ou de contourner certains biais que nous venons d'évoquer. Tout d'abord, alors que les études classiques utilisent un même stimulus comme prototype pour tous les participants, nous tenons compte de la variabilité inter-individuelle de ces prototypes en testant chaque participant avec son prototype. Ensuite, pour éviter le biais méthodologique relevé par Lotto et ses collègues (Lotto et al., 1998), nous avons utilisé deux prototypes de catégories différentes, ceci dans chaque expérience. Enfin, nous avons testé l'effet d'aimant perceptif non seulement sur des voyelles quantiques (/a/ et /i/) mais aussi sur des voyelles non quantiques (/ɛ/ et /e/).

### 2.2. Méthode

**2.2.1 Participants** Huit jeunes adultes (7 femmes, 1 homme) de langue maternelle française et non bilingues ont participé à l'Expérience 1. Sept autres jeunes adultes (5 femmes, 2 hommes) remplissant les mêmes critères ont participé à l'Expérience 2.

**2.2.2. Détermination des prototypes individuels de voyelles.** Les voyelles prototypiques des Expériences 1 et 2 ont été estimées indépendamment pour chaque participant à partir d'un algorithme de détermination de prototypes (i.e., meilleur exemplaire d'une catégorie) décrit dans Benders and Boersma (2009). Cet algorithme estime les valeurs des deux premiers formants des prototypes vocaliques, au moyen d'une tâche de comparaison. Le participant entend une succession de deux voyelles synthétiques et choisit celle qui se rapproche le plus de la voyelle cible indiquée par la consigne. Après chaque réponse, l'algorithme se base sur le choix qui vient d'être fait pour ré-estimer deux nouveaux exemplaires situés dans la direction de la réponse précédente. Il réduit à chaque fois l'espace en Bark entre les deux exemplaires, et par conséquent leur distance avec le prototype qui émerge progressivement. L'algorithme estime alternativement les valeurs de F1 et de F2 en tenant compte à chaque essai de la dernière estimation effectuée sur l'autre formant. Les premiers stimuli présentés constituent les extrémités du continuum sur lequel peut se trouver le prototype. Pour chaque formant, lorsque la distance entre les stimuli présentés atteint un seuil de différence non perceptible (Kewley-Port & Watson, 1994), l'algorithme estime la valeur formantique du prototype du participant comme étant le milieu des deux dernières valeurs formantiques estimées.

À partir de ces voyelles prototypiques estimées pour chaque participant, des continua de

6 voyelles entre /a/ et /ε/ (Expérience 1) et entre /i/ et /e/ (Expérience 2) ont été constitués. Dans chaque continuum, les voyelles différaient entre elles uniquement au niveau des fréquences de F1 et F2. De plus, chaque voyelle était séparée de ses voisines par une distance constante en Bark.

**2.2.3. Procédure.** Dans l'Expérience 1 comme dans l'Expérience 2, les participants effectuaient une tâche de discrimination en répondant « identique » ou « différent » (*same/different roving discrimination task*) pour un couple d'items voisins sur les continuums préalablement constitués. Dans chaque expérience, 5 conditions étaient manipulées, chacune correspondant à une position du couple de voyelles sur le continuum (voir Table 1). La liste de couples proposée contenait pour chaque expérience 40% d'items pour lesquels la réponse attendue était « identique » et 60% d'items pour lesquels la réponse attendue était « différent ». La liste complète propose 210 couples dans l'une et l'autre expérience, la durée de chacune étant de 20 minutes.

Condition	Items identiques (40 %)	Items différents (60 %)
Condition 1	1-1 / 2-2	1-2 / 2-1
Condition 2	2-2 / 3-3	2-3 / 3-2
Condition 3	3-3 / 4-4	3-4 / 4-3
Condition 4	4-4 / 5-5	4-5 / 5-4
Condition 5	5-5 / 6-6	5-6 / 6-5

Table 1 – Rang des voyelles (de 1 à 6) sur le continuum, impliquées dans chaque condition de la tâche de discrimination. Les voyelles 1 et 6 sont les voyelles prototypiques.

## 2.2 Résultats et discussion

L'hypothèse d'un effet d'aimant perceptif prédit des taux de discrimination plus faibles autour des prototypes (i.e., conditions 1 et 5) que plus loin des prototypes (i.e., conditions 2 et 4). Des indices de sensibilité non paramétriques ( $A'$ ) ont été calculés pour chaque condition à partir de la Théorie de la détection du signal (Green & Swets, 1966). Une analyse de la variance non paramétrique (test de Kruskal-Wallis) ne montre pas d'effet significatif du facteur condition sur l'indice  $A'$ , et ce ni dans l'Expérience 1 avec les voyelles /a/~ /ε/ ( $\chi^2 = 3.87$ ;  $d.f. = 4$ ;  $p = 0.42$ ), ni dans l'Expérience 2 avec les voyelles /i/~ /e/ ( $\chi^2 = 0.54$ ;  $d.f. = 4$ ;  $p = 0.97$ ). La figure 1, qui résume la distribution des valeurs de  $A'$  pour chaque condition de l'Expérience 1 (/a/~ /ε/), présente néanmoins des caractéristiques intéressantes :

Tout d'abord, il paraissait logique de penser que la frontière entre les catégories /a/et/ε/ se situait à mi-chemin entre les deux voyelles prototypes, ce qui correspondrait à la condition 3. L'indice de sensibilité aurait dû alors présenter un pic en condition 3. L'absence de pic de sensibilité dans cette condition indique cependant que la frontière catégorielle n'est pas située à cet endroit. Il apparaît donc désormais nécessaire de s'assurer de la localisation effective de la frontière catégorielle avant d'interpréter les effets, afin d'éviter de conclure à un effet d'aimant perceptif alors qu'il est possible qu'il

corresponde à un simple effet de frontière. Cette remarque souligne une fois de plus la nécessité d'associer identification et discrimination pour l'étude de la perception catégorielle, la seule détermination des prototypes individuels ne pouvant s'y substituer.

Ensuite, on observe que, malgré l'absence d'effet principal du facteur condition, les valeurs médianes de  $A'$  sont plutôt éloignées pour les conditions 1 et 5. Bien que la puissance statistique d'un échantillon si faible ne permette de tirer aucune conclusion, il semble que la distorsion de l'espace perceptif autour du prototype de /a/ (condition 1) ne soit pas équivalente à celle de l'espace perceptif autour du prototype de /ε/ (condition 5). La sensibilité autour de ce prototype quantique serait donc moins importante que celle autour du prototype non quantique. Avec la réserve qu'il convient d'avoir pour une différence qui n'atteint pas le seuil de significativité, cette observation permet pour le moins de ne pas exclure d'emblée l'explication quantique (ou acoustique) de l'effet d'aimant perceptif. Crédibiliser cette interprétation nécessiterait de compléter l'échantillon et de déterminer la frontière catégorielle.

Nous avons par ailleurs remarqué d'importantes variations inter-individuelles. Il serait judicieux d'analyser davantage les scores individuels, et de distinguer à partir des scores globaux de catégorisation un groupe de bons et un groupe de mauvais « catégorisateurs », comme dans Aaltonen et al. (1997).

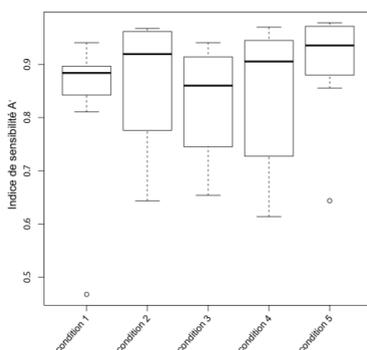


FIGURE 1 – Indice de sensibilité  $A'$  dans la tâche de discrimination de l'Expérience 1 (/a/~ /ε/).

Un dernier élément pourrait avoir influencé les scores en discrimination dans nos expériences. Les valeurs de formants varient significativement plus entre les participants pour l'estimation des voyelles /ε/ et /e/ (non quantique) que pour celle des voyelles /a/ et /i/ (quantiques), comme le montre la figure 2, surtout pour le premier formant. Globalement, les estimations des voyelles quantiques sont donc moins dispersées que celles des voyelles non quantiques comme le rapporte le tableau 2.

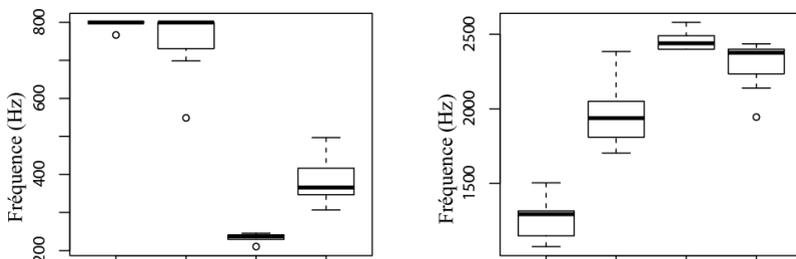


FIGURE 2 – Distribution des valeurs de formants estimées pour les voyelles prototypiques sur F1 (à gauche) et F2 (à droite).

	/a/	/ε/	/i/	/e/
/a/		* (F = 0.02; d.f. = 7,7; p = 2.21e-05)	NS (F = 0.99; d.f. = 7,6; p = 0.98)	* (F = 0.03; d.f. = 7,6; p = 0.2e-03)
/ε/	NS (F = 0.41; d.f. = 7,7; p = 0.26)		* (F = 58.41; d.f. = 7,6; p = 0.50e-05)	NS (F = 1.97; d.f. = 7,6; p = 0.43)
/i/	NS (F = 4.26; d.f. = 7,6; p = 0.97)	* (F = 10.35; d.f. = 7,6; p = 0,01)		* (F = 1.96; d.f. = 6,6; p = 0.7e-03)
/e/	NS (F = 0.596; d.f. = 7,6; p = 0.51)	NS (F = 1.44; d.f. = 7,6; p = 0.67)	* (F = 0.14; d.f. = 6,6; p = 0.03)	

Table 2 –Tests d'égalité des variances pour l'estimation des valeurs formantiques des voyelles prototypiques sur F1 (police normale) et F2 (en gras) pour les voyelles utilisées dans les deux expériences (\* : significatif avec  $p < 0.05$ , NS : non significatif).

## Conclusion

Ces deux expériences pilotes n'ont pas répliqué l'effet d'aimant perceptif. Elles en relativisent donc le caractère systématique. Au-delà de cette absence d'effet toujours délicate à interpréter, nos résultats présentent des aspects intéressants qui suggèrent que l'effet d'aimant perceptif pourrait davantage être expliqué par les propriétés quantiques des voyelles utilisées que par un effet de plus haut niveau lié à l'acquisition du langage. Toutefois, le faible échantillon utilisé ne permet pas de conclure avec fermeté. Il convient donc de compléter l'échantillon, de déterminer plus précisément les frontières des catégories manipulées, et de recueillir des données en potentiels évoqués qui devraient nous renseigner sur des composantes implicites des traitements étudiés.

## Références

AALTONEN, O., EEROLA, O., HELLSTRÖM, Ä., UUISPAIKKA, E., & LANG, A. H. (1997). Perceptual magnet effect in the light of behavioral and psychophysiological data. *Journal of the*

*Acoustical Society of America*, 101, 1090-1105.

BENDERS, T., & BOERSMA, P. (2009). *Comparing methods to find best exemplar in a multidimensional space*. Paper presented at the Interspeech, Brighton.

BOGLIOTTI, C., SERNICLAES, W., MESSAOUD-GALUSI, S., & SPRENGER-CHAROLLES, L. (2008). Discrimination of speech sounds by children with dyslexia: comparisons with chronological age and reading level controls. *Journal of Experimental Child Psychology*, 101(2), 137-155.

DIESCH, E., IVERSON, P., KETTERMANN, A., & SIEBERT, C. (1999). Measuring the perceptual magnet effect in the perception of /i/ by German listeners. *Psychological Research*, 62, 1-19.

GREEN, D. M., & SWETS, J. A. (1966). *Signal detection theory and psychophysics*. New York: John Wiley & Sons.

IVERSON, P., & KUHL, P. (1995). Mapping the perceptual magnet effect for speech using signal detection theory and multidimensional scaling. *Journal of the Acoustical Society of America*, 97(1), 553-562.

IVERSON, P., & KUHL, P. K. (2000). Perceptual magnet and phoneme boundary effects in speech perception: do they arise from a common mechanism? *Perception & Psychophysics*, 62(4), 874-886.

KEWLEY-PORT, D., & WATSON, C. S. (1994). Formant-frequency discrimination for isolated English vowels. *Journal of the Acoustical Society of America*, 95(1), 485-496.

KUHL, P. K. (1991). Human adults and human infants show a "perceptual magnet effect" for the prototypes of speech categories, monkeys do not. *Perception & Psychophysics*, 50(2), 93-107.

KUHL, P. K., CONBOY, B. T., COFFEY-CORINA, S., PADDEN, D., RIVERA-GAXIOLA, M., & NELSON, T. (2008). Phonetic learning as a pathway to language: new data and native language magnet theory expanded (NLM-e). *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Section B*, 363(1493), 979-1000.

LOTTO, A. J., KLUENDER, K. R., & HOLT, L. L. (1998). Depolarizing the perceptual magnet effect. *Journal of the Acoustical Society of America*, 103, 3648-3655.

MILLER, J. L. (2001). Mapping from acoustic signal to phonetic category: Internal category structure, context effects and speeded categorisation. *Language and Cognitive Processes*, 16(5/6), 683-690.

SHARMA, A., & DORMAN, M. F. (1998). Exploration of the perceptual magnet effect using the mismatch negativity auditory evoked potential. *Journal of the Acoustical Society of America*, 104(1), 511-517.

STEVENS, K. N. (1972). The quantal nature of speech: Evidence from articulatory-acoustic data. In E. E. David, Jr. & P. B. Denes (Eds.), *Human communication: A unified view* (pp. 51-66). New York: McGraw-Hill.

STEVENS, K. N. (1989). On the quantal nature of speech. *Journal of Phonetics*, 17, 3-45.

SUSSMAN, E., & LAUCKNER-MORANO, V. J. (1995). Further tests of the "perceptual magnet effect" in the perception of [i]: Identification and change/no-change discrimination. *Journal of the Acoustical Society of America*, 97(1), 539-552.

TOMASCHEK, F., TRUCKENBRODT, H., & HERTRICH, I. (2011, 17-21 août ). *Processing german vowel quantity: categorical perception or perceptual magnet effect?* Paper presented at the ICPhS XVII, Hong Kong.