

Implant cochléaire, Acquisition du Langage & Plasticité cérébrale

Jacqueline Leybaert^{1,3}, Chantal Ligny^{1,2}, Franz Schepers^{1,2},
Thierry Renglet^{1,2}, Patricia Simon^{1,4} & Anne-Laure Mansbach^{1,5}

1: Institut d'Implant Cochléaire,

2 :Centre Comprendre et Parler

3 :Université libre de Bruxelles

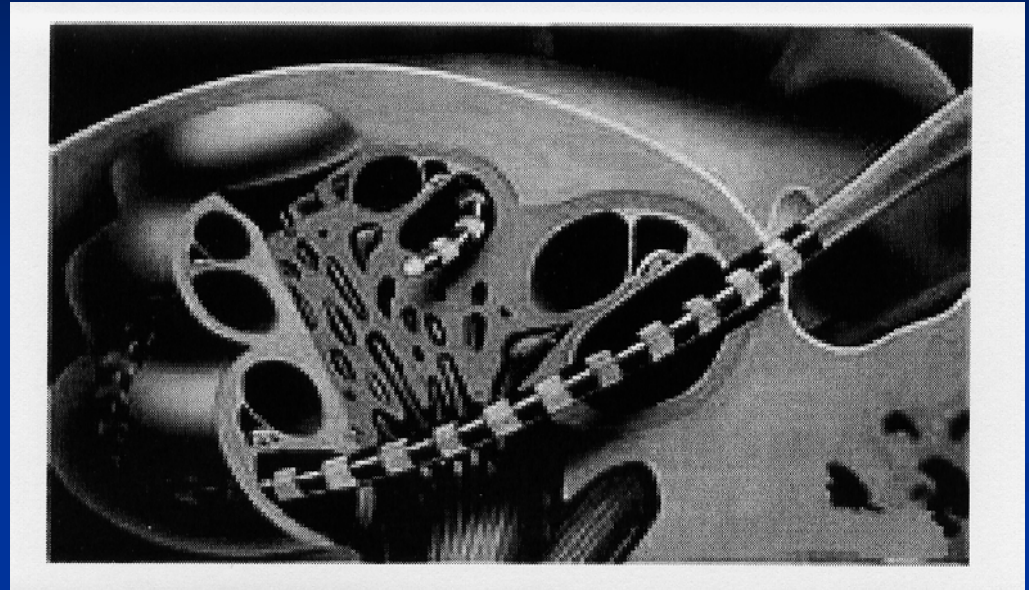
4 :Hôpital Erasme

5 : Hôpital Brugman

Avec l'aimable collaboration de N. Cochard (Toulouse)
1er Colloque Marocain Neurosciences &
Handicap 10/12/2004-11/12/2004

Insertion de l'implant dans la cochlée

Implant Cochléaire : contourne la déficience des cellules ciliées en stimulant directement le nerf auditif (insertion dans rampe tympanique)



Candidats à l'IC

adultes : sourds postlingaux avec déficit sévère à profonds et pas de gain prothétique

Enfants : sourds profonds, pas de gain prothétique, implantation de plus en plus précoce (deux ans, un an, < ...)

! ossification post-méningitique de la cochlée

Surdités progressives qui ont bénéficié de l'amplification par prothèses auditives

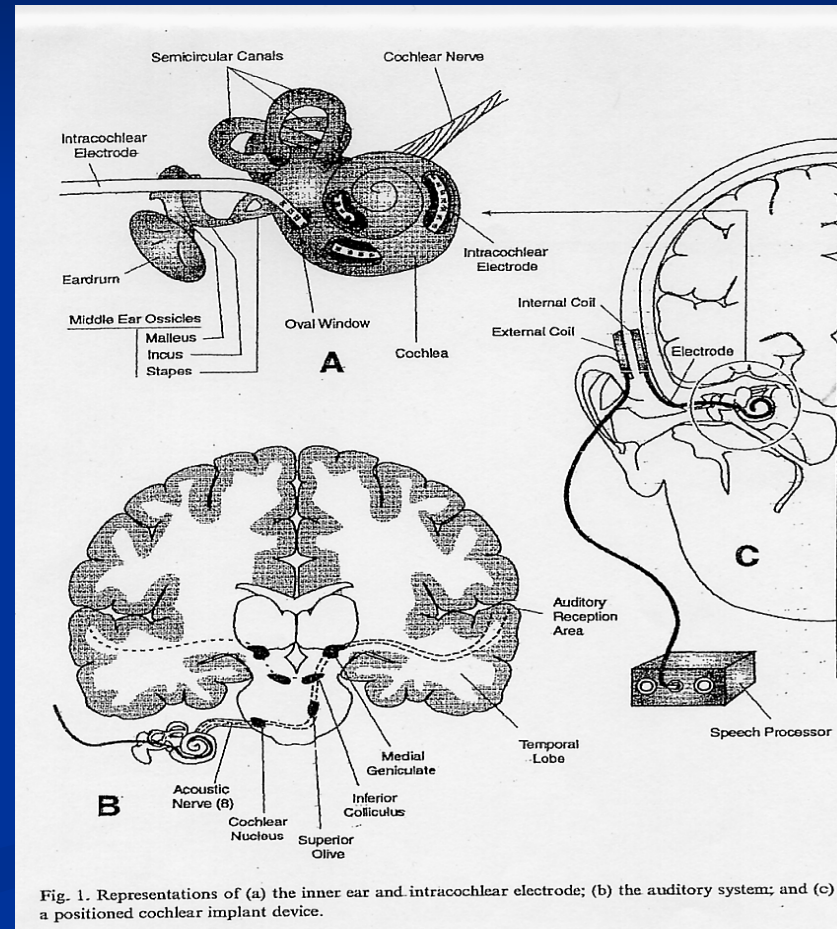
Implant Cochléaire : dispositif électro-acoustique permettant de restaurer une fonction auditive

Partie externe

Le **microphone** : capte les sons et les transmet au **processeur vocal** : analyse le son perçu et transforme l'énergie acoustique en énergie électrique

L'**émetteur**, placé en face du **récepteur-décodeur**, placé à l'intérieur de la peau du crâne, grâce à un aimant; décode les données transmises et contrôle la stimulation de chaque électrode

Electrodes (16 à 24), qui stimulent le nerf auditif. Ces activations provoquent la dépolarisation de la membrane nerveuse, remplaçant le potentiel excitateur postsynaptique des CC et la stimulation est transmise au cortex auditif.



3 à 6 semaines après l'opération, l'IC est activé par l'audiologiste, et la première stimulation électrique est testée

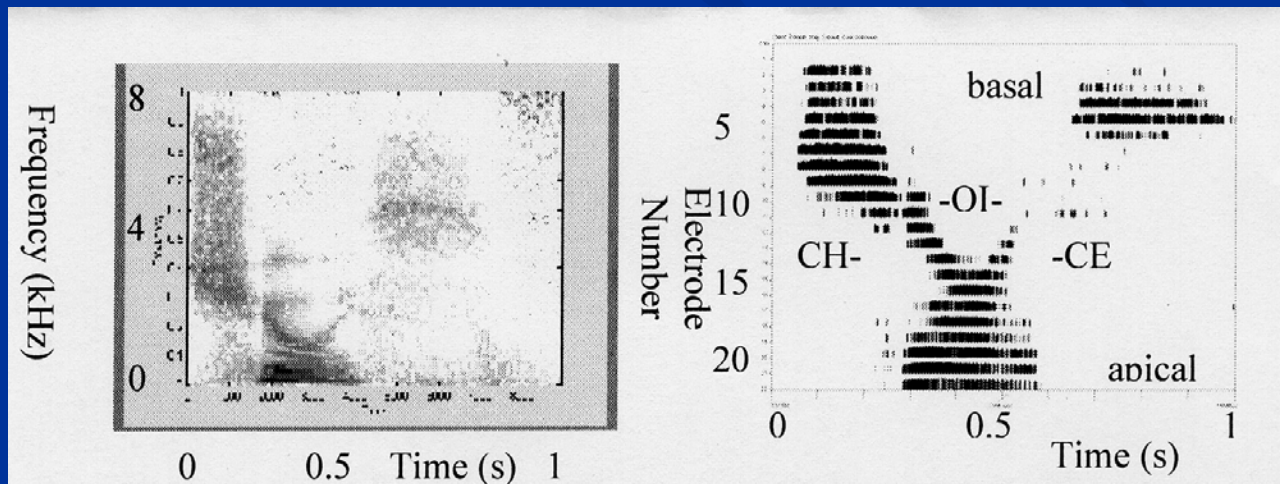
Niveau T (threshold) : pour chaque électrode, amplitude à laquelle le patient entend qq chose

Niveau C (confort) : amplitude maximale tolérée par le patient

T & C stockés dans le processeur externe, de sorte que le son soit entre ces deux valeurs

Méthodes de conversion du son en train de stimulation électrique : stratégies SPEAK, CIS, CG, ...

Electrodogramme : Distribution des impulsions délivrées aux électrodes en fonction du temps et de l'électrode



Effets de l'implant

- Les **adultes postlinguaux** doivent recréer des associations (mapping) entre les sources sonores (bruit d'ambulance, chant d'oiseaux, gouttes de pluie) et leurs perceptions
- Perception de la **parole** : grandement améliorée; **Musique** ? Recherches en cours
- Adultes **pré-linguaux** : meilleure perception des bruits de l'environnement, mais pas d'amélioration quant à la perception de la parole
- Enfants sourds **pré-linguaux** : résultats en perception et production de la parole liés à l'âge d'implantation, l'audition résiduelle pré-implant, le mode de communication, variables cognitives

Plan

- Population étudiée au Centre Comprendre et Parler (Bruxelles): caractéristiques et réinsertion sociale
- La perception de la parole se fait-elle via les mêmes circuits neuraux chez le patient IC et les entendants ?
- Développement du langage via l'IC : Y a-t-il une période critique du point de vue neural ?
- Impact de l'IC sur les représentations et habiletés cognitives : morpho-syntaxe, mémoire à court terme
- Rôle systèmes Langage Parlé Complété dans la perception de la parole via

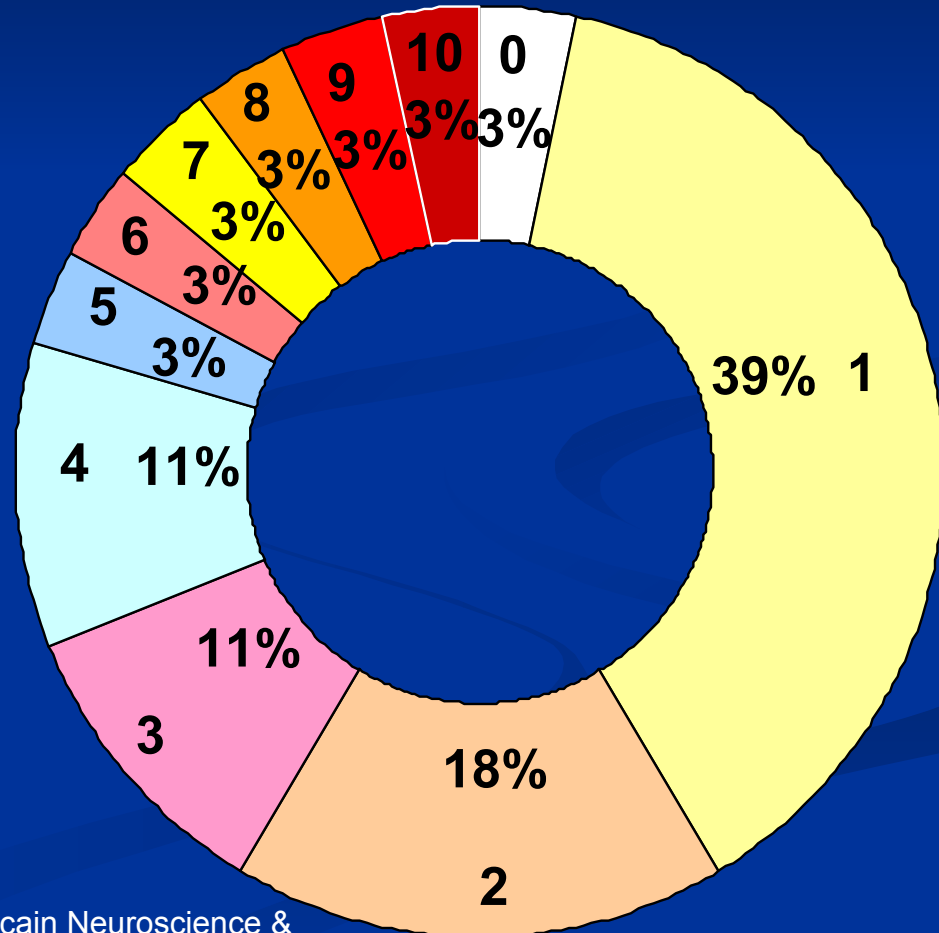
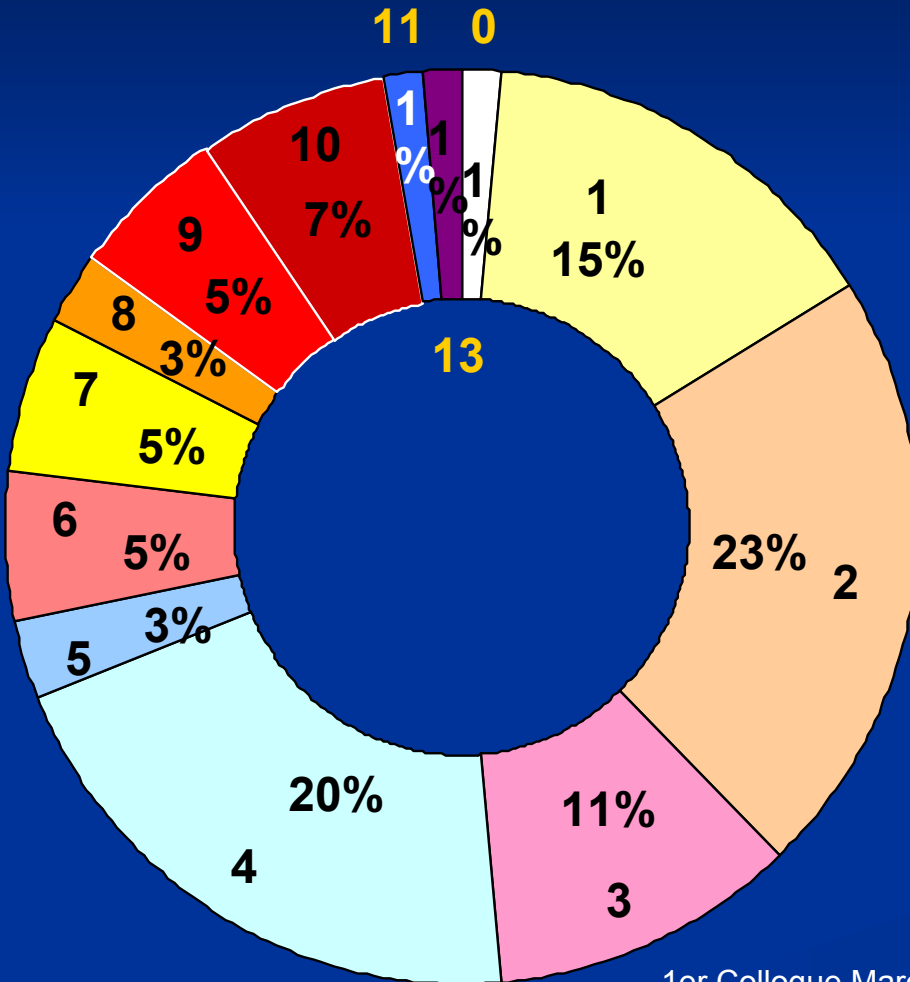
l'implant

1. La population du Centre Comprendre et Parler (Bruxelles, Belgique) : Facteurs associés au type d'enseignement

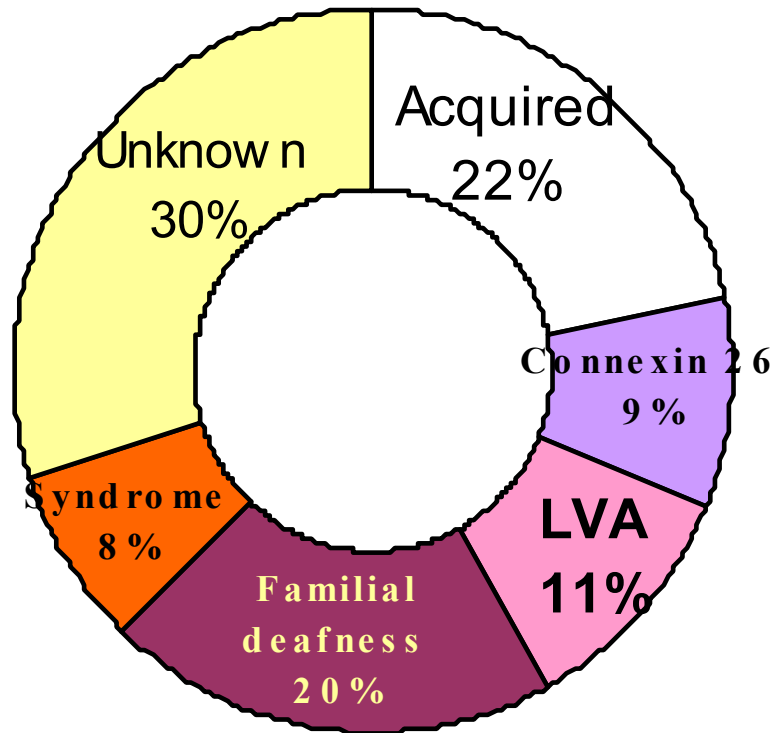
C. Ligny, Th. Renglet, F. Schepers, L. Matagne,
J. Leybaert, P. Simon, Th. Marquet, A.L.
Mansbach

Âge d'implantation
en 1993-2003
N = 74

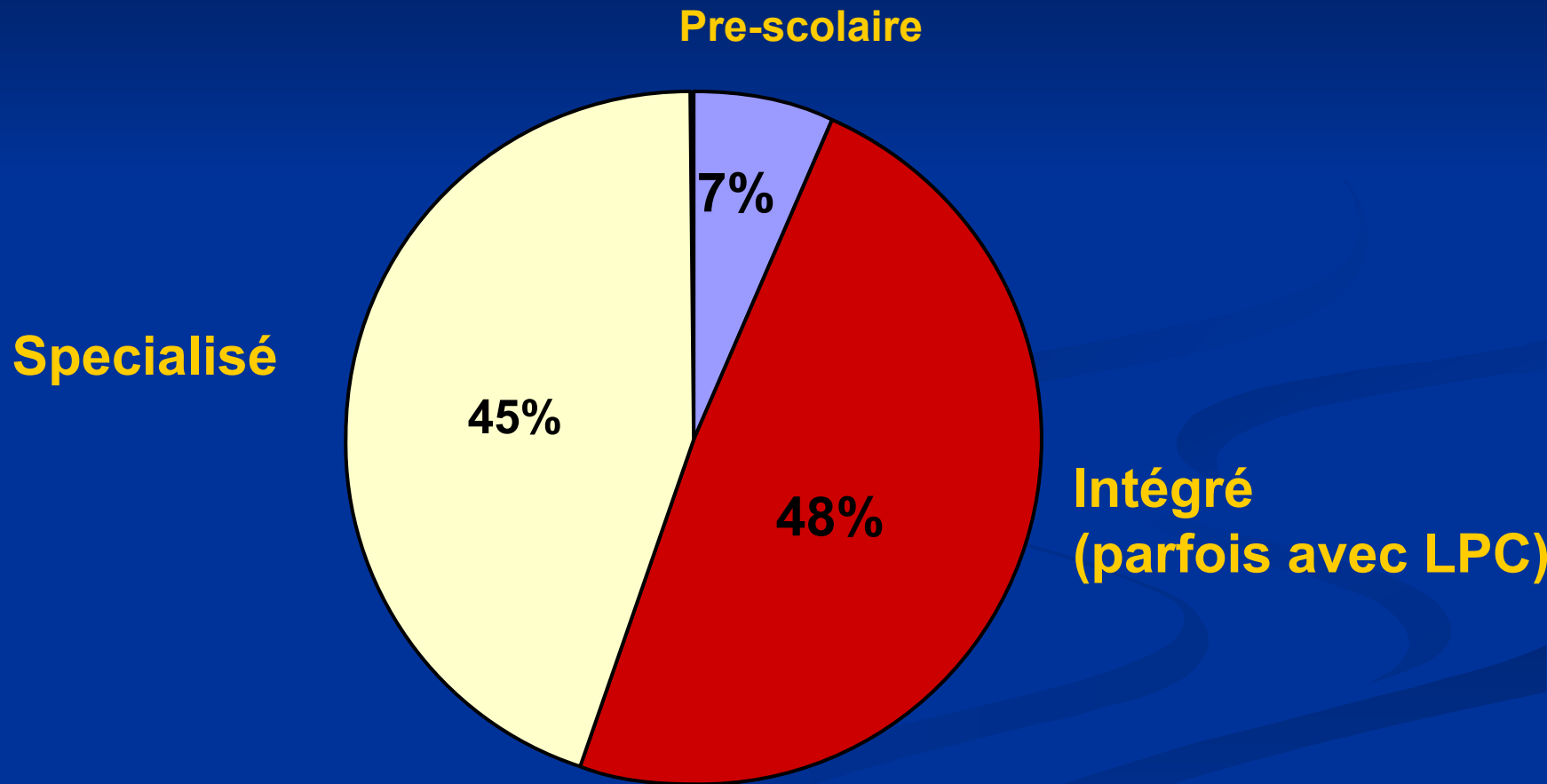
Âge d'implantation
en 2002-2003
N = 29



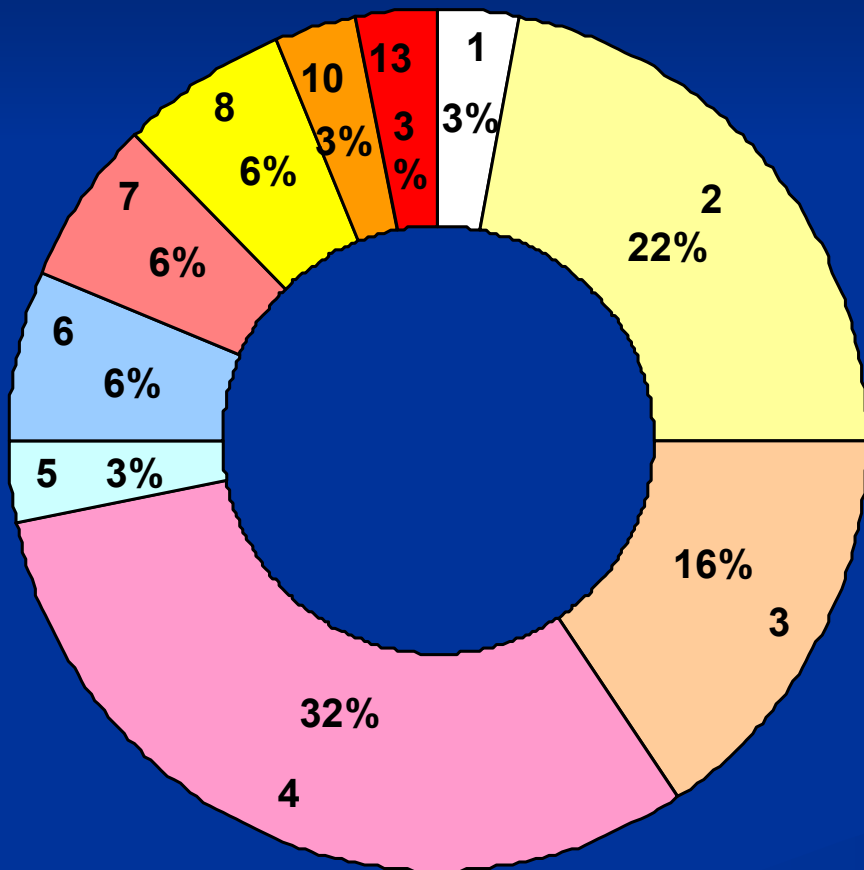
Etiologie de la surdité chez les enfants implantés



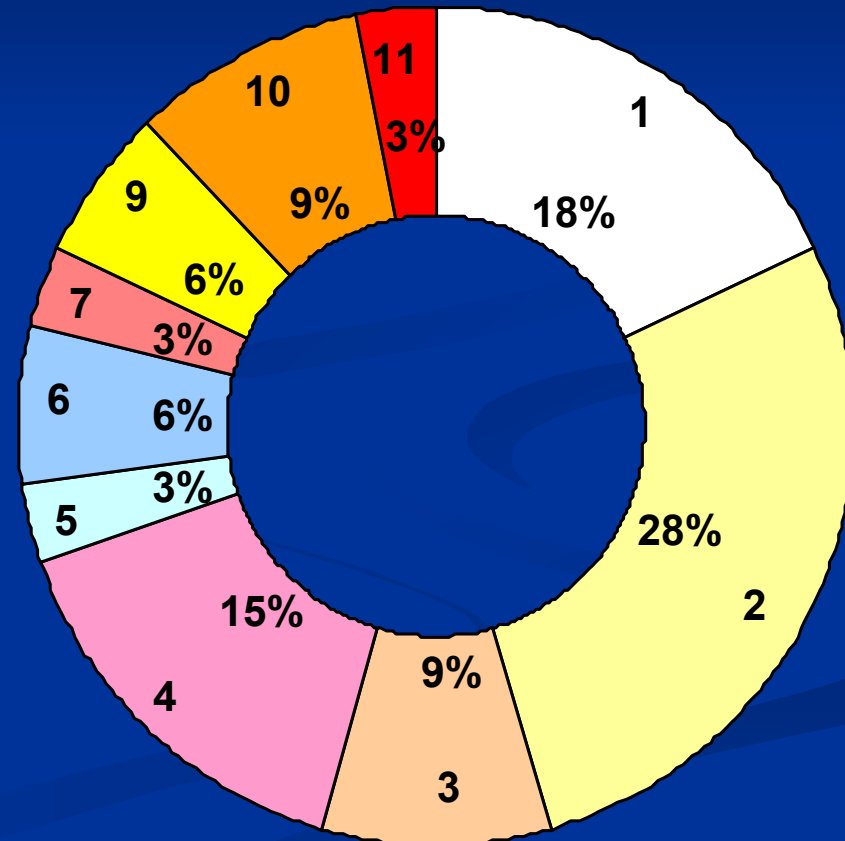
Types d'enseignement



Age d'implantation dans
l'enseignement **spécialisé**
(enfants sourds prélinguaux)
N = 32



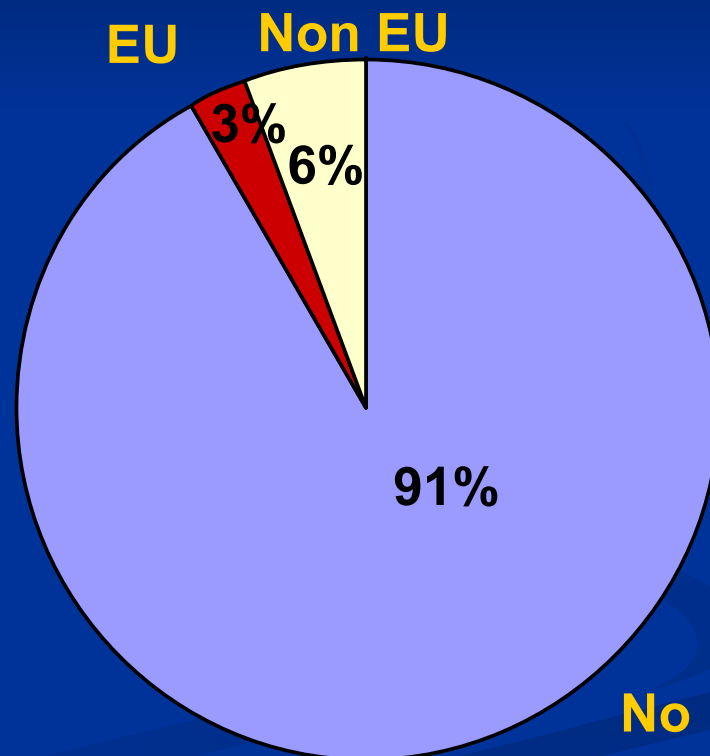
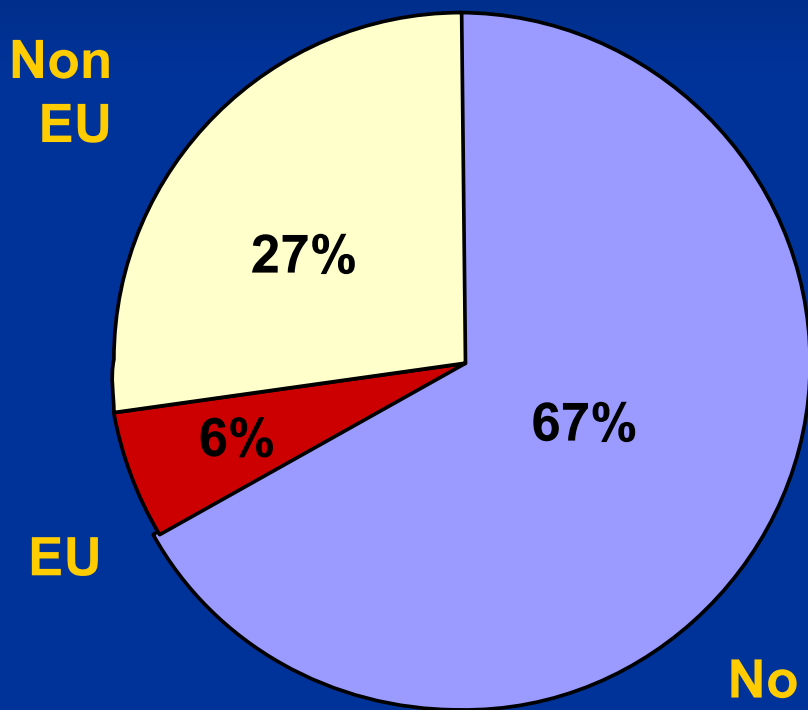
Age d'implantation dans
l'enseignement **intégré**
(enfants sourds prélinguaux)
N = 33



Bilinguisme familial

Specialized school

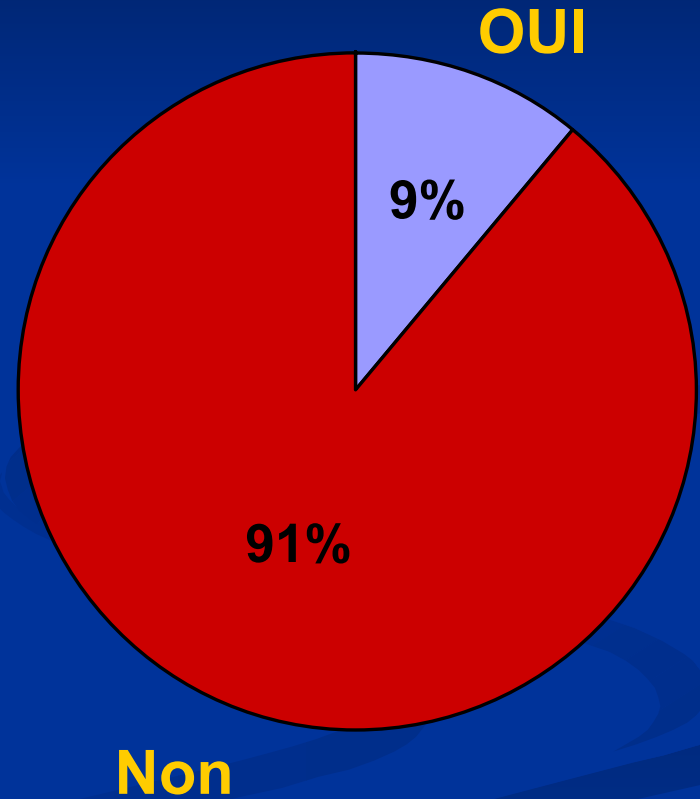
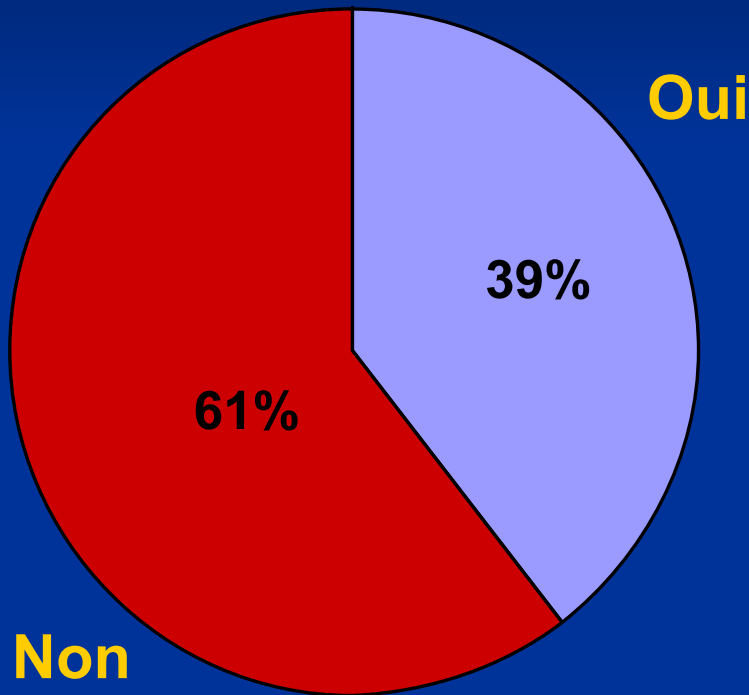
Mainstream



Handicap psycho-social

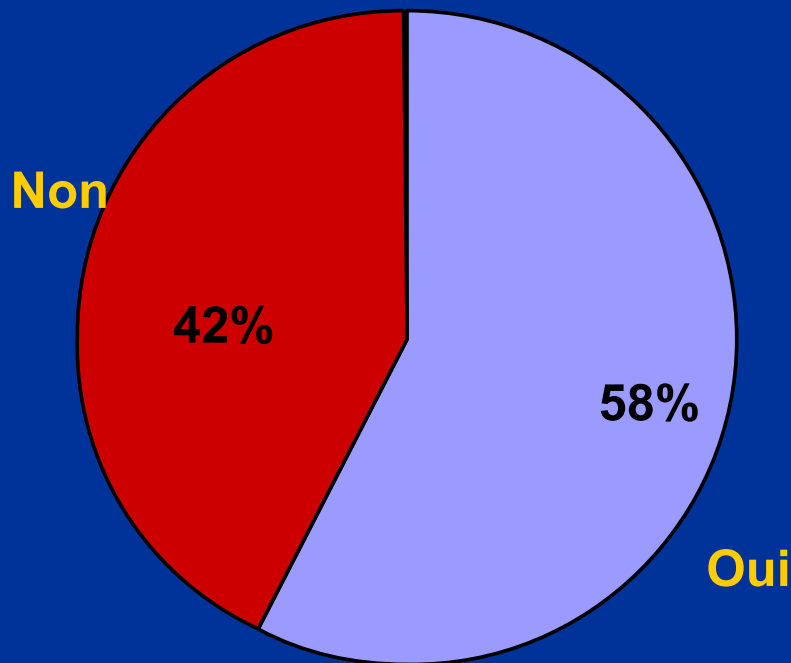
Enseignement spécialisé

Intégré

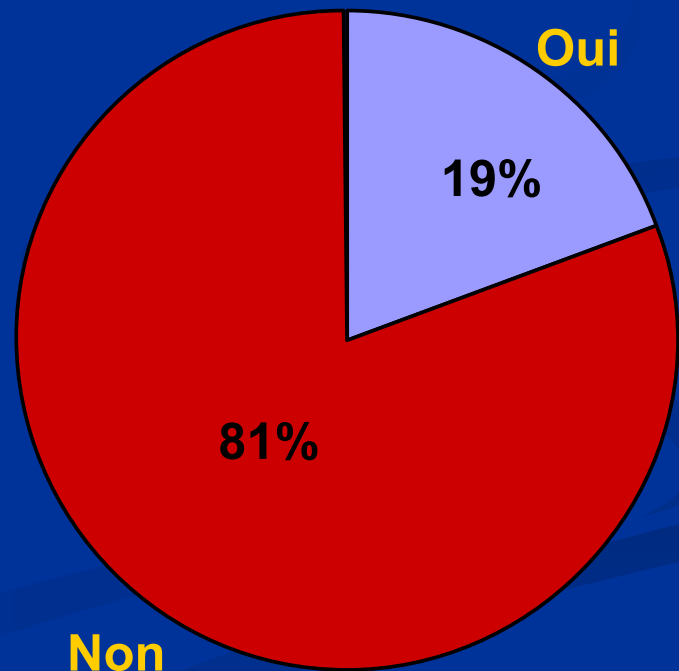


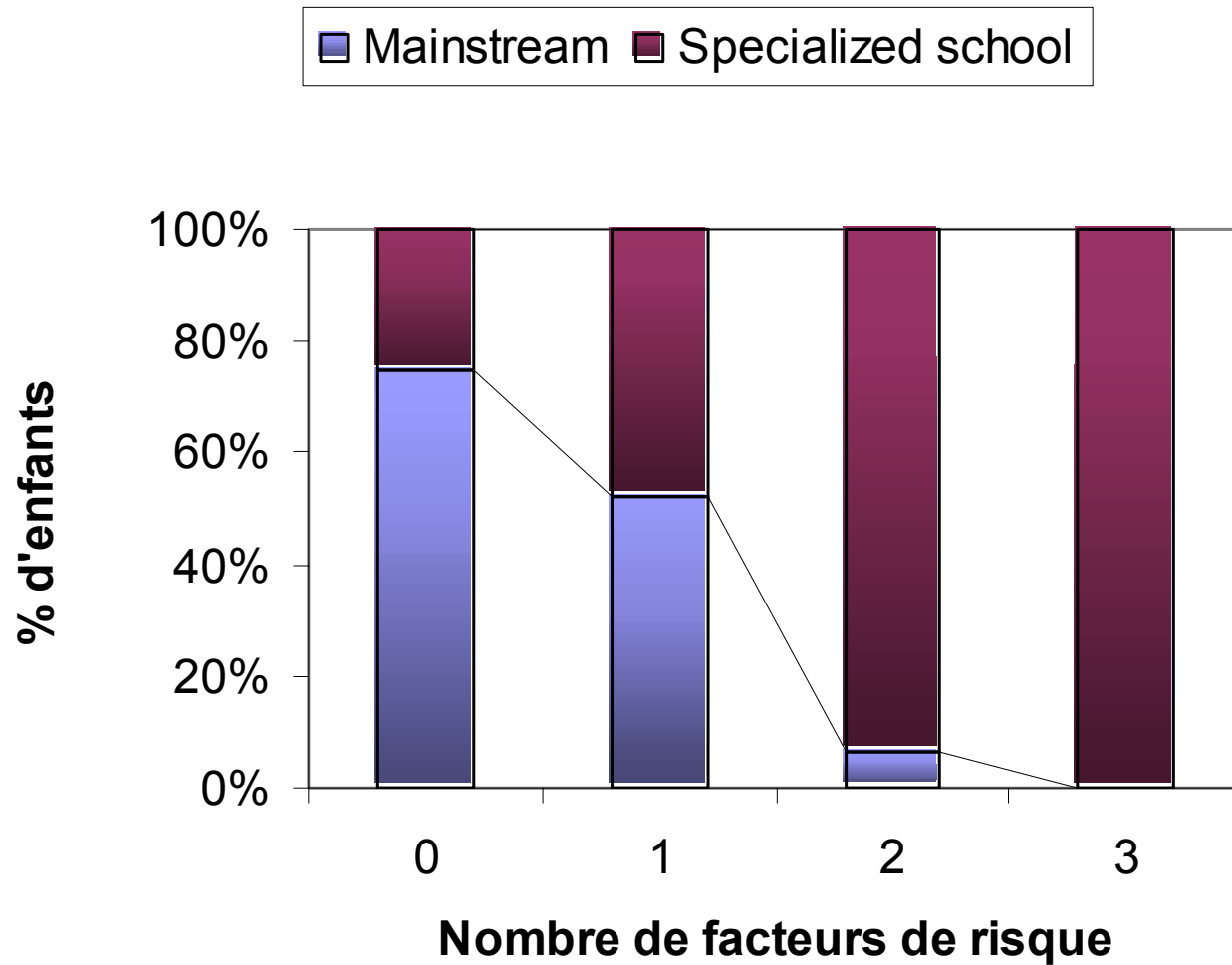
Troubles associés

Enseignement spécialisé



Intégré





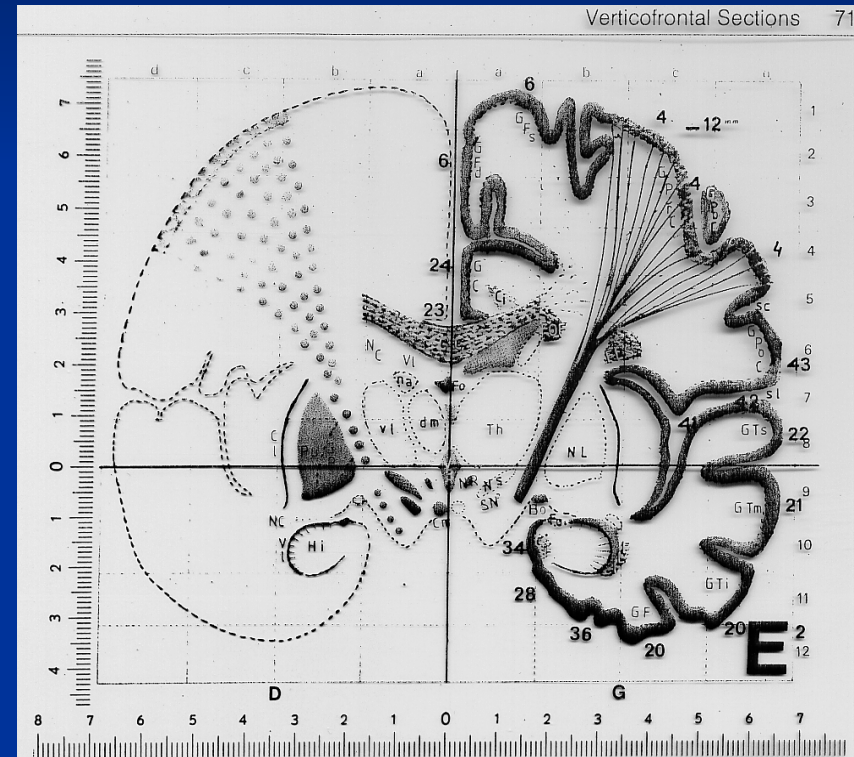
CONCLUSION

Le handicap psycho-social et les troubles associés sont de bons prédicteurs du système éducatif que les enfants vont fréquenter

2. La perception de la parole chez le sujet muni d'un implant

Aires auditives corticales HG

- **BA41** : cortex auditif primaire (gyrus transverse de Heschl), activé par l'input acoustique
- **BA42**: activé par des sons modulés en fréquence
- Plus le signal auditif est proche de la parole : activation **BA22**
- Traitement lexico-sémantique : **BA21** et **B20/37**
- Localisations spécifiques, contiguës pour chacun des stades du traitement de l'information de parole (acoustique, lexical, sémantique), avec sensibilité croissante à la signification et décroissante à la modalité de l'input
- Projections pré-câblées depuis l'oreille interne jusqu'au cortex auditif primaire; cortex auditif secondaire = lieu d'interactions cross-modales



Perception multi-modale de la parole chez l'entendant

Effet Mac Gurk (McGurk & MacDonald, 1976)

Illusion perceptive

A /ba/ + V /ga/ /da/ et A /pa/ + V /ka/ /ta/

Fusion : perception d'un élément qui n'est présent dans aucune des deux modalités

A /ga/ + V /ba/ /bga/ et A /ka/ + V /pa/ /pka/

Combinaison : perception consécutive des éléments non modifiés de chaque modalité

La perception de la parole est multi-modale : notre cerveau prend en compte la lecture labiale de façon automatique, irréprensible

La lecture labiale active non seulement le cortex occipital, mais aussi le cortex auditif secondaire (Calvert et al., 1997)

La lecture labiale de chiffres (1 à 9) active des zones du cortex visuel primaire bilatéral (BA 19, 37 & 39) et des zones des cortex auditifs primaire et secondaire (BA 41, 42 & 22)

La parole silencieuse a le pouvoir d'activer des parties du cortex considérées comme liées à la modalité auditive ...

... mais pas le cortex auditif primaire (Bernstein et al., 2002) !

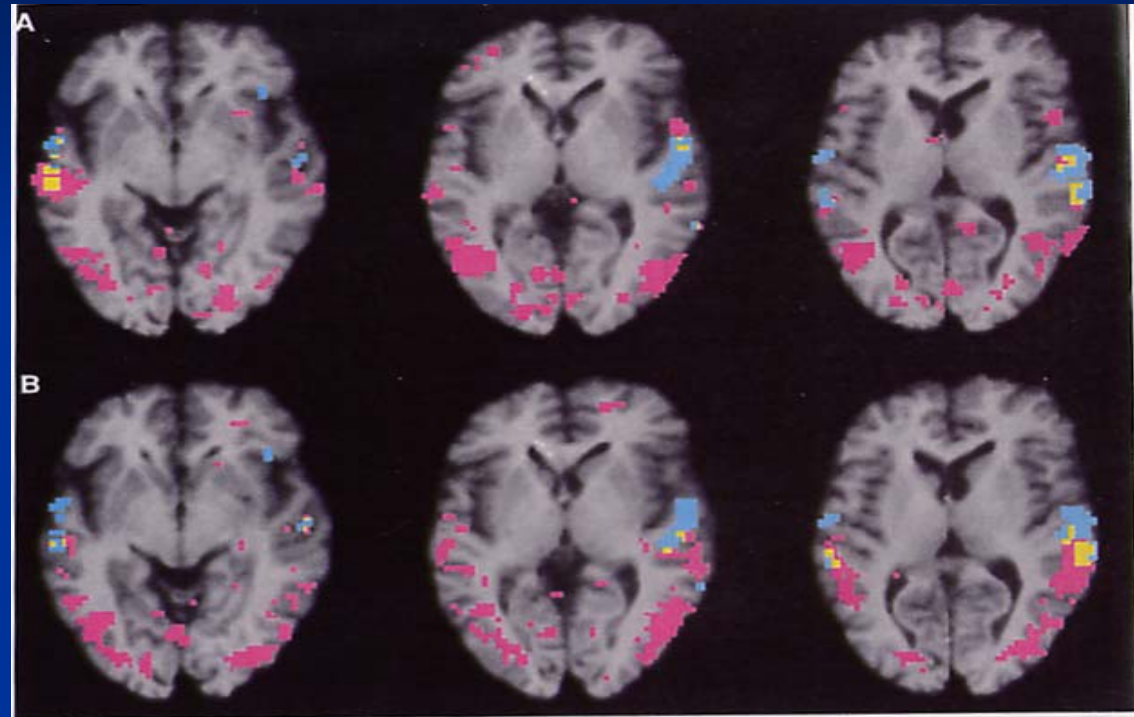


Fig. 1. Voxels colored purple indicate brain areas activated by silent lipreading in experiment 2 (A) and its replication (B) overlaid on areas activated during auditory speech perception in experiment 1 (blue voxels). Yellow voxels indicate regions activated in common by silent lipreading and heard speech. These generic brain activation maps are superimposed on spoiled GRASS MR images centered at 1 mm (left), 6.5 mm (center), and 12 mm (right) above the intercommissural (AC-PC) line. The left side of each image corresponds to the right side of the brain.

Chez l'humain : maturation du cortex auditif suite à l'implantation

- Maturation **retardée** d'une durée équivalente à la période de surdité : jusque 8-9 ans, les PE des enfants entendants et des sourds munis d'un implant sont dominés par l'onde P1 (positivité à 100 msec); les latences de l'onde P1 sont **prolongées** chez les sourds implantés, d'autant plus que l'implantation a été tardive (*Ponton & Eggermont, 2001, 2002*)
- Le rythme de maturation est essentiellement **le même, voire plus rapide**, chez les IC et les enfants entendant normalement
- **Après l'âge de 12 ans, plus de changements dans les PE** (période sensible), même après plusieurs années d'utilisation de l'implant; la morphologie des PE auditifs des enfants implantés, même précocement, n'est jamais complètement comparable à celle des PE auditifs chez des enfants normo-entendants (*Sharma et al, 2002*)
- Corrélat fonctionnel ? Les mécanismes neuronaux à la base de la perception de la parole **pourraient ne pas être identiques** chez les porteurs d'IC et les entendants ...

Plasticité cross-modale : Giraud et al., 2001

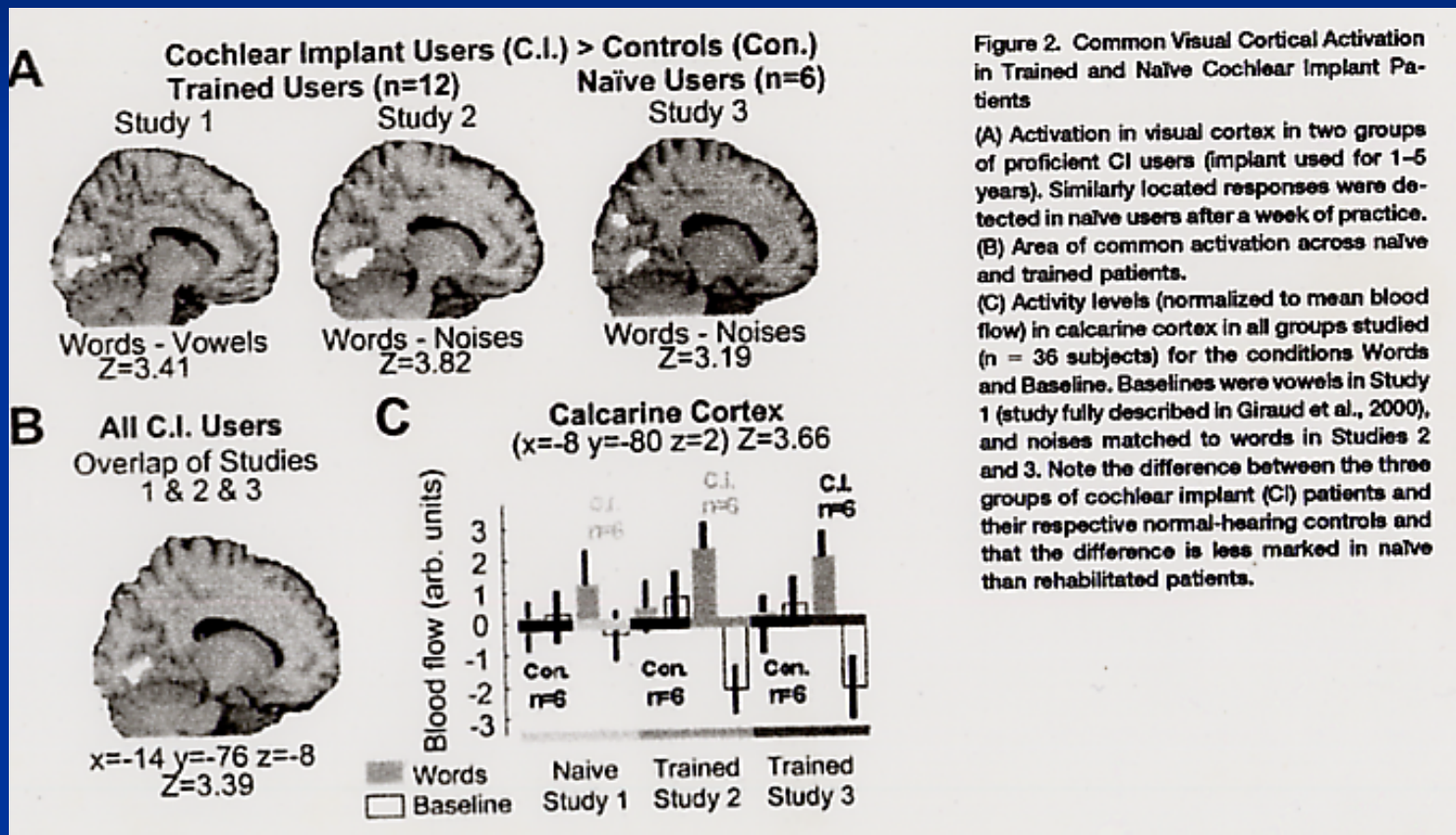
L'information délivrée par l'IC **n'est pas aussi précise** que celle perçue par l'audition normale : lieu d'articulation (*buck/duck*); le cortex visuel pourrait participer au traitement de l'information auditive incomplète

Sujets : sourds postlinguaux, munis d'un IC

Tâche : écoute de mots, syllabes, sons de l'environnement, bruits

Résultats : **activation du cortex visuel**, positivement corrélée avec les capacités de lecture labiale, spécifique pour le matériel doté de signification (sons environnement, syllabes, mots, mais pas le bruit)

Chez les adultes sourds post-linguaux munis d'un IC, la perception de mots, syllabes et sons de l'environnement provoque l'activation des aires visuelles (Giraud et al., 2001)



Le recrutement du cortex visuel augmente avec la durée d'utilisation de l'implant (Giraud, 2001)

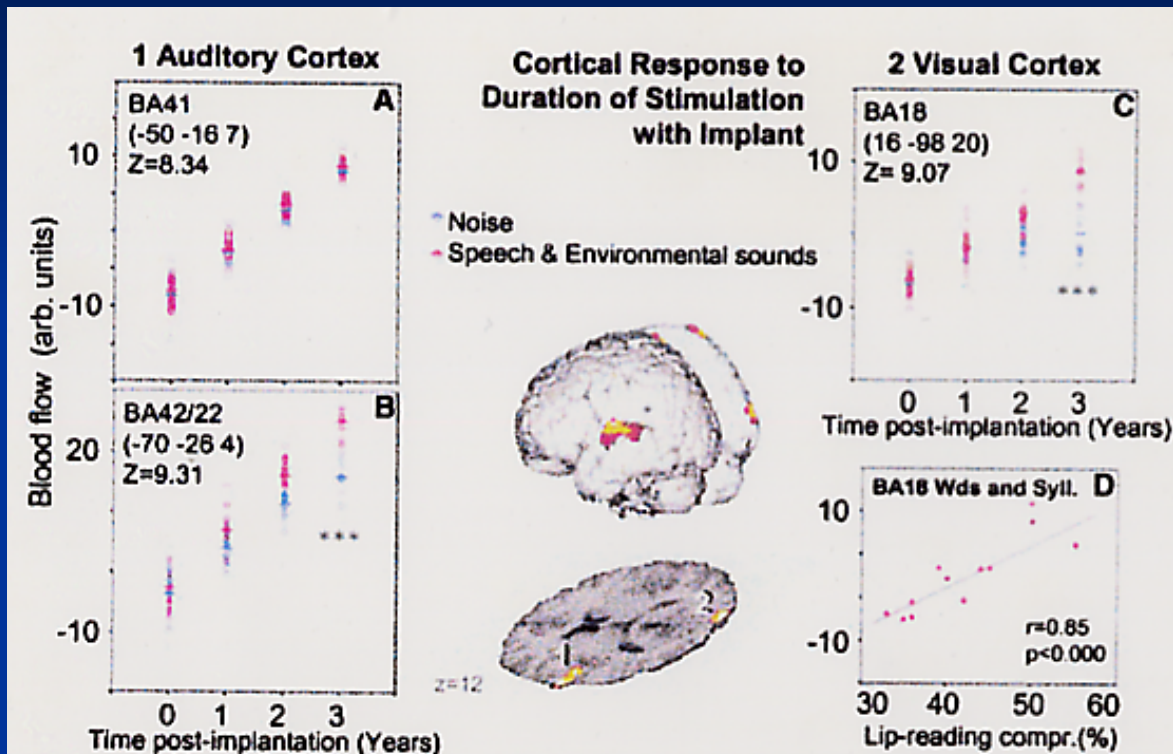


Figure 3. Evolution of Response Properties in Auditory and Visual Cortices as a Function of Training

Cortical map: brain regions where activation increases with the time from implantation ($n = 18$). Relative blood flow values obtained in naïve implant users (Study 3, 1 week of practice with an implant) and rehabilitated patients (Study 2, duration of practice ranging from 1 to 3 years) in response to speech and environmental sounds (red circles and bars [mean]) and in response to matched noises (blue circles and bars) are plotted from three regions: (A) primary auditory (BA41), (B) auditory association cortices (BA42/22), and (C) visual cortex. As the tasks differed between studies, further tests were performed only on the data from Study 2. Stimulus by time interaction was probed by appropriate planned contrasts ($***p < 0.001$ between 1 and 3 years postimplantation). Progressive differential activation was found in visual and auditory association areas (BA42/22) but not in primary auditory cortex (BA41). Note that, in all three regions, the blood flow values in naïve patients (Study 3) are concordant with data acquired in rehabilitated patients and show no effect of stimulus. This result confirms their low recruitment and poor functional differentiation in the early stages of implant use. (D) A significant correlation is observed between the relative blood flow variation in the visual cortex in response to words and individual lipreading comprehension (percent correctly repeated phonemes in sentences) at the time of the PET experiment (Studies 1 and 2).

Giraud : interprétation

- Les sujets avec IC doivent faire un appariement entre nouveaux sons et source visuelle : **association cross-modale obligatoire**
« Our data point to the importance of progressive refinements in audio-visual coupling as the probable substrate of long-term improvement in speech discrimination »
- Ré-organisation du système nerveux adulte en réponse à un nouvel apprentissage
- L'activation des aires visuelles et l'augmentation de la capacité de lecture labiale est liée à l'expérience spécifique de l'implant (et non à la surdité antérieure)

Rôle information visuelle dans la perception de la parole chez les enfants IC

La plupart des tests montrent une amélioration de la perception de la parole post-implant, mais ne permettent pas de cerner le rôle de l'information visuelle

Test TEPP

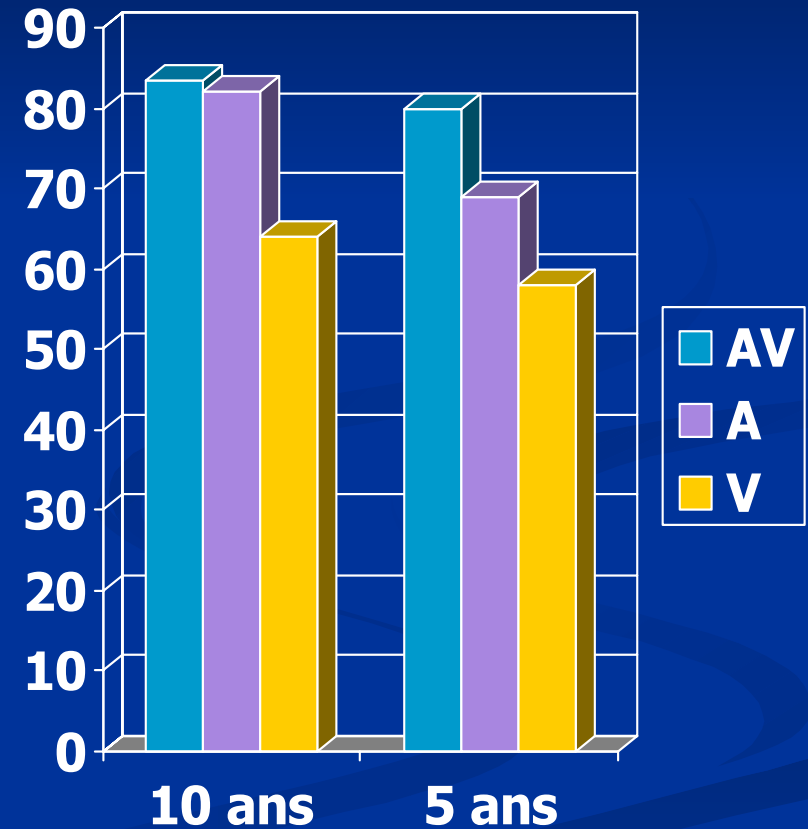
- Basé sur la reconnaissance des consonnes initiales
- Cible « pain » -> « pain », « bain », « vin »: 1 sosie labial + 1 autre
 - 3 modalités de présentation: A, AV, V

Echantillon : N = 20

	Age	Age opér	Dur stimul
Moyenne	9 a 3 m	6 a 4 m	3 ans
Ec type	35	39	24
Min	4 a 2 m	2 a 6 m	9 m
max	13 a	12 a	8 a 5 m

Pourcentage de R.C.

- Age = 10 ans
 - $AV=A > V$
 - Effet plafond ?
- Age = 5 ans
 - $AV > A > V$
 - Info auditive insuffisante; info visuelle aide à l'identification des mots



Perception multi-modale chez les enfants IC: conclusions

- Utilisation implant conduit à de bonnes performances dans reconnaissance des consonnes dans set fermé
 - Difficultés perception traits voisement, nasalité
- Importance de développer des représentations lexicales multimodales, riches, précises (rôle info visuelle, Langage Parlé Complété)

3. Le développement du langage chez l'enfant IC

Plusieurs années sont nécessaires pour qu'un enfant apprenne à interpréter ce qu'il entend à travers l'implant et à combiner cette information avec la lecture labiale

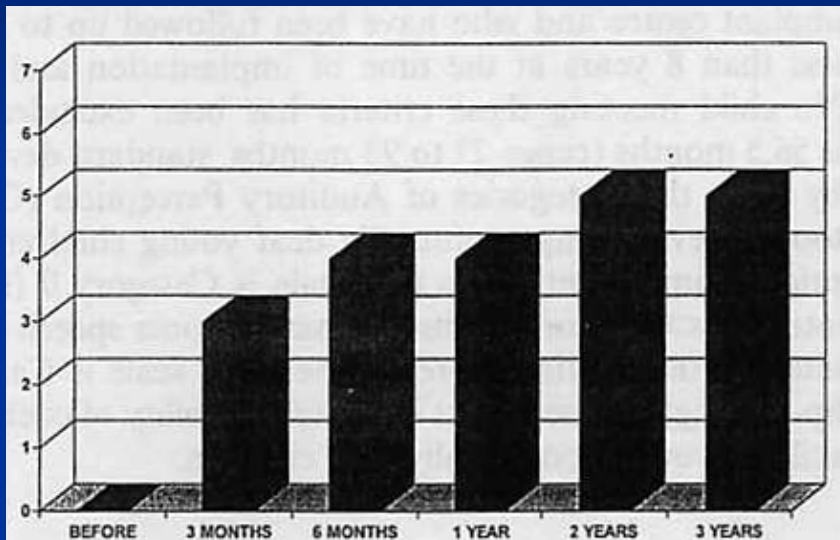


Fig. 1
Median CAP scores prior to and up to 3 years following implantation.

TABLE II.
Categories of Auditory Performance.

Category	Criterion
7	Use of telephone with known listener
6	Understanding of conversation without lip-reading
5	Understanding of common phrases without lip-reading
4	Discrimination of some speech sounds without lip-reading
3	Identification of environmental sounds
2	Response to speech sounds (e.g., "go")
1	Awareness of environmental sounds
0	No awareness of environmental sounds

3 ans après l'implantation, corrélation négative entre l'âge d'implantation et le score CAP

TABLE IV.
Categories of Auditory Performance and Age at Implantation.

	Correlation Coefficient	Statistical Significance (P Value)
Preimplantation	+0.31	.0006
6 months	+0.23	.01
12 months	+0.07	NS
24 months	-0.32	.006
36 months	-0.48	.0007
48 months	-0.58	.002

NS = not significant.

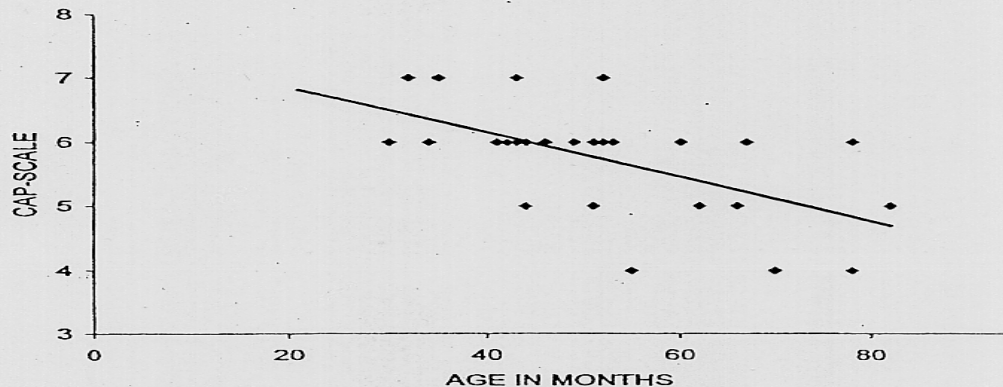


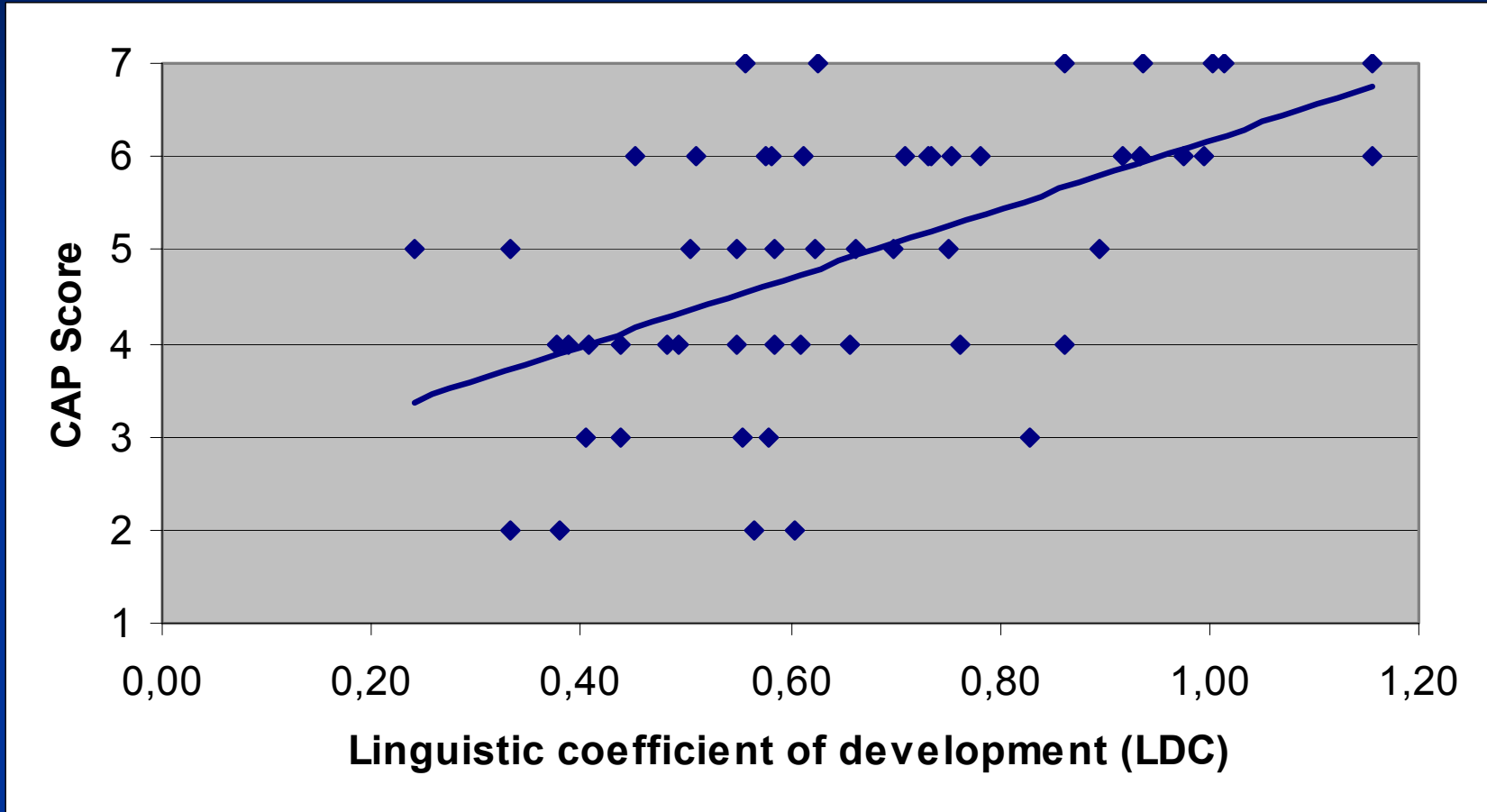
Fig. 1. Scattergram showing association between categories of auditory performance (CAP) at 48 months and age at implantation.

Même type de résultats si on prend comme variable dépendante Connected Discourse Tracking ou l'intelligibilité de la parole

Development of language and speech perception...as a function of age at cochlear implantation (Svirsky et al., in press)

- Implantation avant 2 ans conduit à de meilleurs résultats du point de vue de la **perception de la parole** et du **développement du langage**; la plupart des enfants implantés entre 12 & 24 mois **devraient** entrer à l'école à 6 ans avec habiletés langage « normales »
- **Nombreuses exceptions** à cette tendance
 - d'excellents résultats peuvent être obtenus à des âges plus avancés par certains enfants
 - beaucoup d'enfants avec IC restent à deux écarts-types en dessous des courbes développementales « normales » : certains enfants implantés dans la 2ème année, la plupart de ceux implantés la 3ème année, la grande majorité de ceux implantés la 4ème année

Corrélation entre le score CAP Score et Coefficient de Développement Langagier : $(R_{\text{Spearman}}) = 0,57^{***}$ ($p < 0,001$)



C. Ligny, F. Schepers, M.L. Daoût, L. Matagne, Th. Renglet, J. Leybaert, A.L.Mansbach

1er Colloque Marocain Neuroscience &
Handicap 10/12/2004-11/12/2004

Il y a une corrélation significative, mais une variation importante pour chaque niveau du CAP

CAP Level	Variation coefficient
4 (N=12)	0,27
5 (N=10)	0,32
6 (N=15)	0,26
7 (N=7)	0,25

CONCLUSION

L'évaluation CAP n'est PAS appropriée pour mettre en évidence le retard persistant de langage chez la plupart des enfants

Un testing linguistique très spécifique est nécessaire pour évaluer le déficit de langage, en particulier de la morpho-syntaxe

Cette évaluation complémentaire peut objectiver les problèmes persistants et fournir des indications pour la rééducation langagière

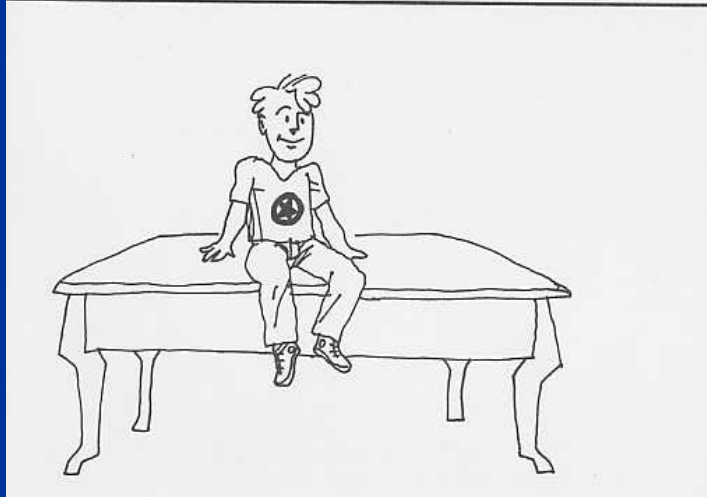
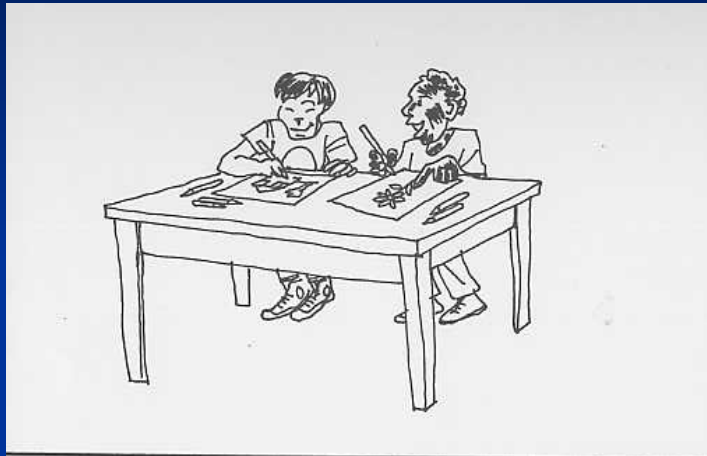
IC et développement morpho-syntaxique

- Grammaire : ensemble de règles qui décrit comment le domaine du son est lié au domaine de la signification
 - *Les chats poursuivent les chiens*
 - *Les chiens poursuivent les chats*
 - *Poursuivent les chats les chiens* : illégal
- Compétence langagière dépendante du développement de la compréhension grammaticale
- Développement de la grammaire durant la petite et moyenne enfance (10-11 ans)

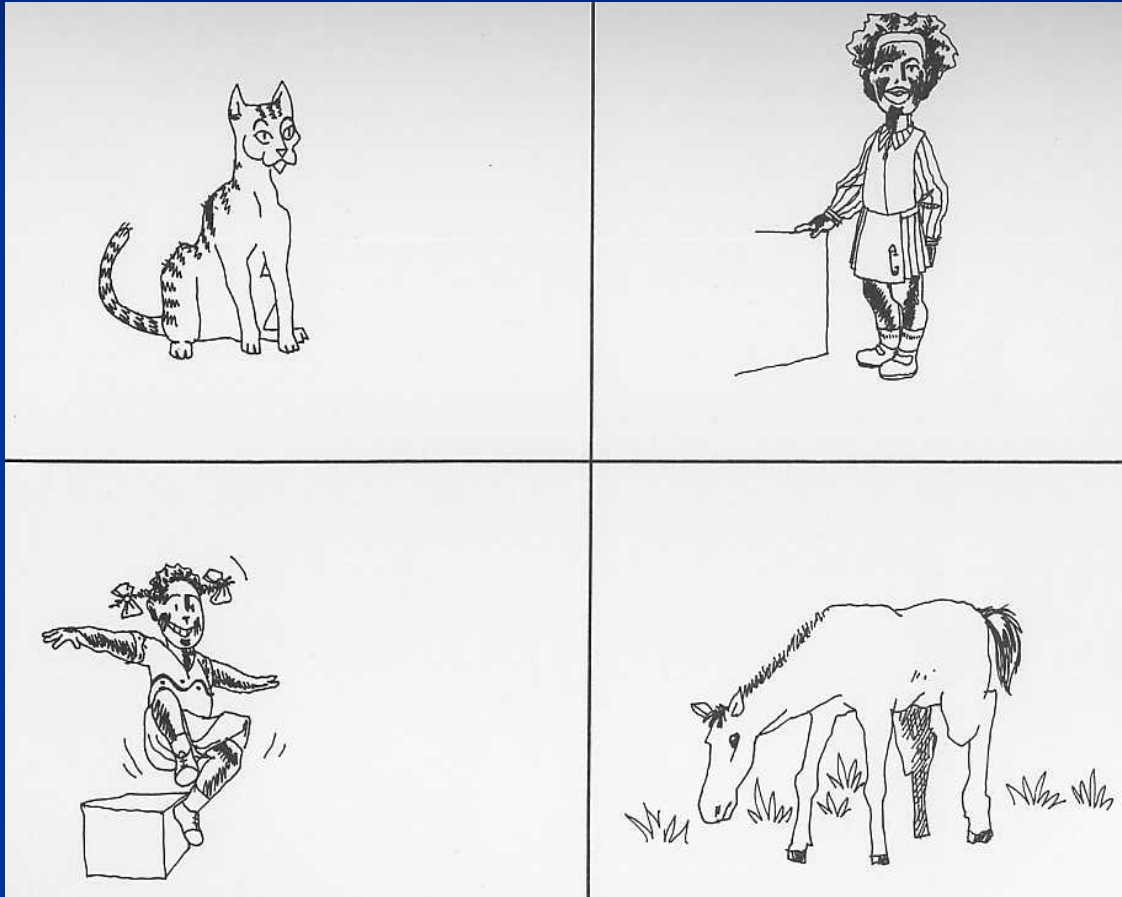
Développement de la morpho-syntaxe (Nikolopoulos et al, in press)

- 82 enfants sourds profonds prelinguaux : surdité avant 3 ans; moyenne : 6.5 mois
- Age d'implantation < 7 ans; moyenne: 4.2 ans
- Implant Nucleus multi-canaux
- Test of Reception of Grammar (ECOSSE)

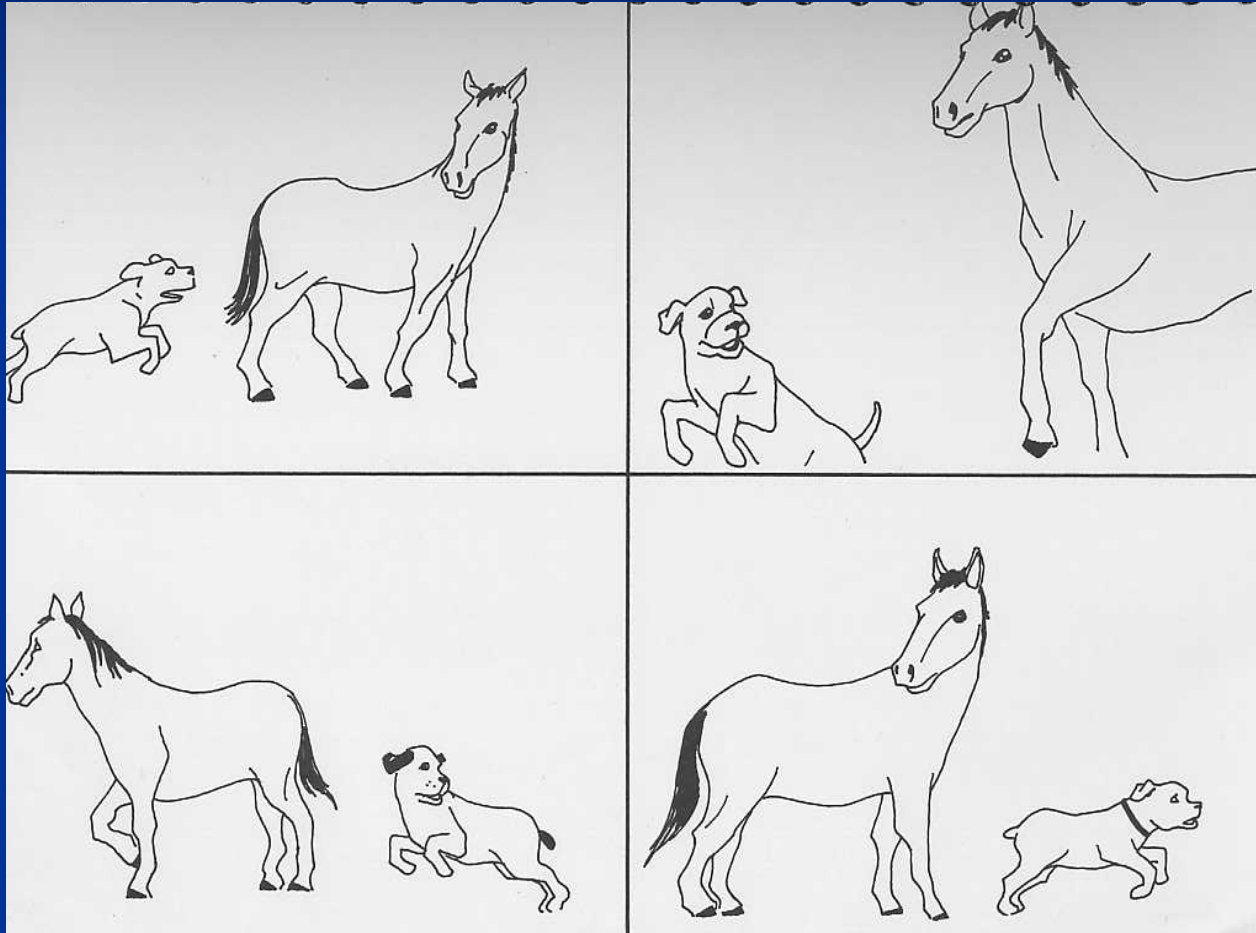
« Ils sont assis sur la table »



« La fille ne saute pas »



« Le chien poursuit le cheval qui se retourne »



Percentiles au TROG des enfants implantés basés sur les normes pour entendants du même âge

	Implanted deaf children in the study (n)	children within the required age limits for TROG (n)	Implanted deaf children in <1 centile of hearing children	Implanted deaf children in 1-25 centile of hearing children	Implanted deaf children in 25-75 centile of hearing children	Implanted deaf children in 75-100 centile of hearing children
Pre	82	44	43 (98%)	1 (2%)	0 (0%)	0 (0%)
3-years	82	82	49 (60%)	27 (33%)	3 (3.5%)	3 (3.5%)
5-years	30	30	10 (33%)	14 (47%)	5 (17%)	1 (3%)

Développement morpho-syntaxique: effet de l'âge d'implantation

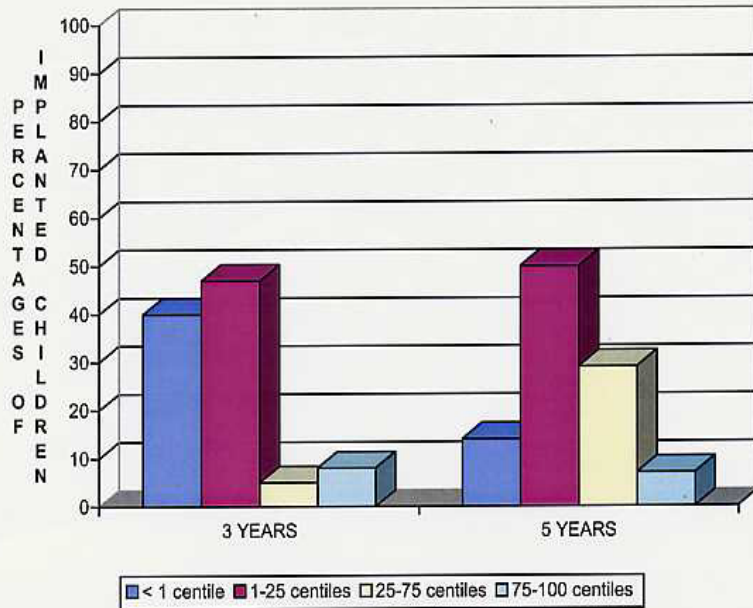


Figure 2. Younger implanted (age at implantation < 4 years) children's performance on the comprehension of grammar of spoken language (TROG results) in comparison to their hearing peers of the same age (centiles of hearing children).

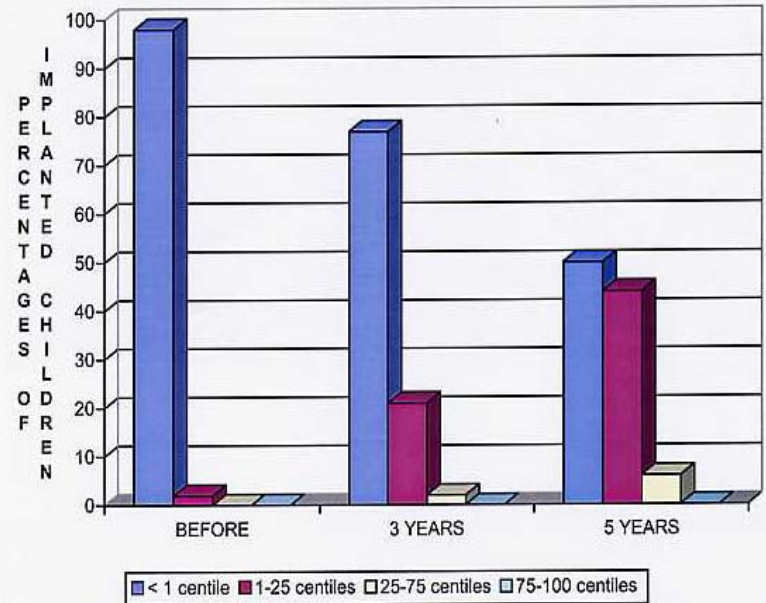


Figure 1. Older implanted (age at implantation > 4 years) children's performance on the comprehension of grammar of spoken language (TROG results) in comparison to their hearing peers of the same age (centiles of hearing children).

Développement réceptif de la grammaire : conclusions

- Les sourds IC « se rapprochent » avec le temps des entendants du même âge
- Un nombre important (1/3) des enfants IC continuent à démontrer des retards importants dans le développement du langage oral dans les années suivant l'implantation
 - Nécessité d'une réhabilitation plus importante, ou plus grande dépendance par rapport à la langue des signes pour la communication
- l'implantation précoce (avant 4 ans) favorise le développement de la compétence grammaticale en langue orale

Développement de la morphosyntaxe de 5 enfants sourds porteurs d'un IC : effet du mode de communication

V. Hawes (2004, C. Hage, J. Leybaert, F. Schepers, T. Renglet, A.-L. Mansbach, C. Ligny)

- Difficultés constatée par Le Normand dans le genre grammatical chez les enfants IC
- 3 situations de langage semi-induit : image d'un enfant grondé, histoire en 8 images, et « Frog, where are you »? Le Normand, 2003; productions retranscrites dans Childes
- L'Ecosse
- Epreuve de genre grammatical (Karmiloff, 1979, Hage 1994)

Méthodologie

Echantillon de 5 enfants sourds profonds, tous munis précocement (< 4 ans) d'un implant

Différent par les moyens de communication: Oralisme (C, D, L) ou Oral + LPC (R., O.)

	Age	Age diagn	Age d'implant.	Durée port IC	Mode comm.
R.	6 ans 9 mois (81 mois)	2 ans 5 mois	3 ans 1 mois	3 ans 4 mois	Oral. + LPC
C.	6 ans 6 mois (78 mois)	2 ans 2 mois	2 ans 8 mois	3 ans 6 mois	Oralisme
D.	6 ans 8 mois (80 mois)	15 mois	2 ans 6 mois	3 ans 8 mois	Oralisme
L.	7 ans 3 mois (87 mois)	16 mois	4 ans 2 mois	2 ans 9 mois	Oralisme
O.	7 ans 2 mois (86 mois)	11 mois	2 ans 7 mois	4 ans 3 mois	Oral. + LPC

Résultats

R. et **O.** (LPC) scores dans la distribution à l'Ecosse; utilisation des déterminants, pronoms, prépositions, ... à un niveau correspondant à leur âge

D. : se fie essentiellement à ses capacités auditives (pas d'accrochage au LPC), difficultés avec les phrases complexes Ecosse (ni..ni, relatives en « que »), mais utilisation éléments grammaticaux dans langage spontané

C. et **L.** : oralisme; retards importants à l'Ecosse et dans l'utilisation spontanée éléments grammaticaux

	Ecosse	Lge semi-ind.	Epr. GG	CAP	Audio. vocale IC-LL
R.	P25-50 ou 72-77 m (81 m)	71, 59% (72 m)	+ (4)	7	92%
C.	<<<P10 ou <48-53 m (78 m)	47, 09% (< 48 m)	- (13)	5	69%
D.	<P10 ou 54-59 m (80 m)	67,45% (< 72 m)	+ (2)	6	95%
L.	<<P10 ou 54-59 m (87)	59,19% (48-66 m)	- (10)	6	80%
O.	P25 ou 72-77 m (86 m)	71,50% (72 m)	+ (2)	7	> 90%

Genre grammatical (Test: C. Hage)

Tableau 3 – Listes des pseudo-mots repris dans l'épreuve de production du genre grammatical et comportant une terminaison masculine (m), féminine (f) ou neutre (n)

Liste 1	Liste 2
Bicron (m)	Rile (n)
Fasien (m)	Plichon (m)
Baltine (f)	Fadiste (n)
Golcheau (m)	Forsienne (f)
Chalinque (n)	Coumeau (m)
Bravais (m)	Fasine (f)
Barienne (f)	Choulais (m)
Coumile (n)	Bravelle (f)
Podelle (f)	Coumette (f)
Plichette (f)	Taninque (n)
Modiste (n)	Dilare (n)
Brichare (n)	Maudrien (m)

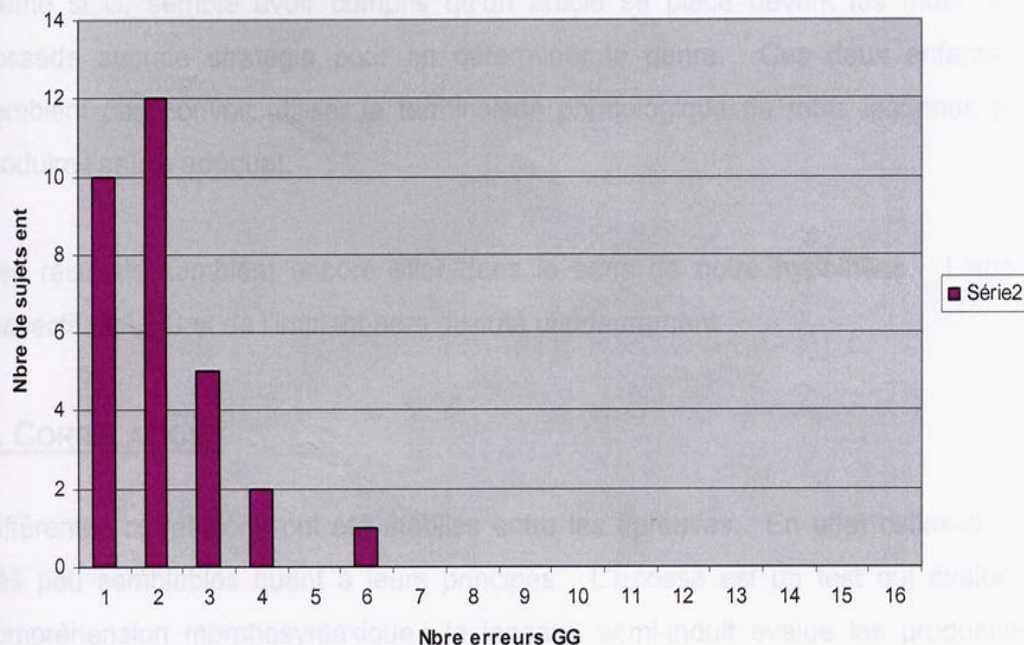


On présente deux images d'un même sujet en disant : « voilà des bicrons »; on cache ensuite une des deux images de la paire et on dit « qu'est-ce qu'il reste maintenant »? L'enfant répond : « **un** bicron », «le bicron »

Intérêt : certaines finales sont statistiquement associées avec le genre masculin (m), d'autres avec le genre féminin (f). On teste si l'enfant a établi les « co-occurrences » entre les suffixes et le genre grammatical (articles)

Production du genre grammatical : nombre d'erreurs

Figure 9 – Nombre de sujets entendants (groupe contrôle) par nombre d'erreurs commises à l'épreuve de production du genre grammatical



R. : 4 erreurs

C: 13 erreurs **

D: 3 erreurs

L. : 10 erreurs **

O. : 2 erreurs

Groupe contrôle : 30 enfants de 3ème
maternelle (5a ½ - 6 a)

Hawes (2004) Conclusions

- L'âge d'implantation ne suffit pas, à lui seul, à expliquer les résultats

Accessibilité de l'input

- R et O, qui bénéficient de IC + LPC, connaissent un développement « normal » de la morpho-syntaxe
- D, qui « fonctionne bien auditivement », a développé la morpho-phonologie du genre grammatical (extraction de régularités entre phonologie et morphologie), mais commet plus d'erreurs en production spontanée et dans l'Ecosse (phrases complexes)
- Le développement de L. et C., basé essentiellement sur l'information auditive délivrée par l'implant, est plus lent : pas de réelle maîtrise du genre grammatical, retards importants à l'Ecosse et dans la production spontanée des déterminants grammaticaux
- LPC peut aider à la maîtrise des aspects « fins » de la morpho-syntaxe ... à confirmer !
- Critique : pas de mesure de la perception auditive AVANT l'implant !

Conclusions générales

- les enfants munis d'un IC peuvent connaître une trajectoire développementale spécifique du langage, en rapport avec leur « maturité cognitive » au moment de l'opération et des aspects spécifiques du traitement auditif liés à leur déficience
- Pour faire profiter l'enfant au maximum d'une implantation précoce, il faut créer les conditions d'accessibilité maximale de l'input parlé : lecture labiale, LPC dans certains cas
- Les cliniciens qui travaillent dans le domaine de la réhabilitation du langage peuvent cibler les aspects de la grammaire qui sont acoustiquement moins proéminents pour ces enfants
- Le test de génération du genre grammatical peut constituer un bon outil d'évaluation de la morpho-phonologie, généralement cohérent avec des mesures standardisées comme l'Ecosse