

Pour une évaluation de la compliance phonique

Kathy Huet, Myriam Piccaluga, Véronique Delvaux, Bernard Harmegnies

Institut des sciences du langage, Laboratoire de phonétique
18 place du parc, Université de Mons, B-7000 Mons, Belgique
Bernard.Harmegnies@umonts.ac.be

RESUME

L'article se centre sur la « compliance phonique », considérée comme l'aptitude du sujet à reproduire avec précision des sons de parole qui lui sont présentés en tant que modèles de réalisation. Trois techniques mathématiques sont proposées en vue d'en effectuer une évaluation objective. Une étude pilote a été réalisée pour laquelle chaque locuteur a reproduit à 6 reprises 94 voyelles synthétiques régulièrement espacées dans un espace tri-formantique aux fréquences mesurées en mels. L'objectif est d'éprouver la faisabilité des techniques de mesure en développement. Les résultats suggèrent que chacun des trois outils est sensible à la compliance ; ils soulignent la nécessité de la poursuite de recherches sur les propriétés respectives des indices, et, en conséquence, appellent au raffinement du concept.

ABSTRACT

Towards assessing phonic compliance

The paper is focused on “phonic compliance”, the ability of the subject to accurately reproduce speech sounds presented to him/her as production models. Three mathematical techniques are proposed to perform objective assessment. A pilot study is carried out on previously collected and original data. Each speaker reproduces 6 times 94 synthetic vowels regularly spaced in a mel-scale $F1 * F2 * F3$ space. The aim is to check the feasibility of the assessment tools under development. Results suggest that each mathematical tool is sensitive to compliance; they emphasize the interest of further research on the specific properties of the tools and call for the refinement of the concept.

MOTS-CLES : compliance phonique, talent, aptitude, capacité, adaptabilité

KEYWORDS : phonic compliance, talent, aptitude, ability, adaptability

1 Introduction

Dans le cadre des recherches mises en œuvre par notre Laboratoire sur le développement de nouveaux régimes de contrôle phonétique, nous nous interrogeons sur les actions à développer en vue de faciliter l'appropriation par le sujet de schèmes perceptuels et productifs différents des siens propres. Ces travaux reproduisent artificiellement des conditions proches des situations écologiques d'enseignement/apprentissage des langues étrangères, où le locuteur d'une L1 appréhende le système phonologique d'une L2 qu'il a le projet d'apprendre. La différence essentielle entre ces situations écologiques et nos situations de laboratoire est bien entendu le contrôle des variables, en particulier des variables indépendantes. Parmi celles-ci, ce sont les variables *actionnelles* (celles dont la variation est due à l'application, par nous, d'un traitement spécifique) qui constituent l'objet principal de nos études. Leur utilisation est destinée à produire un *shaping* du

traitement de la matière phonique par les sujets. Par exemple, plusieurs expériences impliquant des sujets francophones natifs ayant à percevoir et/ou à produire des plosives à VOT longs (inexistants en français) ont investigué l'effet d'actions tant sur le signal acoustique proposé comme modèle (variations de l'intensité du burst et de la durée du VOT du stimulus, etc. : Piccaluga et al., 2012) que sur le sujet lui-même (guidage de l'attention, manipulation du feedback, etc. : Brohé et al., 2012). Même si bon nombre d'autres variables potentiellement actives (langue maternelle des sujets, autres langues maîtrisées, statut socio-culturel, etc.) sont par ailleurs étroitement contrôlées, les résultats obtenus à la faveur de ces études révèlent une très considérable variabilité interindividuelle. L'une des sources de celle-ci pourrait résider dans une disposition intrinsèque du sujet lui permettant plus ou moins d'adaptabilité aux modèles proposés, et expliquant dès lors la plus ou moins grande sensibilité des locuteurs aux actions de *shaping* mises en œuvre.

L'idée que certains locuteurs sont intrinsèquement plus (ou mieux) capables que d'autres d'exécuter une tâche phonique donnée est très banale: elle renvoie autant à l'expérience de l'apprenant en classe de langues qu'à l'expertise du formateur en langue étrangère, et est très tôt investie par les concepts développés par la littérature classique en matière d'enseignement-apprentissage des langues étrangères (*auditory ability* : Pimsleur, 1966 ; voire *phonetic coding ability* , l'une des quatre composantes de la *language aptitude* : Carroll, 1959). Plus récemment, est apparue la notion de *talent phonétique* (Jilka et al., 2007 ; Dogil & Reiterer, 2009). Elle renverrait à une disposition innée caractérisant des sujets témoignant de hautes capacités linguistiques, mais susceptible d'être différenciée d'autres composantes comme, par exemple, le talent grammatical. Si a priori, le concept paraît séduisant, il convient cependant de noter que l'étude objective du talent ainsi considéré se heurte à la difficulté d'identifier, dans les productions ici et maintenant d'un sujet donné, la part propre à ce « talent » initial et celle relevant des diverses variables en interaction qui ont assuré le développement langagier du sujet et influent aujourd'hui encore sur lui. De l'aveu de Jilka (2009, p. 41), « there is no experimental method that directly assesses exclusively phonetic talent but (...) it must be approximated via the combination of many different tests ». Le concept est par ailleurs problématique, dans la mesure où dans le domaine de la psychologie différentielle, on tend à dénommer « don » ce bagage fonctionnel initial supposé et « talent » une maîtrise acquise à la faveur d'un entraînement systématique au départ de la « douance » (ensemble d'habiletés naturelles se manifestant spontanément) (Gagné, 2003). Cette conception du talent s'assortit souvent, par ailleurs, de considérations relatives au caractère exceptionnel des capacités avérées. Pour Schneiderman et Desmarais (1988), le talent de l'apprenant de langue étrangère se distingue ainsi de l'aptitude langagière et se définit comme une capacité rare (5% de la population adulte) d'atteindre une maîtrise similaire à celle du natif. Enfin, la littérature ne fait guère état de modes d'évaluation convaincants de ces dispositions intrinsèques, tout au plus approchées par le biais d'évaluations subjectives réalisées par des natifs d'une langue très éloignée de celle du sujet (Reiterer et al., 2011). Ces instabilités conceptuelles, ainsi que ces faiblesses méthodologiques nous ont amenés à opter pour une conception pragmatique, dépourvue d'hypothèses fortes telles que celles relatives à l'innéité, appuyée sur les connaissances actuelles en matière de psycholinguistique et surtout susceptible de permettre des évaluations non subjectives.

Nous nous centrons ainsi sur la capacité spontanée du sujet adulte à réussir avec plus ou

moins de succès des productions vocales ressemblant objectivement à des modèles auxquels il est exposé. Nous posons que cette capacité varie d'un individu à l'autre et qu'elle peut être appréhendée en termes de gradient. Dans la mesure où cette caractéristique du sujet exprime sa capacité à se départir de ses structures fonctionnelles propres et à manifester des comportements vocaux en étroite adéquation avec d'autres spécificités systémiques, nous y référons par le terme de *compliance phonique*. Cet article a pour but d'affiner le concept et d'en éprouver la validité par la confrontation aux nécessités de la quantification en contexte expérimental. Dans le cadre de cette étude exploratoire, nous nous limitons aux vocoïdes traités par des sujets francophones.

2 Procédure expérimentale

2.1 Recueil des observations acoustiques

Le dispositif expérimental utilisé s'inspire de celui d'une expérience précédente (Delvaux et al., 2011). Quatre personnes (2 hommes, 2 femmes) ont été soumises à une tâche de répétition de 94 vocoïdes synthétiques, générés au moyen d'un synthétiseur de Klatt (1980) et régulièrement espacés dans un espace $F1 * F2 * F3$ aux fréquences mesurées en mels ($F1$: de 344 à 821 mels par pas de 95,4 mels ; $F2$: de 859 à 1640 mels par pas de 111,5 mels ; $F3$ de 1602 à 1876 mels par pas de 92,3 mels). Chaque locuteur a réalisé six productions de chacun des 94 stimuli et, par ailleurs, produit 10 réalisations de chacune des 10 voyelles orales du français. Nous disposons donc, dans le cadre de la présente étude, de 2656 sons de parole. Chacun des sons ainsi recueillis a fait l'objet d'une évaluation de ses trois premiers formants au départ d'une procédure automatisée recourant à l'algorithme de traçage formantique de Praat, avec supervision et corrections éventuelles par deux experts.

2.2 Approches métrologiques

Dans cette section, nous développons plusieurs pistes de quantification du concept de compliance. Chacun des trois indices qui seront développés participe d'un regard spécifique sur la notion et en opère une quantification particulière. Dans la section ultérieure, chacune des formules élaborées sera appliquée sur les données recueillies à titre exploratoire.

Fondamentalement, la notion de compliance nous amène à scruter la capacité du sujet à produire des sons similaires à ceux qui lui ont été présentés. Si le sujet est compliant, ses productions ne doivent être influencées que par les caractéristiques acoustiques des stimuli qui lui sont présentés. Afin de mathématiser cette conception, nous pouvons considérer que le stimulus et la production résultant de la tentative d'imitation de ce dernier correspondent à des lieux dans un espace acoustique : nous nous interrogeons alors sur la proximité des lieux stimulus et réponse. La performance est d'autant meilleure que ces lieux sont, globalement, proches les uns des autres. Concrètement, les dimensions de cet espace sont les formants vocaliques (la dimensionnalité de l'espace étant dictée par le nombre de formants pris en considération), et les coordonnées des stimuli et des réponses sont les fréquences de leurs formants respectifs. La dissimilarité entre stimulus et réponse peut alors être appréciée par la distance euclidienne entre le point stimulus et le point réponse. Plus cette distance tend vers zéro, plus la réponse est

proche du stimulus. Soit F_i , la valeur du $i^{\text{ème}}$ formant exprimée en mels, dans un espace acoustique à I formants, cette distance D est donnée par :

$$D = \left[\sum_{i=1}^I (F_{i_{ps}} - F_{i_s})^2 \right]^{1/2}$$

Globalement, la qualité de la performance peut donc être évaluée par la somme de ces distances, pour tous les S stimuli du dispositif expérimental et toutes les P tentatives de reproduction de chaque stimulus. Ceci nous donne le premier de nos trois indices, dont la valeur est d'autant plus petite que la performance est globalement de qualité.

$$I1 = \sum_{s=1}^S \sum_{p=1}^P \left[\sum_{i=1}^I (F_{i_{ps}} - F_{i_s})^2 \right]^{1/2}$$

Dans cette approche, on mesure, au fond, à quel point la réponse est « attirée » par le modèle. On sait cependant que l'espace psycholinguistique des voyelles n'est pas homogène, certaines de ses zones étant caractérisées par la présence d'attracteurs qui, mutatis mutandis, exercent une sorte d'effet gravitationnel connu sous le nom d'*effet d'aimantation perceptuelle* (Kuhl, 1991). En d'autres termes, lorsque notre locuteur produit un son, c'est certes sous l'effet de l'attraction qu'exerce sur ce dernier le modèle à reproduire, mais c'est également sous l'effet des forces d'attraction qui, dans cette zone de l'espace, résultent de la structure de son système phonologique personnel. De ce point de vue, un sujet compliant à la tâche de reproduction est un sujet dont les réalisations sont attirées beaucoup plus par les cibles stimuli que par les divers phénomènes d'aimantation perceptuelle liés à son système phonologique propre. Si tel est le cas, la dispersion de ses productions autour d'un point stimulus dans l'espace vocalique doit être constante. Si au contraire, la dispersion est plus ou moins grande dans une zone donnée, c'est que des zones d'aimantation perceptuelle liées au système phonologique y exercent des influences locales et mettent en place un système de contraintes différent du treillis des stimuli qui eux, balayent de manière régulière, et avec une granularité plus fine que celle des espaces phonologiques, l'espace acoustique de référence. L'indice I2 est ainsi bâti sur l'évaluation de la variabilité des variances des distances euclidiennes entre modèle et réponse à l'intérieur de chacun des clusters formés par l'ensemble des réalisations découlant de la tentative d'imitation d'un stimulus donné (avec var_p , la variance des P distances euclidiennes au sein d'un cluster centré sur un stimulus s donné et var_s , la variance des S variances ainsi calculées).

$$I2 = \text{var}_S \left(\text{var}_p \left(\left[\sum_{i=1}^I (F_{i_{ps}} - F_{i_s})^2 \right]^{1/2} \right) \right)$$

Dans le cadre de cette approche, l'existence d'un système phonologique dans les représentations du sujet est au fond considérée comme un élément perturbateur de son comportement. Ce n'est, à la limite, que si aucune influence de système phonologique ne se fait jour, que le sujet sera considéré comme parfaitement compliant. Ce ne sont donc pas ici les caractéristiques du système phonologique qui sont prises en compte, mais bien son existence. Dans notre troisième approche, nous articulons, au contraire, le raisonnement, autour des caractéristiques intrinsèques du sujet. Ici, la disponibilité des

informations sur les voyelles-phonèmes est capitale, puisqu'elle constitue la base du raisonnement. Partant de la connaissance du système du sujet, on va en effet pondérer ses performances de reproduction de stimuli en fonction de l'originalité des productions par rapport à ses habitudes phoniques. Ici, V point de l'espace acoustique sont pris en considération : chacun est le centroïde du cluster formé par les réalisations des phonèmes voyelles et a pour coordonnées les moyennes des valeurs formantiques observées sur ces réalisations \overline{Fi}_v . La distance entre stimulus et réalisation va alors être pondérée par un facteur exprimant l'éloignement de la réalisation par rapport aux clusters vocaliques du système du sujet. Celui-ci n'est autre que le produit des distances réalisation-centroïdes ; ce terme est d'autant plus grand que la réalisation est éloignée des clusters en général : la coïncidence topologique entre une réalisation donnée et un seul centroïde de cluster suffit à l'annuler. Puisque la pondération par ce terme fonctionne comme une récompense, il faut bien sûr que la quantité pondérée soit grande quand le résultat est bon et vice-versa : c'est cette considération qui nous a amenés à affecter d'un exposant négatif la distance euclidienne ; c'est donc l'inverse de cette dernière qui est magnifié par le facteur d'éloignement, ce qui donne un indice I3 grand quand la compliance est bonne et vice-versa.

$$I3 = \sum_{s=1}^S \sum_{p=1}^P \left\{ \left[\sum_{i=1}^F (Fi_{ps} - Fi_s)^2 \right]^{-1/2} \prod_{v=1}^V \log \left[\sum_{i=1}^F (Fi_{ps} - \overline{Fi}_v)^2 \right]^{1/2} \right\}$$

Ces trois indices de compliance ont été calculés sur l'ensemble de nos données, ce qui implique, pour l'implémentation de nos formules que $P = 6$ et $S = 94$: les sujets ont répété 6 fois la tâche de reproduction des 94 stimuli synthétisés. L'espace acoustique tridimensionnel dans lequel nous avons travaillé impose que l'indice i varie de 1 à 3 ($I = 3$). Le calcul de l'indice I3 demande d'évaluer la distance entre chaque réalisation et la moyenne de chaque cluster vocalique du système du sujet (10 voyelles du français), cela pose donc que $V = 10$.

3 Résultats

La table 1 donne les résultats obtenus pour les quatre sujets aux trois indices de compliance phonique I1, I2 et I3 ainsi que le rang obtenu par chaque locuteur en termes de compliance phonique ('1' = le plus compliant).

Locuteur	I1		I2		I3	
	Valeur	Rang	Valeur	Rang	Valeur	Rang
S1	112709,29	3	3871,90	3	34912,39	4
S2	122050,21	4	7475,00	4	42285,54	3
S3	83569,88	2	2457,50	2	45083,21	2
S4	77422,46	1	1551,86	1	49293,68	1

TABLE 1 - Valeur des indices I1, I2, I3 pour les 4 locuteurs.

Malgré la diversité des approches métrologiques proposées et des conceptions de la compliance qui les sous-tendent, les résultats en termes de rang sont notablement convergents. On observe en effet que dans les trois cas, S4 fait figure de sujet le plus compliant, et S3 vient régulièrement en deuxième position, quel que soit l'indice. Les

sujets 3 et 4 sont systématiquement les deux derniers pour tous les indices, et la seule différence est due au fait que I3 place en dernière position S1, alors qu'il apparaît avant-dernier tant pour I1 que pour I2. Il convient également de noter que les deux sujets masculins S3 et S4 sont classés devant les deux sujets féminins S1 et S2. La séparation en deux groupes est particulièrement nette pour I1.

L'indice I2 aboutit au même rangement des quatre locuteurs que I1. Dans le cas de I2 cependant, S2 a une performance nettement inférieure à celle des trois autres sujets. Les résultats obtenus sont illustrés sur la figure 1. La variabilité des variances intra-cluster (variance des distances entre le modèle et les 6 reproductions) est beaucoup plus importante pour S2 que pour les trois autres locuteurs : pour certains stimuli, cette variance est grande, marquant une production instable, alors que la variance est petite pour d'autres stimuli ; ceci aboutit à une grande variabilité des variances et donc à une valeur élevée pour I2. A l'opposé, S4 fait montre d'une grande stabilité pour l'ensemble de ses productions, d'où son rang 1 pour cette indice.

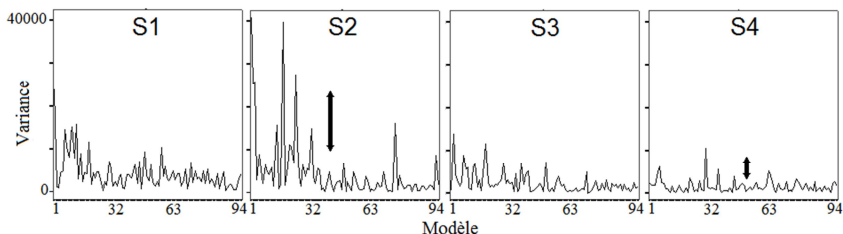


FIGURE 1 - Variance des distances intra-cluster en fonction du modèle, pour les 4 locuteurs.

La comparaison entre les productions des locuteurs masculins S3 et S4 (Fig.2) permet d'illustrer les différences de performances capturées par l'indice I3. On constate que les voyelles produites par S3 en tentant de reproduire les modèles présentés s'agglutinent en grappes dans certaines zones de l'espace vocalique. Ces zones peuvent être mises en rapport avec les réalisations des voyelles du français produites par S3 (Fig.2), avec une prépondérance des deux voyelles centrales. En comparaison, les voyelles réalisées par S4 sont mieux réparties dans l'ensemble de son triangle vocalique, et cette aptitude à quitter son territoire familier est récompensée par la pondération utilisée dans l'indice I3. L'indice I3 est également le seul qui relègue S1 au dernier rang de la hiérarchie des quatre locuteurs évalués en termes de compliance phonique (Table 1).

Si l'on compare les valeurs obtenues pour S1 et S2 aux trois indices I1, I2, I3, une interprétation possible est que S2 est une locutrice qui prend « plus de risques » au cours de la tâche de reproduction des modèles phoniques qui lui sont présentés. Ce faisant, elle quitte plus volontiers son territoire familier (et en est récompensée via l'indice I3), mais ses succès ne sont que relatifs et la somme totale des distance entre cibles et reproductions reste supérieure à celle calculée pour S1 (indice I1). Par ailleurs, ces « excursions » en territoire non familier augmentent la variabilité des variances telle que mesurée par l'indice I2. Inversement, S1 présenterait le profil d'un sujet féminin globalement plus en contrôle de ses productions (indice I2), plus efficace (indice I1), mais adoptant pour cela des productions moins éloignées de ses habitudes phoniques en I1 (indice I3).

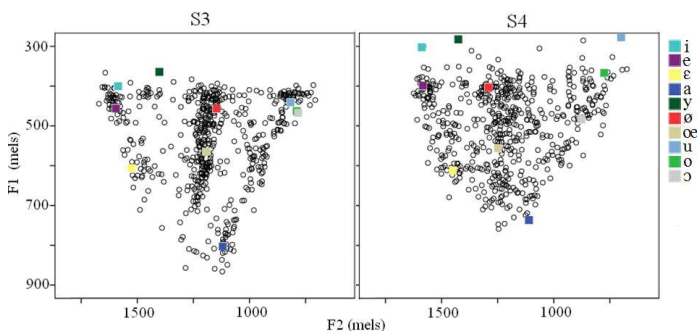


FIGURE 2 - Valeurs de F1 et F2 (mels) au cours de la tâche de reproduction (6*94 voyelles) (en noir) ; centroïdes des 10 phonèmes-voyelles orales du français (en couleur) ; pour les deux locuteurs masculins S3 et S4.

Discussion

Dans cet article, nous étudions la compliance phonique, que nous définissons comme l'aptitude, variable d'un individu à l'autre, à réaliser des productions vocales ressemblant objectivement à des modèles auxquels il est exposé. Nous renonçons à dessein à investiguer les causes - multiples, agissant en interaction, et sur un déroulement temporel inévitablement long - de la variabilité inter-individuelle, ou encore à en retracer l'origine jusqu'à un hypothétique don initial inégalement réparti, afin de nous consacrer avec pragmatisme sur l'évaluation objective de ladite variabilité. A travers l'approche métrologique adoptée, trois visions de la compliance phonique sont proposées, à la fois différentes et complémentaires.

Le point de départ (I1) est l'évaluation globale de la distance entre modèles et reproductions. L'avantage de I1 est de rester très proche de la tâche. On peut néanmoins qualifier I1 de vision « phonétique », quelque peu restrictive de la compliance phonique, dans la mesure où l'on ne tient pas compte de l'existence du système phonologique du locuteur. Le système phonologique fournit des lieux de l'espace (ici vocalique) qui sont à la fois aimants perceptuels (Kuhl, 1991) et réalisations phonétiques privilégiées, deux dimensions prises en compte par les indices I2 et I3. I2 permet d'aborder la compliance phonique sous l'angle du contrôle phonétique. Les locuteurs compliants sont ceux qui parviendront à maintenir à distance les phénomènes perturbateurs (p.ex. d'aimantation perceptuelle) liés à la structuration spécifique de leur système phonologique en L1 ; en conséquence, ils parviendront à maintenir relativement constante la dispersion de leurs productions autour d'un stimulus dans l'espace vocalique, et ce, quel que soit le lieu de ce stimulus par rapport aux phonèmes de leur L1. Ici, nous considérons la variabilité phonétique non comme du simple bruit mais comme source potentielle d'information ; la faible variance des variabilités est indicatrice de comportement phonétique contrôlé. Pour les premières données testées ici, on peut constater dans la Fig.1 à quel point l'indice I2 complète l'évaluation, en l'occurrence modérée, de la compliance phonique de S2 par rapport à l'indice I1 : non seulement la distance acoustique globale entre reproductions et cibles est importante (I1), mais en plus le sujet témoigne d'une certaine inconstance (variabilité des variances ; I2). S4 présente un profil inverse.

I3 a été élaboré de façon à récompenser les comportements qui s'éloignent des habitudes

phoniques des locuteurs au cours de la tâche de reproduction. On considère ici que le locuteur compliant est celui qui est capable de s'approcher au plus près de la cible surtout lorsque celle-ci est éloignée des réalisations phonétiques les plus fréquentes en L1. Bien que les premiers résultats soient prometteurs (voir le comportement contrasté S3-S4, récompensé en conséquence par I3), la mathématisation pourrait sans doute ici être raffinée. Le poids relatif à attribuer au facteur récompensant l'originalité de la reproduction, par rapport à la distance acoustique cible-reproduction, mériterait d'être examiné, de même que la variance des productions autour du centroïde en L1.

De façon plus générale, le fondement de notre quantification demeure la distance acoustique entre les modèles et les reproductions. Or, force est de constater que les sujets ne sont pas égaux devant la tâche. Puisque les stimuli avaient des valeurs typiques d'une voix masculine ($F_0 = 110\text{Hz}$), on peut considérer que les sujets féminins étaient a priori 'désavantagées' par rapport à leurs collègues masculins. A titre d'exemple, le F3 du centroïde des 10 répétitions de /i/ est à 2089 mels (S1) et 2230 mels (S2), contre 1897 mels (S3) et 1802 mels (S4) alors que la valeur maximale du F3 des stimuli est de 1876 mels. En sus des traitements numériques d'aval visant à minimiser le poids des particularités individuelles (p.ex. la minimisation, par I3, des succès lorsqu'ils correspondent à des habitudes phoniques du locuteur), nous envisageons d'adapter la tâche en amont, afin d'établir une équité maximale pour tous les locuteurs-auditeurs.

En conclusion, nous avons ici entamé une recherche où la réflexion conceptuelle est nourrie par une démarche métrologique, et vice-versa. Les pistes de quantification du concept proposé de compliance phonique ont été testées sur un nombre restreint de locuteurs, amené à être élargi dans un avenir proche. Par ailleurs, la dynamique du raisonnement devrait pouvoir être étendue à tout type de son de parole/à toute langue.

Références

- BROHÉ, S., PICCALUGA, M., DELVAUX, V., HUET, K., HARMEGNIES, B. *Accepté*. Orientation sélective de l'attention et apprentissage perceptuel. In *Actes des 29e JEP 2012*.
- DELVAUX, V., HUET, K., PICCALUGA, M., HARMEGNIES, B. (2011) Assessing phonetic talent through speech production measurements. In *Proceedings ISSP Montreal*.
- DOGIL, G. ET REITERER, S. (2009). Language Talent and Brain Activity. *Trends in Applied Linguistics 1*, New York, Mouton de Gruyter.
- GAGNÉ, F. (2003). Transforming gifts into talents : The DMGT as a developmental theory. In N. Colangelo et G. A. Davis (Éds.), *Handbook of Gifted Education*, Boston, p. 60-74.
- JILKA, M., ANUFRIK, V., BAUMOTTE, H., LEWANDOWSKA, N., ROTA, G., REITERER, S. (2007). Assessing Individual Talent in Second Language Production and Perception. In *5th ISALSS. Florianópolis, Brazil*, p. 243-258.
- KUHL, P. (1991). Human adults and human infants show a "perceptual magnet effect" for the prototypes of speech categories, monkeys do not. *Percept Psychophys*, 50, 93-107.
- PICCALUGA, M., CLAIRET, S., DELVAUX, V., HUET, K., HARMEGNIES, B. (2011). Guidage perceptuel de la production en L2: Tendances générales et variabilité individuelle. *RANAM Hors série*.
- REITERER SM, HU X, ERB M, ROTA G, NARDO D, GRODD W, WINKLER S. ET ACKERMANN H (2011). Individual differences in audio-vocal speech imitation aptitude in late bilinguals: functional neuro-imaging and brain morphology. *Front. Psychology* 2:271.
- SCHNEIDERMAN, E.I. ET DESMARAIS, C. (1988). The talented language learner: some preliminary findings. *Second Language Research*, 4/2, 91-109.