

Cours 2015:

Représentation cérébrale des structures linguistiques

Stanislas Dehaene

Chaire de Psychologie Cognitive Expérimentale

Cours n°3

L'instinct du langage?

Précocité et automaticité des opérations linguistiques

Apprendre sa langue maternelle : Un « instinct » propre à l'espèce humaine ?

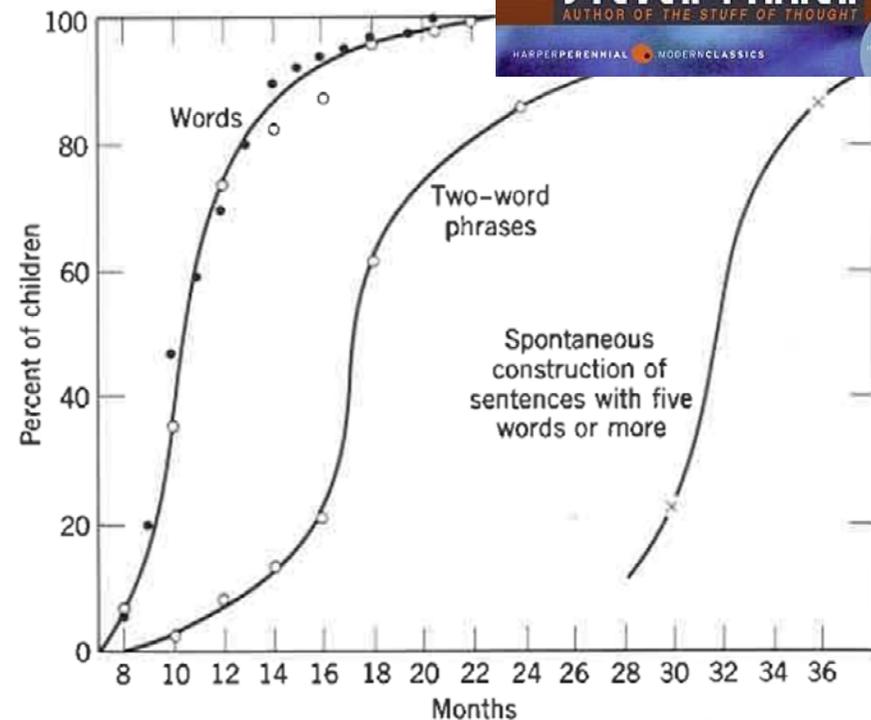
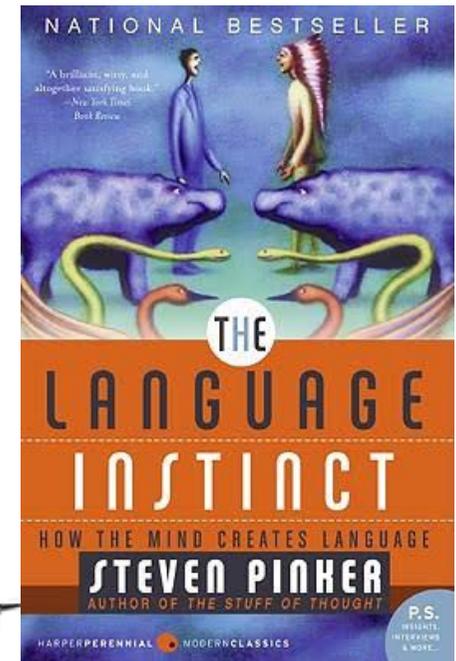
“Le langage n’est certainement pas un instinct dans le sens propre du mot, car tout langage doit être appris. Il diffère beaucoup, cependant, de tous les arts ordinaires en ce que l’homme a une tendance instinctive à parler, comme nous le prouve le babillage des jeunes enfants, tandis qu’aucun enfant n’a de tendance instinctive à brasser, à faire du pain ou à écrire. En outre, aucun philologue n’oserait soutenir aujourd’hui qu’un langage ait été inventé de toutes pièces; il s’est lentement et inconsciemment développé par de nombreuses étapes.”

Charles Darwin, La filiation de l’homme (The Descent of Man, 1871)

Pour Darwin, la capacité de langage est “**une tendance instinctive à acquérir un art**”.

Pour Chomsky, l’acquisition du langage résulte de l’interaction entre un système inné (*language acquisition device*) et des entrées linguistiques.

Lenneberg (*Biological Foundations of Language, 1967*) postule une période critique entre 2 ans et la puberté.



- 49 Austrian children (Bühler, 1931)
- 114 British children (Morley, 1957)
- × 500 American children (Boston, author's observation)

La précocité de l'apprentissage du langage

Dès la naissance, les bébés préfèrent écouter leur langue maternelle plutôt qu'une langue étrangère (Mehler, avec Dehaene-Lambertz, 1988)

La phonologie de la langue maternelle se stabilise entre 6 mois (voyelles) et 12 mois (consonnes).

Dès 6 mois, les enfants comprennent des mots très fréquents (biberon, pied, manger, etc).

Vers la fin de la première année de vie, les enfants commencent à repérer et à utiliser **les mots grammaticaux** (travaux de Rushen Shi; voir Shi, R. (2014). Functional morphemes and early language acquisition. *Child Development Perspectives*, 8(1), 6–11. <http://doi.org/10.1111/cdep.12052>)

- Ils les repèrent sur la base de leur fréquence élevée, de leur longueur et de leur présence aux frontières prosodiques.
- Les enfants de 11 mois connaissent déjà les déterminants (le, la, des...) et les pronoms (il, elle, ma, sa...) les plus fréquents.
- Ils les utilisent pour repérer les mots à contenus et les segmenter.

Exemple 1: Shi et LePage (2008): un enfant de 8 mois qui entend « des xxx » segmente le mot qui suit « xxx », alors qu'il ne le fait pas lorsqu'il entend « kes xxx ».

Exemple 2: Marquis et Shi (2012): à 11 mois, un enfant habitué à un mot comme « trid » généralise à des phrases contenant « trid/e/ » (ex. « maman a tridé les poèmes »), mais pas à des phrases contenant « trid/u » (ex. « c'est le jeu qu'on a tridou »).

Grammaticalisation précoce: L'exemple de la négation

Pierce, A. (1989). *On the emergence of syntax: a crosslinguistic study*. Phd Dissertation, MIT.

Déprez, V., & Pierce, A. (1993). Negation and functional projections in early grammar. *Linguistic Inquiry*, 25–67.

Recueil de productions
spontanées de jeunes enfants
français, à partir de 20 mois

La négation est placée
convenablement, *avant* le
verbe quand il est à l'infinitif,
et *après* le verbe quand il est
conjugué.

[-finite]	[+finite]
a. pas manger la poupée (N2) (not eat the doll)	g. Patsy est pas là-bas (N6) (Patsy is not down there)
b. pas tomber bébé (N4) (pas fall baby)	h. veux pas lolo (N4) (want not water)
c. pas casser (D1) (not break)	i. marche pas (D2) (works not)
d. pas attraper une fleur (D2) (not catch a flower)	j. me plait pas monsieur là (D5) (pleases me not the doll)
e. pas chercher les voitures (P1) (not look for the cars)	k. est pas mort (P2) (is not dead)
f. pas rouler en vélo (P3) (not roll on bike)	l. trouve pas (P3) (finds not)

Negative *pas* is placed correctly at the earliest observed stage.

Highly significant across all three children at all ages, [+/-finite]

determines the distribution of the negative marker ($\chi^2_{(1)} = 218.33$, p

= .0001):¹¹

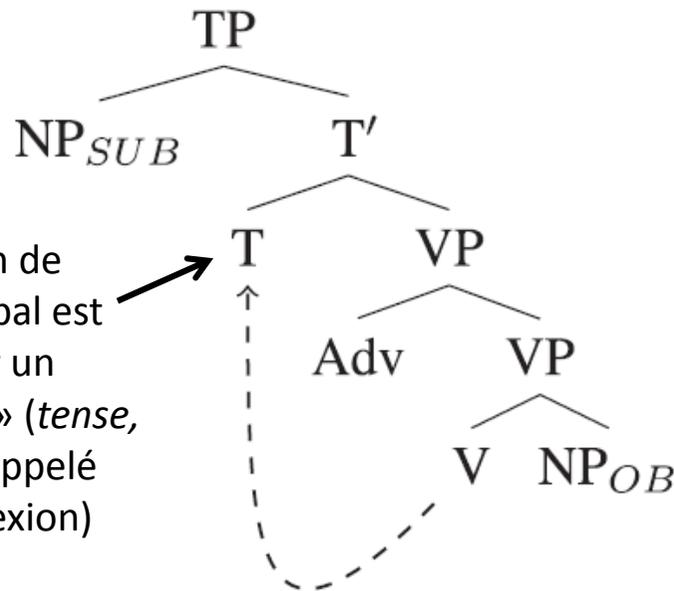
(12)

	<u>[+finite]</u>	<u>[-finite]</u>
sentence- initial NEG	11	77
non-initial NEG	185	2

Un paramètre de mouvement du verbe distingue l'anglais du français

Voir par exemple Haegeman, L. (2005). *Thinking Syntactically: A Guide to Argumentation and Analysis*. Wiley.

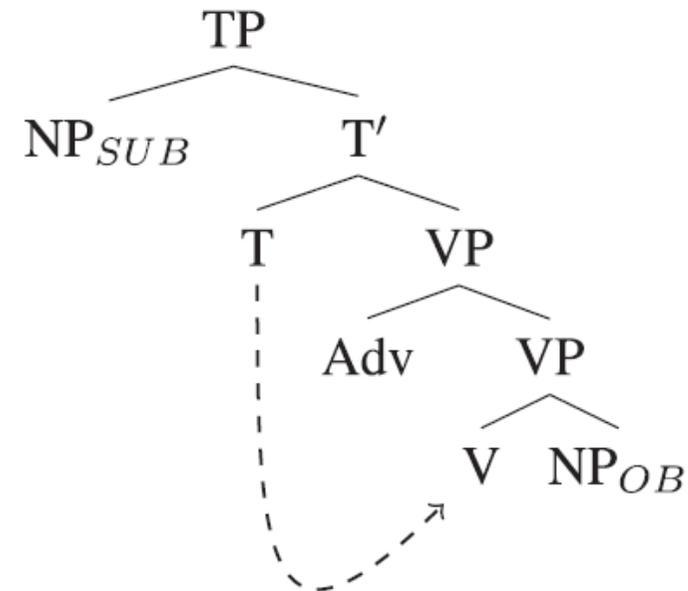
Français



La fonction de temps verbal est portée par un nœud « T » (*tense*, autrefois appelé « I » = inflexion)

Jean a souvent critiqué Pierre
 Jean critique souvent Pierre
 Jean (ne) critique pas Pierre
 Jean (n') a pas critiqué Pierre
 (Ne) pas critiquer Pierre

Anglais



John has often criticized Peter
 John often criticizes Peter
 John does not criticize Peter
 John did not criticize Peter

Selon Déprez et Pierce (1993), les enfants français utilisent d'emblée des grammaires de ce type: ils distinguent les verbes conjugués et à l'infinitif, et en tiennent compte dans le mouvement du verbe. Leur grammaire différencierait, par contre, dans l'usage du paramètre du « sujet nul ».

La grammaire des enfants n'est pas identique à celle de l'adulte, mais elle obéit à des règles similaires.

a. [null subject, +finite]

va chercher l'auto (N6)
(go to look for the car)

veux donner poupée myamyam (N6)
(want to give doll food)

boit café (D1)
(drinks coffee)

fait un autre (D1)
(did another)

est tombée (P1)
(is fallen)

porte un camion, voilà (P2)

b. [null subject, -finite]

voir l'auto papa (N6)
(see car of daddy)

écrire (N6)
(write)

sortir là (D1)
(go out there)

chercher un autre (D1)
(look for another)

emmener l'autre (P1)
(bring the other)

vider la terre au camion (P2)
(clear the ground for the truck)

c. [pronominal subject, +finite]

il est pas là (N6)
(it is not there)

et je veux (N6)
(and I want)

elle dort (D1)
(she sleeps)

c'est tartine (D1)
(it's cracker)

on marche à l'école (P1)
(we walk to school)

elle tombe (P2)

d. [pronominal subject, -finite]

(*je chercher l'auto
(I (to) look for)..

(*il voir un camion
(he (to) see a ...)

(*je sortir
(I (to) go out)

(*elle dormir
(she (to) sleep)

(*il vider la terre
(he (to) clear...)

(*ça être là
(that be there)

Le verbe est parfois utilisé sans sujet, que la phrase soit à l'infinitif ou non.

Par contre, lorsqu'un pronom est présent, la phrase n'est pratiquement jamais à l'infinitif.

	<u>[+finite]</u>	<u>[-finite]</u>
null subjects	422	450
pronominal subjects	739	22

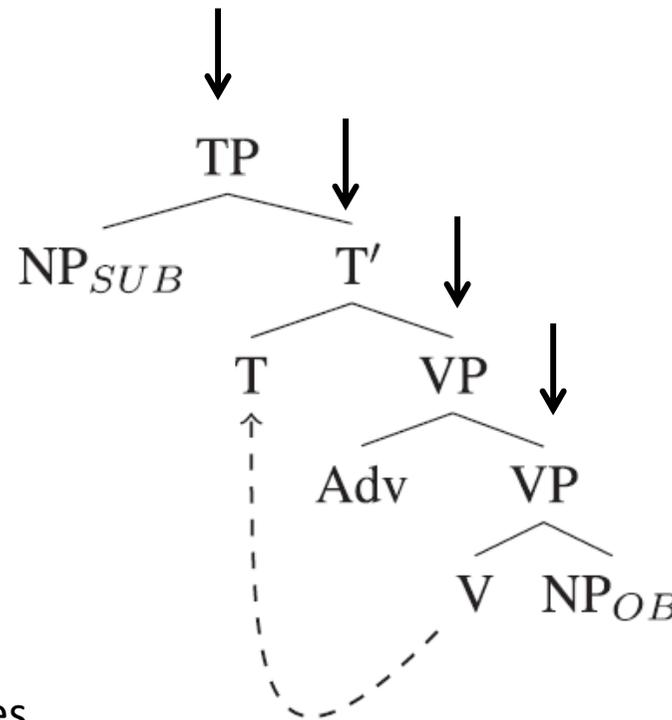
Le linguiste Luigi Rizzi fait l'hypothèse que les productions des enfants, par rapport à celles de l'adulte, correspondent à des **structures tronquées**.

La troncature des arbres explique les productions des enfants

Rizzi, L. (1993). Some Notes on Linguistic Theory and Language Development: The Case of Root Infinitives. *Language Acquisition*, 3(4), 371–393. http://doi.org/10.1207/s15327817la0304_2

Hypothèse:

L'enfant, contrairement à l'adulte, peut démarrer sa « phrase » à n'importe quel niveau de la hiérarchie syntaxique



Prédiction: Trois structures possibles

TP: Sujet + Verbe conjugué (Elle dort, Elle dort pas, Elle porte un camion, etc...)

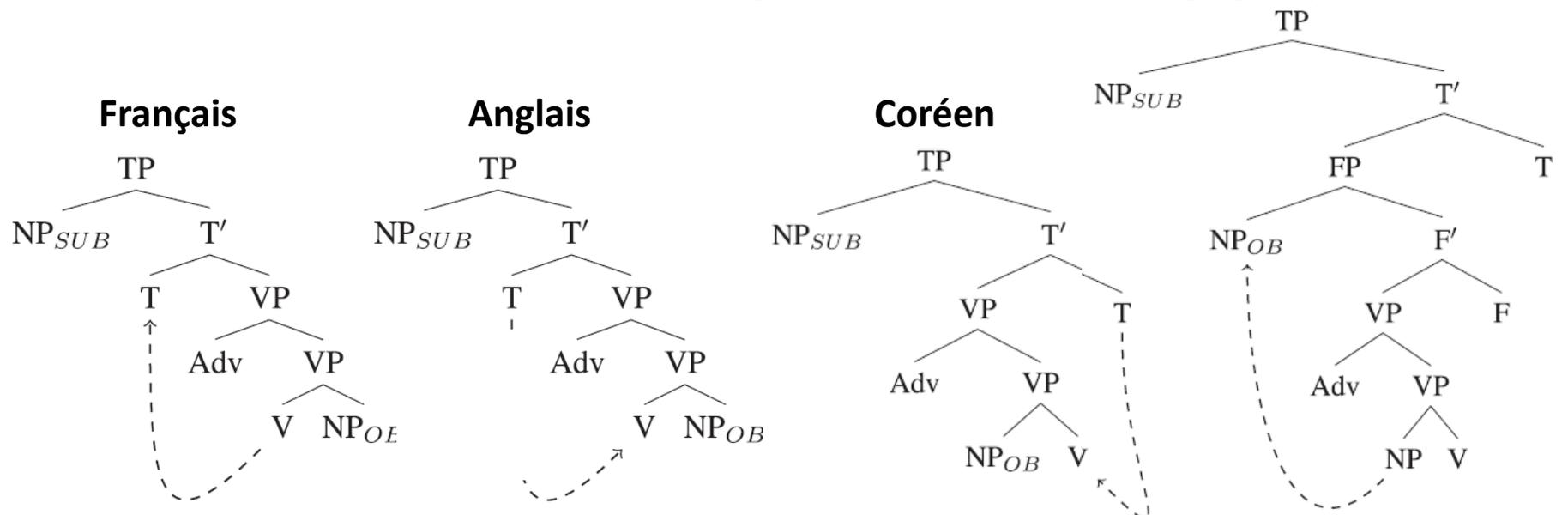
T': Verbe conjugué (Dort, Dort pas, Porte un camion, etc...)

VP: Verbe à l'infinitif (Dormir, Porter un camion, Pas dormir, Vite partir, etc...)

Mais jamais on ne peut avoir un sujet en début de phrase suivi d'un verbe à l'infinitif

L'acquisition du coréen: un exemple de stabilisation sélective d'un paramètre syntaxique

Han, C.-H., Musolino, J., & Lidz, J. (2016). Endogenous sources of variation in language acquisition. *PNAS*.



Kim critique souvent Lee.

Kim criticizes often Lee

Kim-i cacwu Lee-lul piphanha-n-ta.

Litt: « Kim souvent Lee critique »

Khwuki monste-ka motun

khwuki-lul an mek-ess-ta.

« Cookie Monster EVERY
cookie NEG eat »

Han et al. suggèrent que les enfants coréens ont un problème :

L'immense majorité des phrases qu'ils entendent ne leur permettent pas de savoir si leur langue fonctionne comme le français (mouvement $V \rightarrow T$) ou comme l'anglais (mouvement $T \rightarrow V$).

Les linguistes, eux, prédisent qu'il doit y avoir deux grammaires possibles.

Ils ont le même problème que les enfants, mais disposent d'un test : les phrases du type « "Cookie monster didn't eat every cookie." »

Un test d'acceptabilité permet de déterminer l'interprétation que les locuteurs donnent à cette phrase: NEG>EVERY ou EVERY>NEG



mange 2
cookies sur 3
ou bien
mange
tous les
cookies

L'acquisition du coréen: un exemple de stabilisation sélective d'un paramètre syntaxique

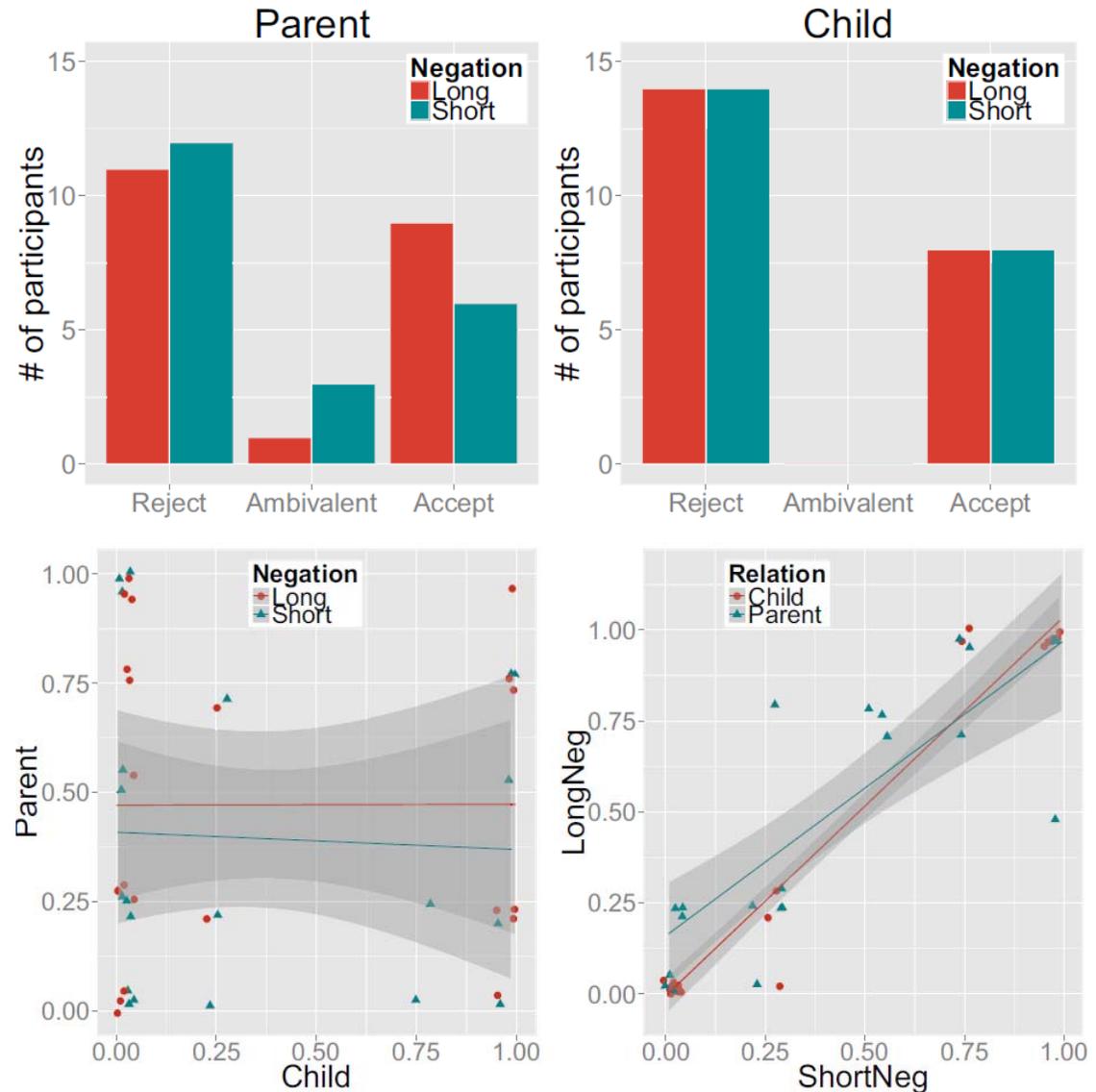
Han, C.-H., Musolino, J., & Lidz, J. (2016). Endogenous sources of variation in language acquisition. *PNAS*.

Des tests de ce type avaient été employés par le passé, mais ils avaient donné des résultats ambigus et n'avaient pas permis de déterminer la nature du mouvement en coréen.

Le nouveau travail explique pourquoi.

1. Différents locuteurs ne s'accordent pas nécessairement sur l'interprétation des phrases.
2. Cependant, la distribution des réponses est bimodale: *un locuteur donné* donne toujours la même réponse, même dans des contextes différents (deux négations) et à un mois d'intervalle.
3. Les enfants de 4 ans ont également une interprétation stable – mais sans corrélation avec celle de leurs parents.

Conclusion: En l'absence de données suffisantes, la grammaire impose que les enfants basculent dans l'une ou l'autre de deux interprétations binaires.



Marqueurs cérébraux du traitement de la syntaxe avant deux ans

Bernal, S., Dehaene-Lambertz, G., Millotte, S., & Christophe, A. (2010). Two-year-olds compute syntactic structure on-line. *Developmental Science*, 13(1), 69–76.

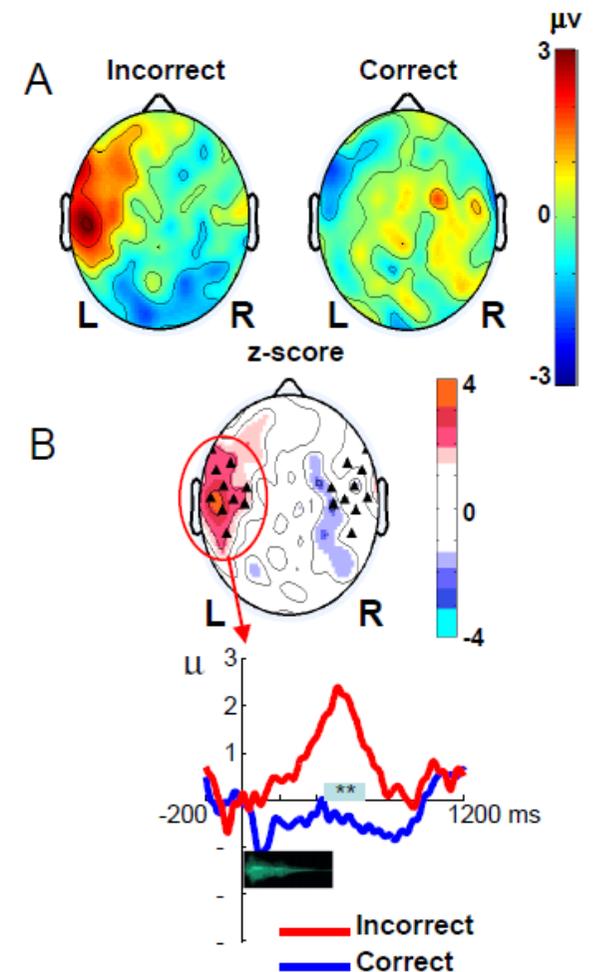
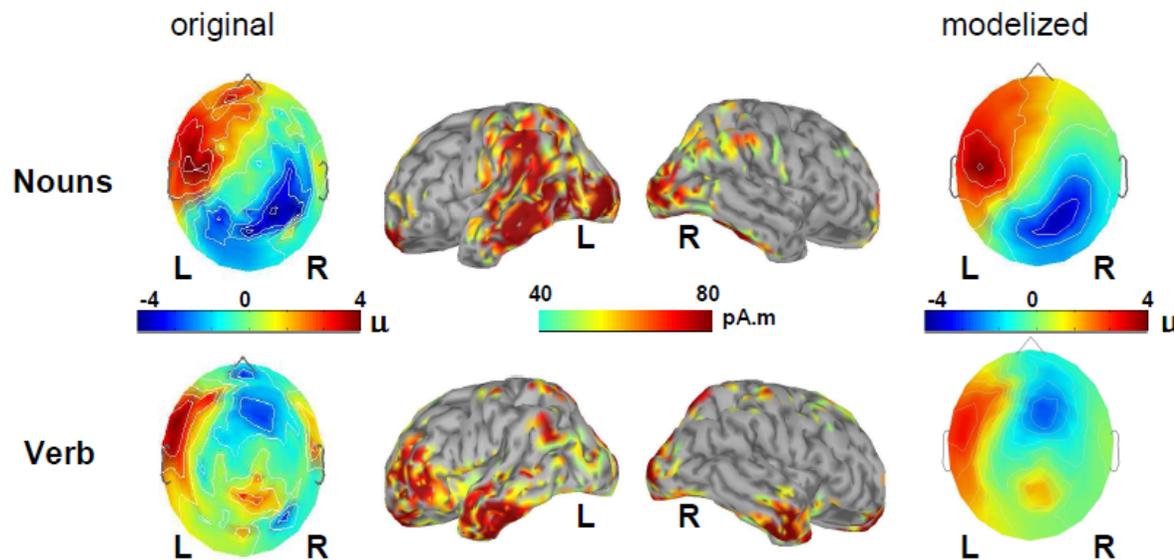
Des enfants de 24 mois écoutent une histoire où interviennent des noms et des verbes:

"Sur ma table, je vois une girafe (N) qui va à l'école. Elle regarde (V) la poule. Etc."

Introduction de violations: "la poule la (V) regarde aussi. (Correct) Pourtant elle la girafe très vite!"

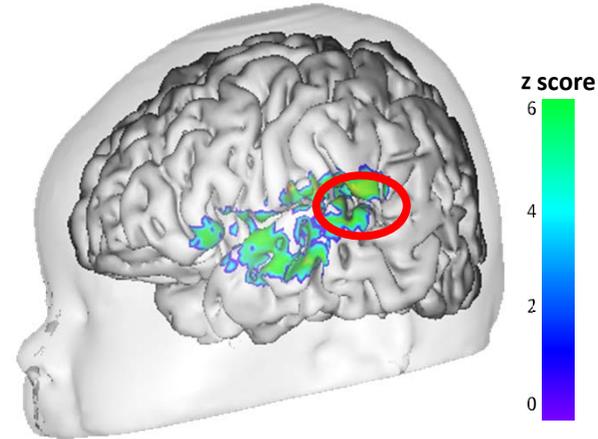
Incorrect	Correct
*La fille prend la mange <i>(The girl takes the eat)</i>	Alors elle la mange <i>(Then she eats it)</i>
*Alors il la fraise <i>(Then he strawberries it)</i>	La poule prend la fraise <i>(The chicken takes the strawberry)</i>

L'enregistrement des potentiels évoqués montre une réponse rapide aux violations, latéralisée à gauche.





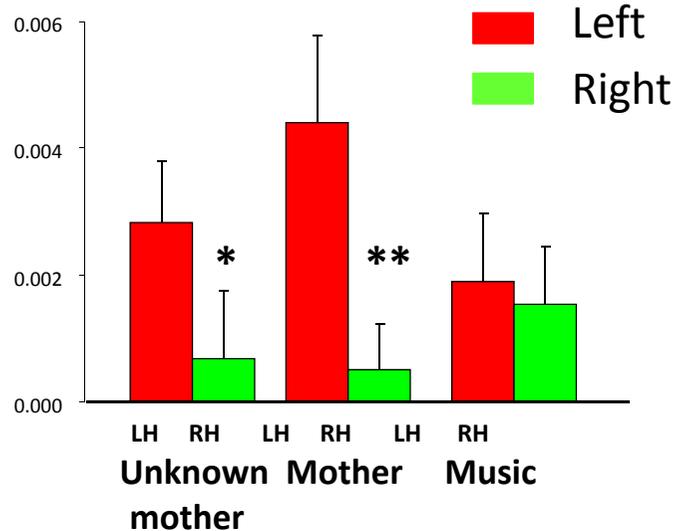
Le réseau des aires cérébrales du langage répond à la langue maternelle chez le bébé de quelques mois.



Dehaene-Lambertz et al, Science, 2002

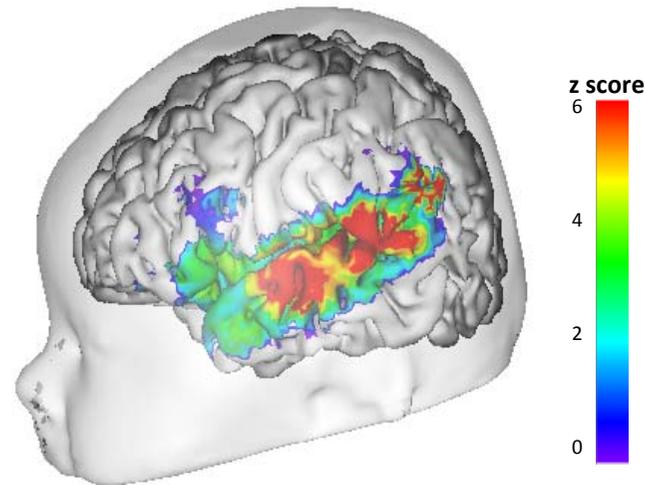
20 bébés de trois mois

Présentation de phrases à l'endroit ou à l'envers, en blocs
 → Activation de l'ensemble du réseau du langage, y compris l'aire de Broca
 → La réponse du *Planum Temporale* est asymétrique en faveur de la gauche.



Dehaene-Lambertz et al, Brain and Language, 2010
 7 bébés de trois mois

→ Préférence pour la voix maternelle
 → Asymétrie de la réponse du *Planum Temporale* pour le langage mais pas la musique



Dehaene-Lambertz et al, PNAS, 2006

10 bébés de trois mois

Présentation de phrases une par une (1 phrase toutes les 14 secondes)
 → Réplication
 → Observation d'un effet de mémoire pour les phrases répétées, circonscrit à l'aire « de Broca »

Spécialisation pour le langage chez le bébé: une réplication récente

Shultz, S., Vouloumanos, A., Bennett, R. H., & Pelphey, K. (2014). Neural specialization for speech in the first months of life. *Developmental Science*, 17(5), 766–774.

Réplication d'un réseau d'aires spécialisées de l'hémisphère gauche pour la parole par rapport à d'autres sons biologiques

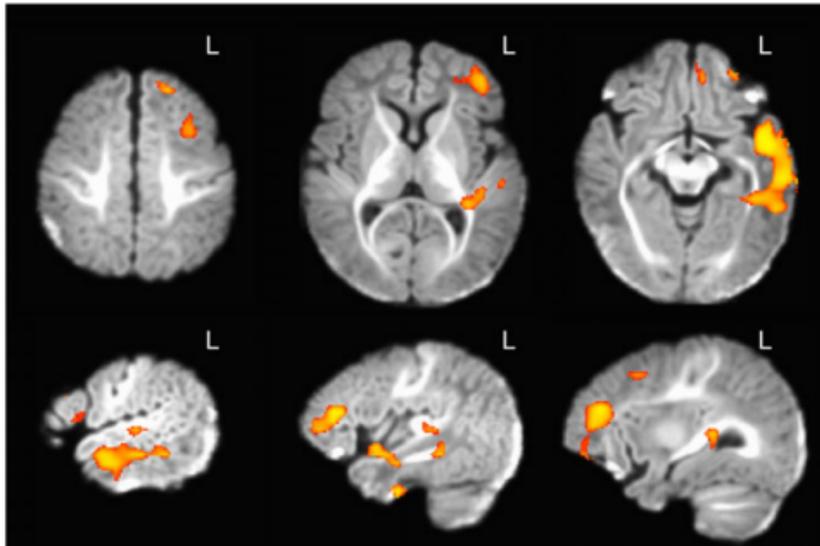
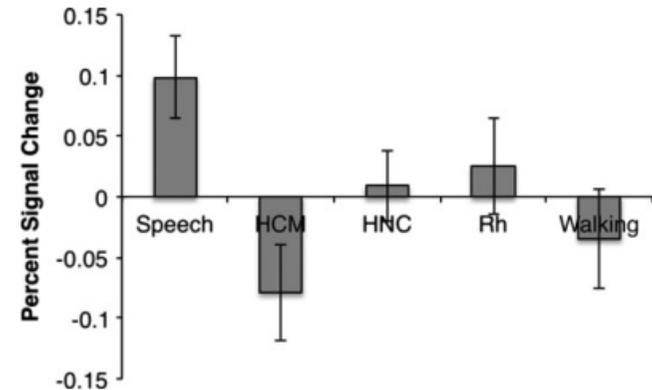
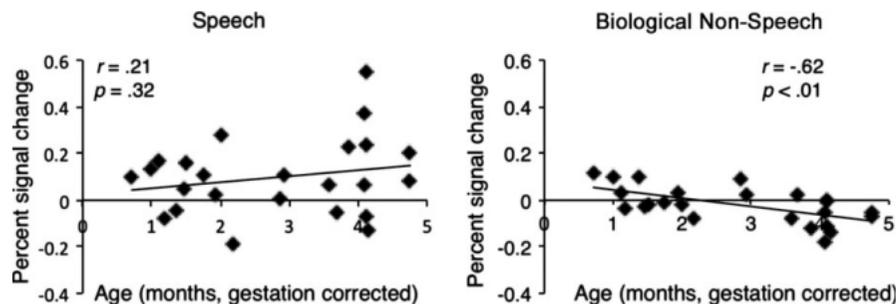


Figure 2 Axial and sagittal views of activation evoked to speech compared to biological non-speech sounds (voxel

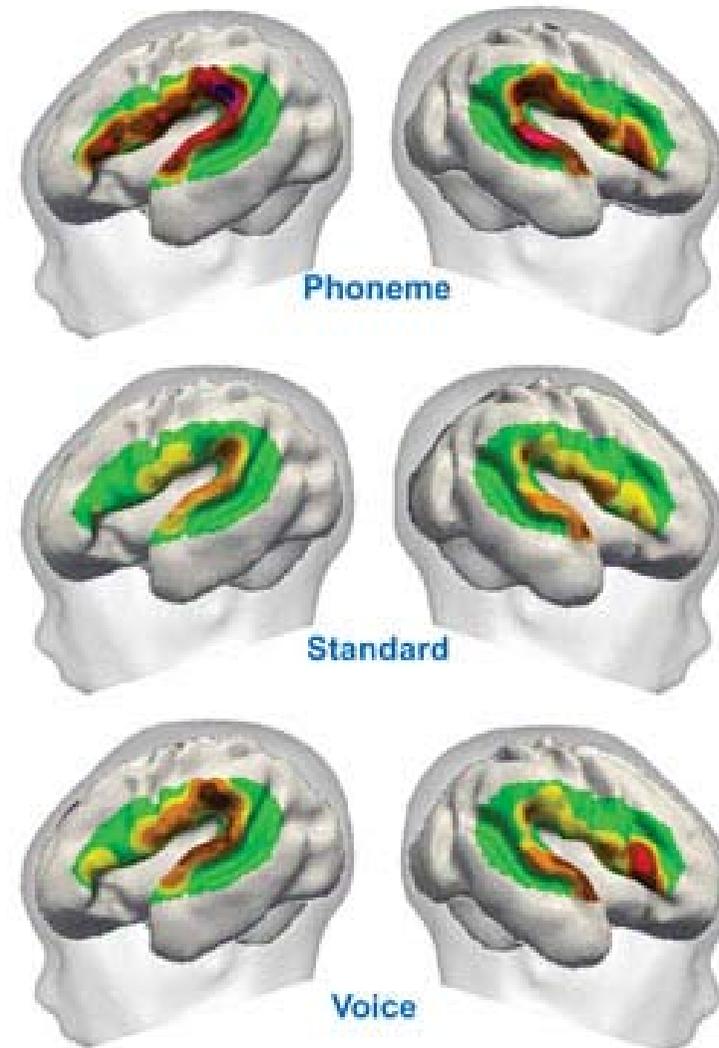


- Parole (speech)
- Vocalisations humaines communicatives non-linguistiques (HCM)
- Vocalisations humaines non-communicatives non-linguistiques (HNC)
- Vocalisations de singes macaques (Rh)
- Bruit d'une personne qui marche (Walking)

L'examen de la moyenne des réponses du cortex temporal gauche, en fonction de l'âge, suggère que cette spécialisation augmente rapidement dans les premiers mois de vie.

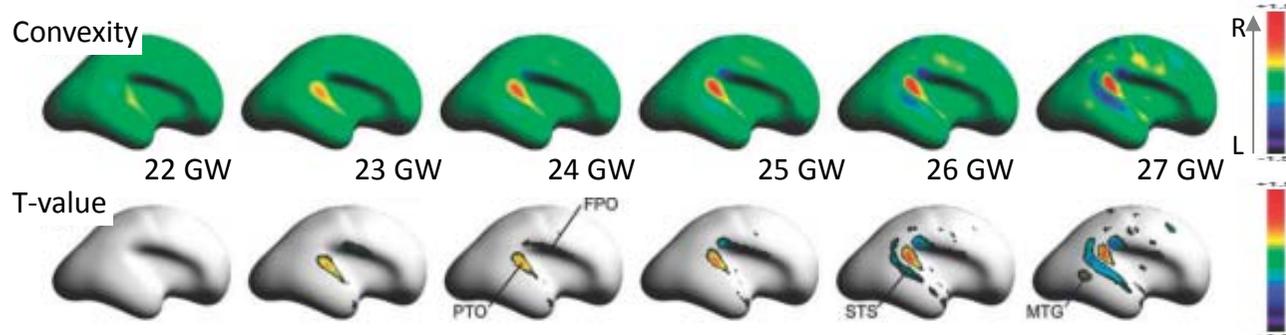
Une réponse à la nouveauté auditive chez le prématuré de 31 semaines

Mahmoudzadeh, M., Dehaene-Lambertz, G., Fournier, M., Kongolo, G., Godjil, S., Dubois, J., Grebe, R. & Wallois, F. (PNAS, 2013). Syllabic discrimination in premature human infants prior to complete formation of cortical layers.



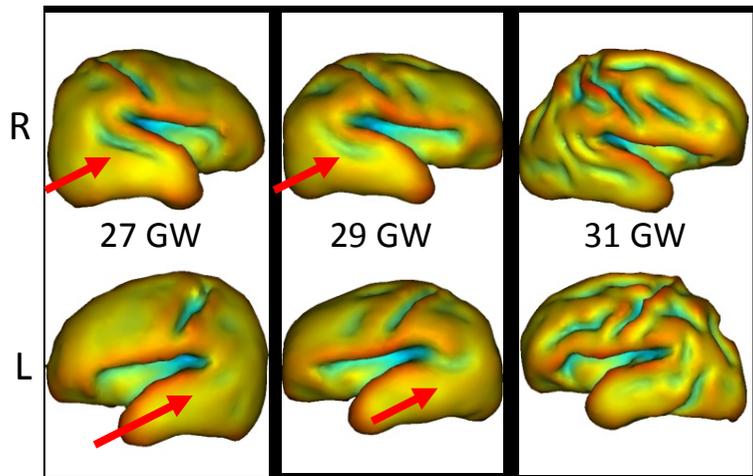
Asymétries hémisphériques anatomiques très précoces

Chez le fœtus, une asymétrie est déjà présente dans la région temporale.



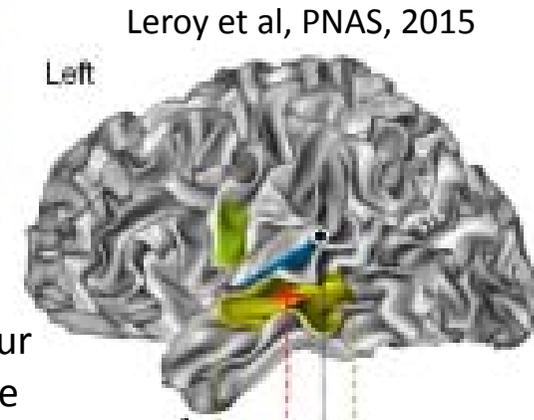
Habas, avec Studholme, Cerebral Cortex, 2011

L'imagerie cérébrale des enfants prématurés montre une asymétrie de profondeur du sillon temporal supérieur

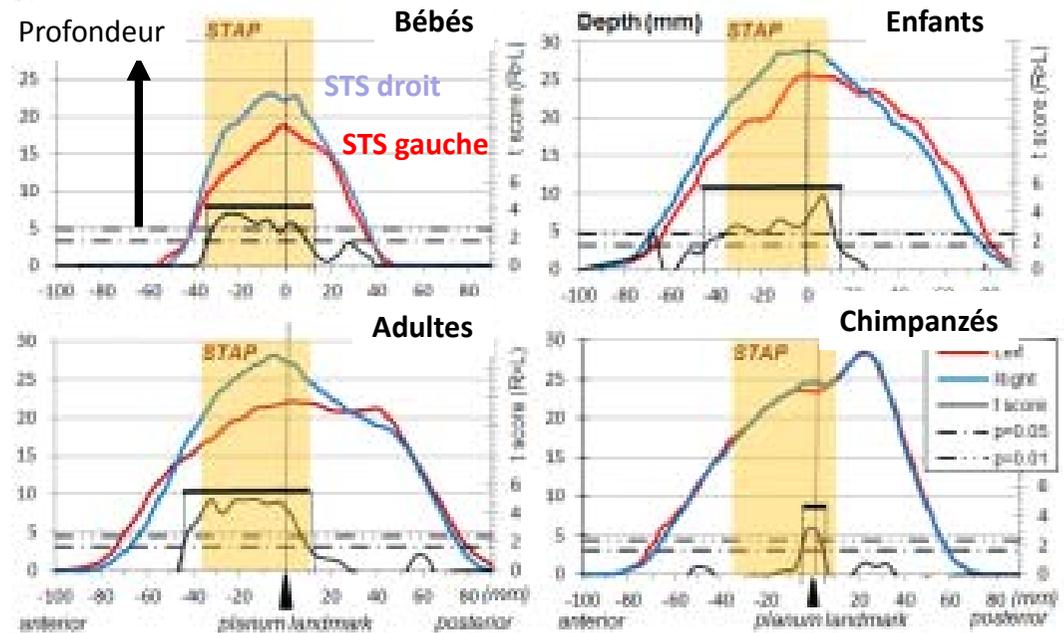


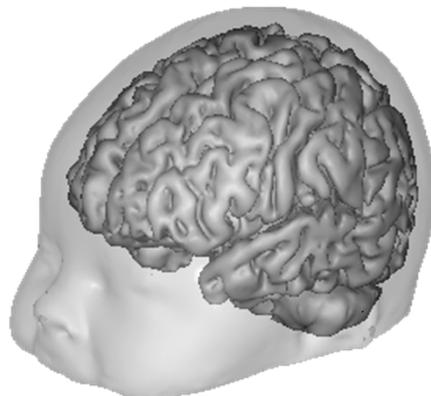
Jessica Dubois, avec Hüppi, 2007

Le STAP (*superior temporal asymmetric pit*) est un marqueur spécifique de l'espèce humaine



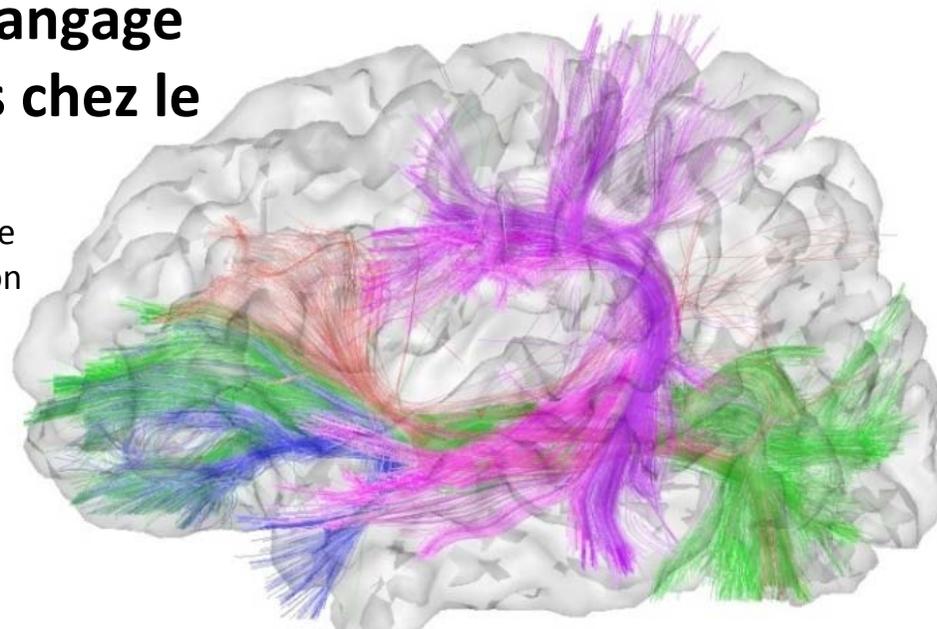
Leroy et al, PNAS, 2015



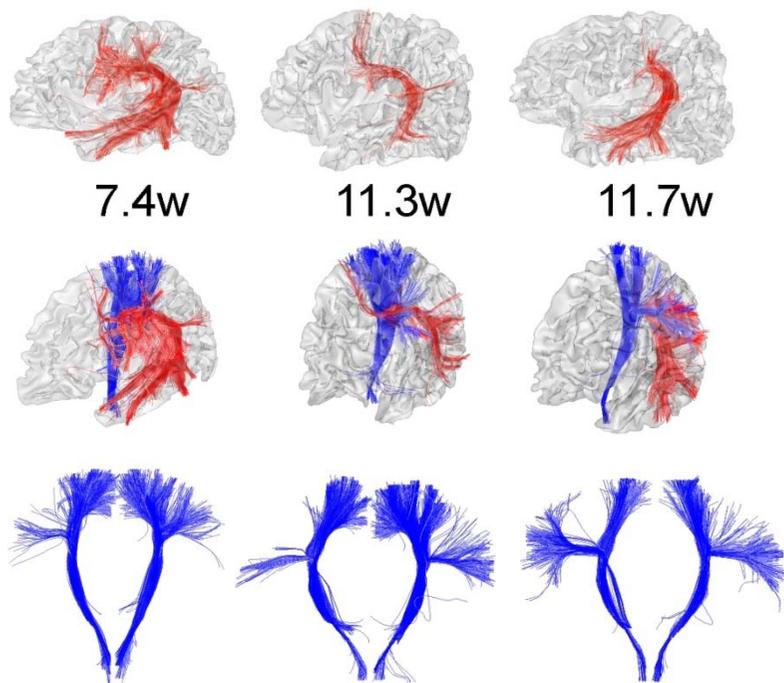


Les faisceaux du langage sont déjà présents chez le nourrisson

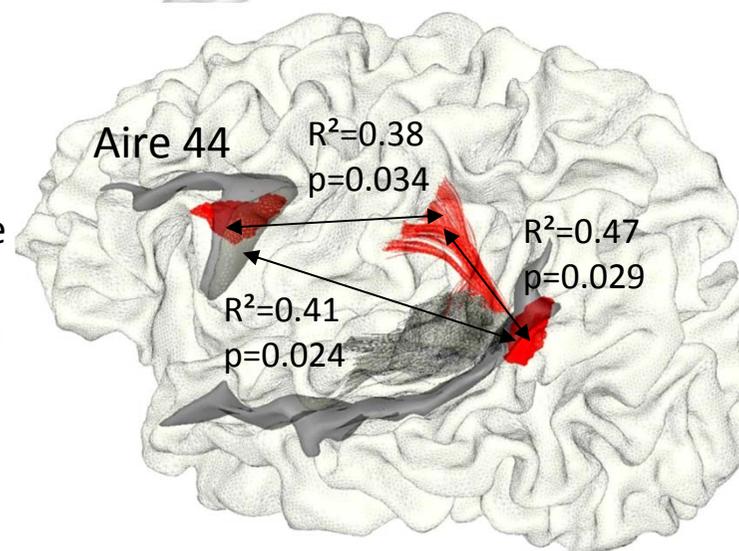
Dubois et al. (2015). Exploring the Early Organization and Maturation of Linguistic Pathways in the Human Infant Brain. *Cerebral Cortex*.



Un mot de prudence: la reconstruction des faisceaux peut être affectée par la présence de faisceaux perpendiculaires, surtout s'ils sont mieux myélinisés.



La voie dorsale présente une maturation rapide entre 2 et 20 semaines après la naissance.



Leroy, F., Glasel, H., Dubois, J., Hertz-Pannier, L., Thirion, B., Mangin, J. F., & Dehaene-Lambertz, G. (2011). Early maturation of the linguistic dorsal pathway in human infants. *J Neurosci*, 31(4), 1500–6.

Un déficit ponctuel en thiamine (vitamine B1) dans la première année de vie entraîne un déficit syntaxique

Fattal, I., Friedmann, N., & Fattal-Valevski, A. (2011). The crucial role of thiamine in the development of syntax and lexical retrieval: a study of infantile thiamine deficiency. *Brain: A Journal of Neurology*, 134(Pt 6), 1720–1739.

En Novembre 2003, en Israël, 20 nourrissons sont hospitalisés dans un état neurologique grave.

Il s'avère que tous ces enfants sont alimentés avec un lait de substitution à base de soja.

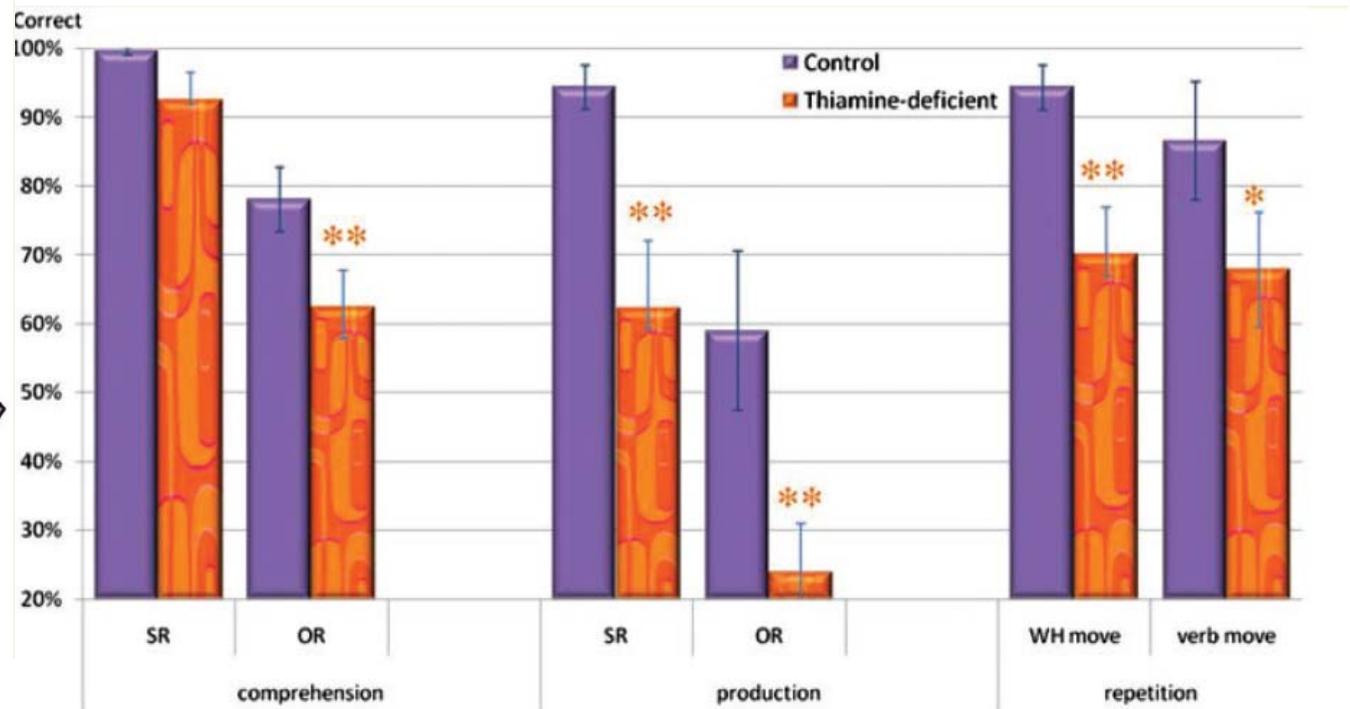
Pendant une courte période, le lait a cessé d'être enrichi en thiamine (vitamine B1).

Très vite, les enfants ont été réalimentés convenablement.

Ils semblent avoir acquis un langage normal, mais Naama Friedmann et ses collaborateurs démontrent l'existence d'un important déficit syntaxique, particulièrement pour les phrases relatives objet.



« Montre-moi
la fille que la femme dessine »



Le déficit en thiamine entraîne souvent un manque du mot (*lexical retrieval*) mais presque jamais de déficit sémantique

La très grande majorité des enfants présentent un déficit syntaxique.

Bon nombre d'entre eux présentent également un déficit en dénomination d'images (qui pourrait être la conséquence du déficit syntaxique)

L'association conceptuelles d'images est presque toujours intacte.

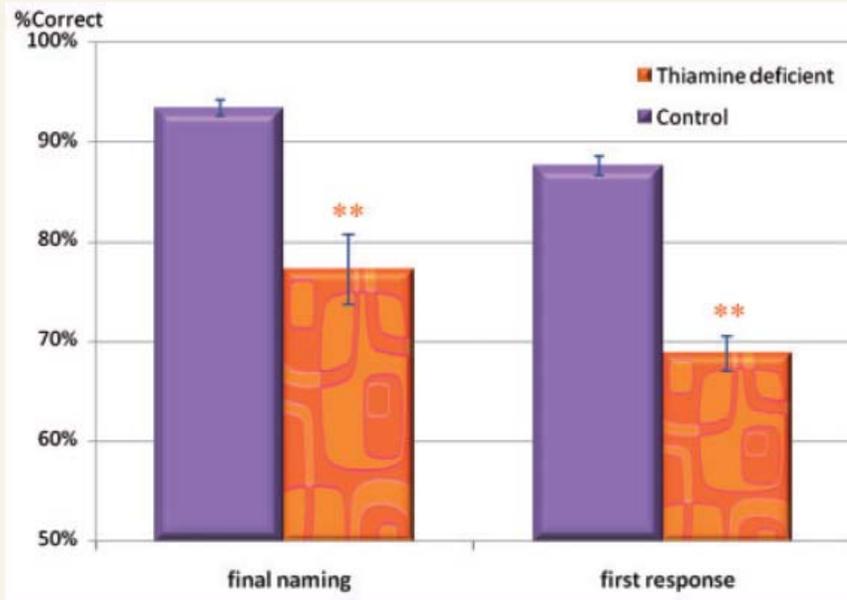
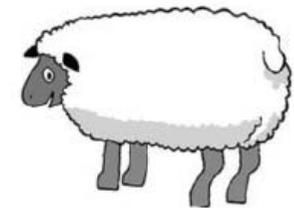
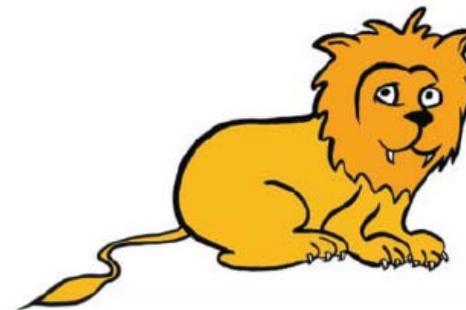


Figure 3 A summary of the performance of the two groups in the lexical retrieval task: percentage of correct naming and percentage of correct first response. Error bars present 95% CI. $**P < 0.0001$ in the comparison between the groups in each structure.

Bonne réussite générale (95.3% correct, contre 96.9 dans le groupe contrôle). Seuls 5 enfants ont un (léger) déficit.

Les toutes premières années de vie constituent une période critique pour l'acquisition de la phonologie, mais aussi de la syntaxe

Convergence avec d'autres études

- Chez les enfants sauvages ou maltraités (cas de Genie, anomalies massives de syntaxe)
- chez les enfants sourds appareillés:

Friedmann, N., & Szterman, R. (2006). Syntactic movement in orally trained children with hearing impairment. *Journal of Deaf Studies and Deaf Education*, 11(1), 56–75.

Friedmann, N., & Szterman, R. (2011). The comprehension and production of Wh-questions in deaf and hard-of-hearing children. *Journal of deaf studies and deaf education*, 16(2), 212-235.

Etude de la compréhension et de la production des phrases avec mouvement syntaxique chez des enfants hébreux atteints de surdité modérée à profonde.

La performance corrèle avec l'âge auquel a eu lieu la pose d'un implant cochléaire : seuls les enfants implantés avant l'âge de 1 an ont des performances normales.

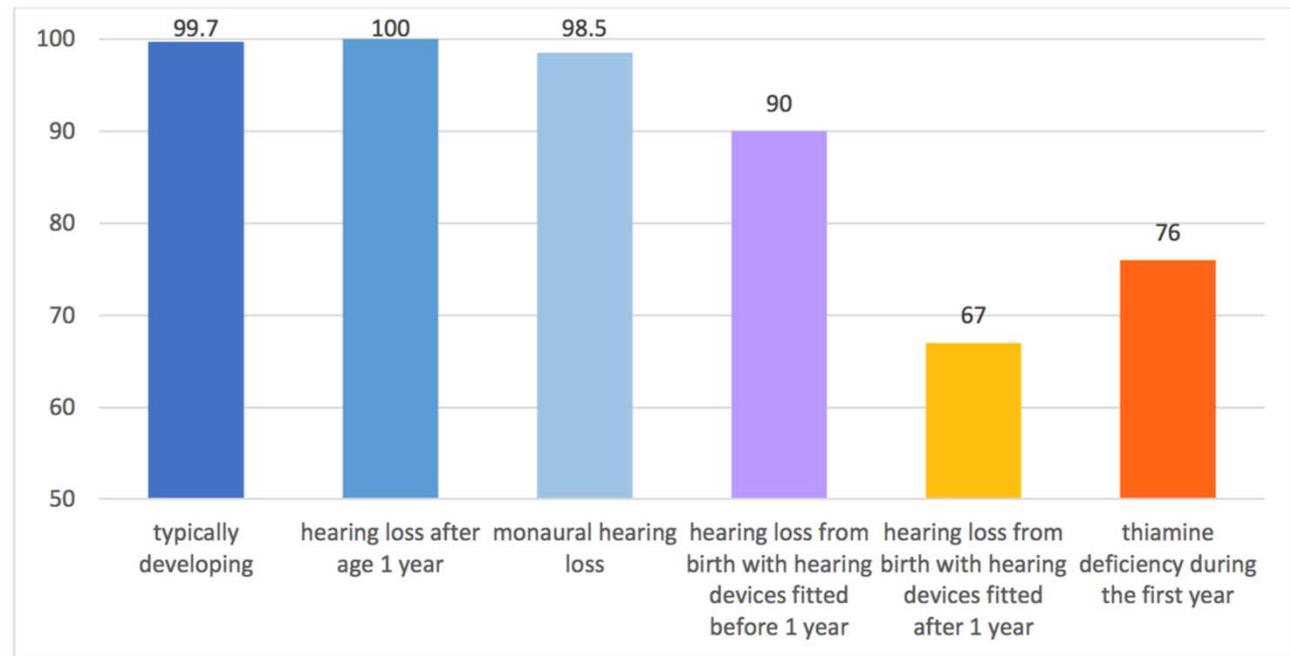


Figure 1. The comprehension of structures derived by Wh-movement (object relatives, object questions, and topicalization), in a sentence-picture matching task in various groups differing on language input and brain development during the critical period for the acquisition of syntax in a first language: the first year of life.

S'il existe une période critique précoce pour l'acquisition de la première langue, l'apprentissage reste longtemps « réversible »

- L'exposition précoce est essentielle, mais le réseau reste plastique tardivement
- Cas des **hémisphérotomies**: l'apprentissage de structures linguistiques reste possible lorsque l'hémisphère gauche est lésé avant dix ans.

Vargha-Khadem, F., Carr, L. J., Isaacs, E., Brett, E., Adams, C., & Mishkin, M. (1997). Onset of speech after left hemispherectomy in a nine-year-old boy. *Brain*, 120(Pt 1), 159–82.

(Maladie de Sturge-Weber)

Hertz-Pannier, L., Chiron, C., Jambaqué, I., Renaux-Kieffer, V., Van de Moortele, P.-F., Delalande, O., ... Le Bihan, D. (2002). Late plasticity for language in a child's non-dominant hemisphere: a pre- and post-surgery fMRI study. *Brain: A Journal of Neurology*, 125(Pt 2), 361–372.

(encéphalite de Rasmussen).

- **Cas des enfants adoptés**: Le réseau de la langue maternelle peut encore s'orienter vers une seconde langue jusqu'aux alentours de 10 ans.

Pallier, C., Dehaene, S., Poline, J. B., LeBihan, D., Argenti, A. M., Dupoux, E., et al. (2003). Brain imaging of language plasticity in adopted adults: can a second language replace the first? *Cereb Cortex*, 13(2), 155-161.

Représentation cérébrale de la langue des signes :

Le réseau du langage s'active spécifiquement, uniquement chez les locuteurs natifs

Newman, A. J., Supalla, T., Fernandez, N., Newport, E. L., & Bavelier, D. (2015). Neural systems supporting linguistic structure, linguistic experience, and symbolic communication in sign language and gesture. *PNAS*, 112(37), 11684–11689.

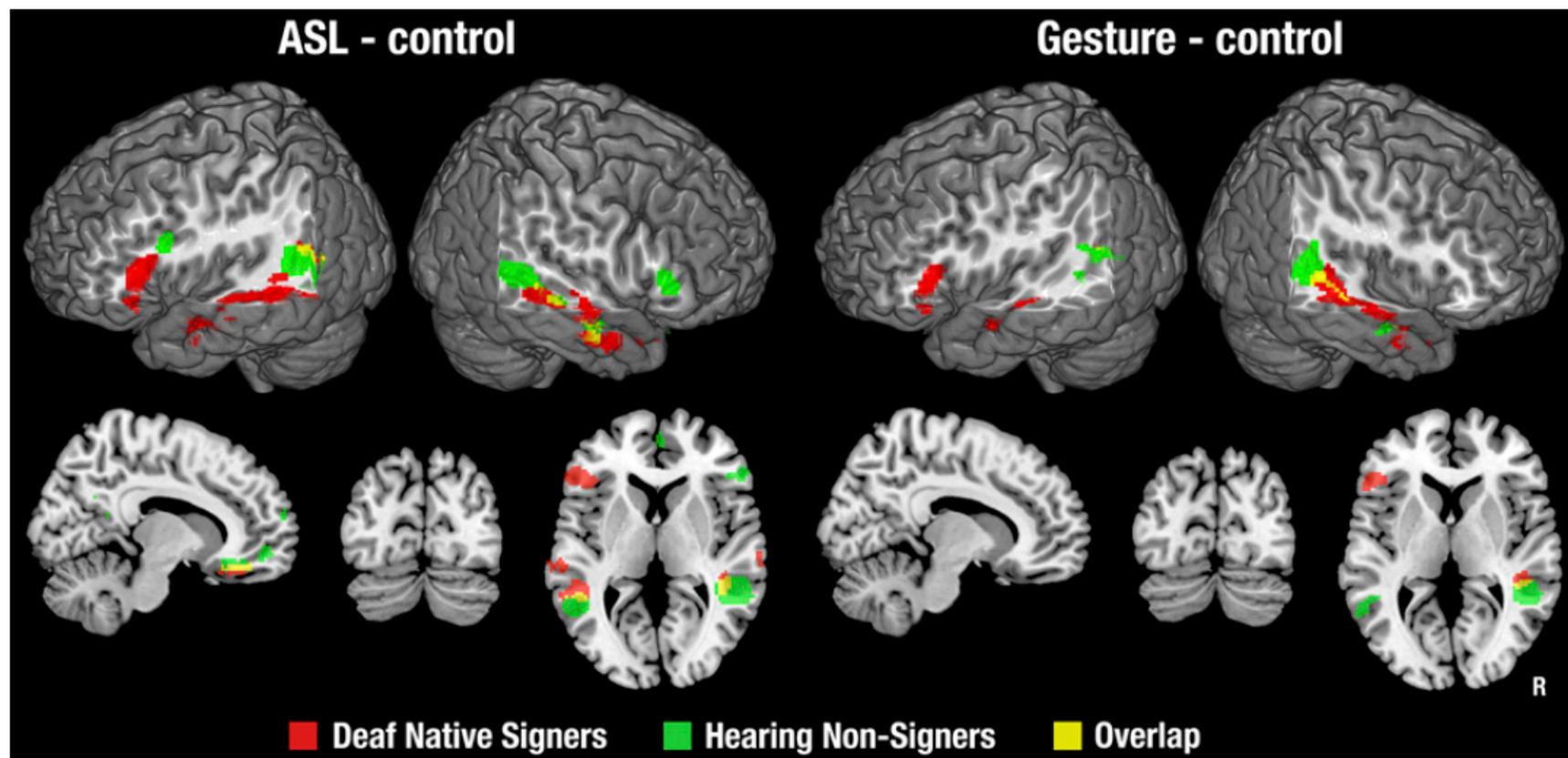
Deux groupes de sujets:

- adultes sourds, locuteurs natifs de l'*American Sign Language (ASL)*
- adultes entendants, ne parlant pas la langue des signes.

Des vidéos décrivent le mouvement d'un objet, soit en langue des signes, soit avec des gestes usuels.

Contrôle = les mêmes vidéos jouées à l'envers.

Résultat: La langue des signes active les aires du langage, uniquement chez ceux qui l'ont appris.



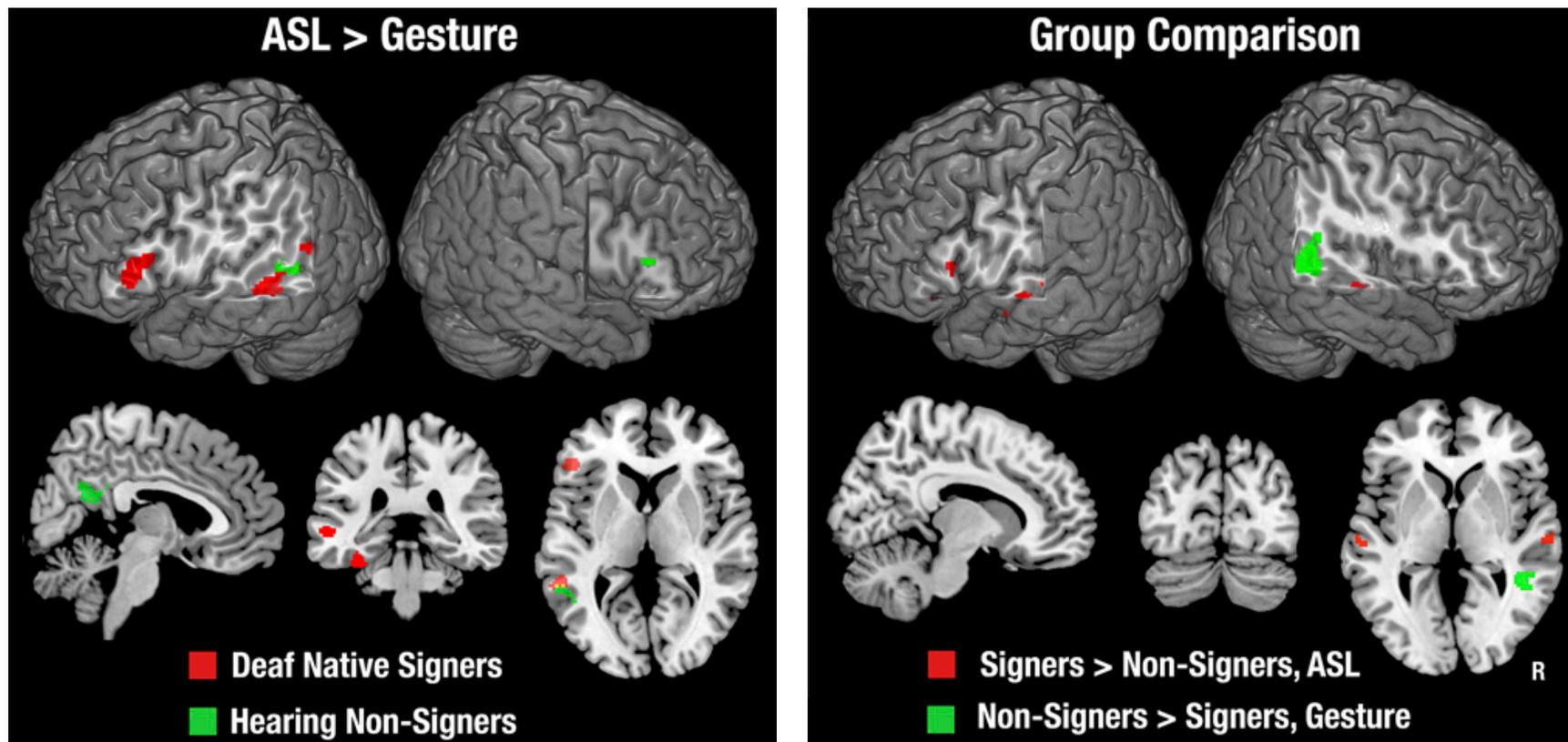
Représentation cérébrale de la langue des signes :

Le réseau du langage s'active spécifiquement, uniquement chez les locuteurs natifs

Newman, A. J., Supalla, T., Fernandez, N., Newport, E. L., & Bavelier, D. (2015). Neural systems supporting linguistic structure, linguistic experience, and symbolic communication in sign language and gesture. *PNAS*, 112(37), 11684–11689.

Lorsque l'on compare directement les deux sortes de stimuli (ASL versus gestes non-linguistiques), on observe une activation latéralisée à gauche du gyrus temporal inférieur (« Broca ») et du sillon temporal supérieur gauche, uniquement chez les locuteurs de l'ASL.

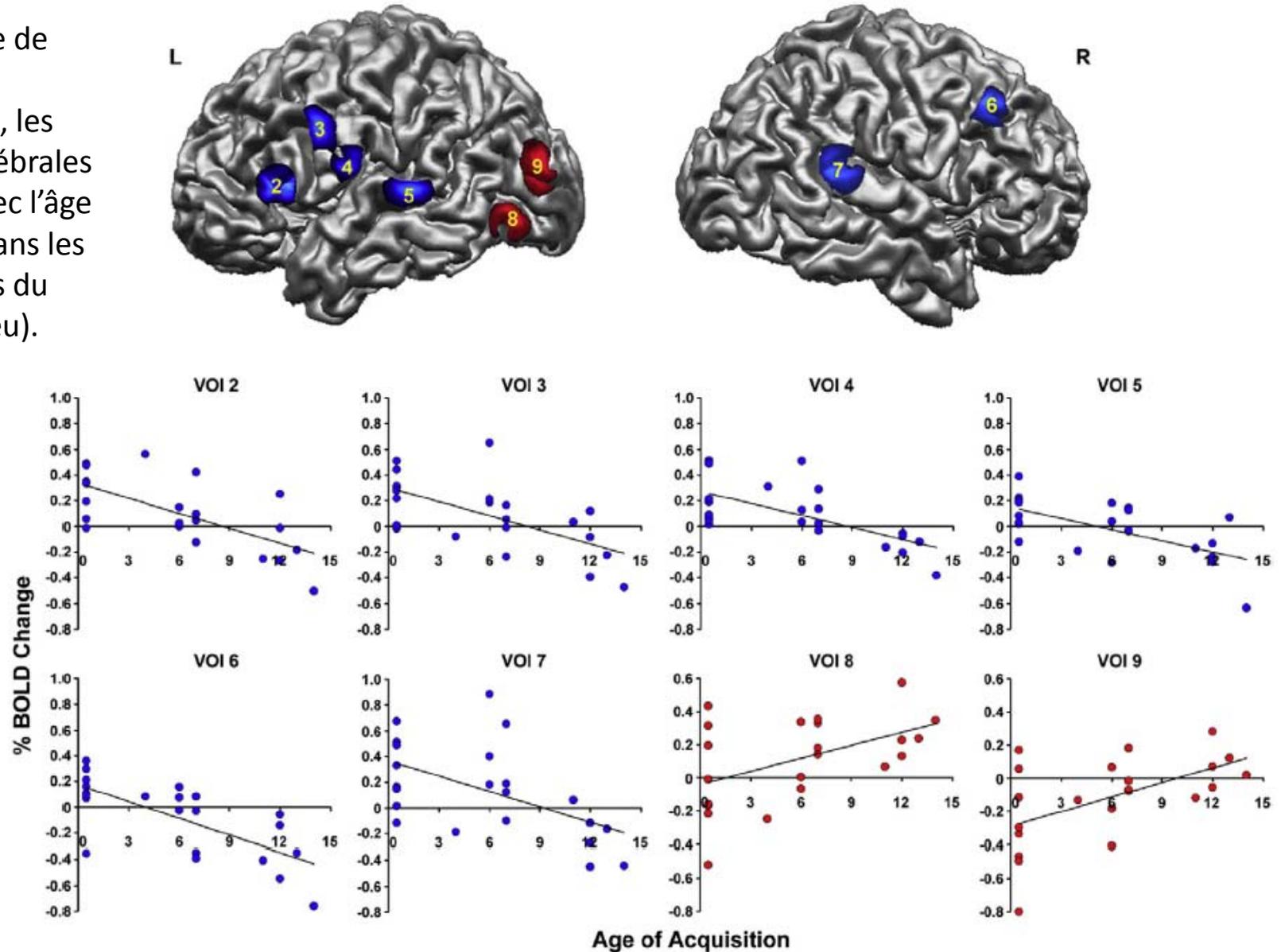
Les sujets qui ne connaissent pas l'ASL ont plutôt plus d'activation pour les gestes non-linguistiques (qu'ils comprennent), dans une région droite peut-être associée à la compréhension du mouvement biologique.



Effet de l'âge d'acquisition de la langue des signes (première langue)

Mayberry, R. I., Chen, J. K., Witcher, P., & Klein, D. (2011). Age of acquisition effects on the functional organization of language in the adult brain. *Brain Lang*, 119(1), 16-29.

Dans une tâche de jugement de grammaticalité, les activations cérébrales décroissent avec l'âge d'acquisition dans les aires classiques du langage (en bleu).



L'instinct du langage : même chez l'adulte, l'aire « de Broca » n'apprend que les règles pertinentes sur le plan linguistique.

Musso, M., Moro, A., Glauche, V., Rijntjes, M., Reichenbach, J., Buchel, C., & Weiller, C. (2003). Broca's area and the language instinct. *Nat Neurosci*, 6(7), 774-781.

Une idée simple : scanner des sujets au cours de l'acquisition de règles syntaxiques qui, soit, respectent les règles de la « grammaire universelle », soit les violent.

Règles authentiques	Italian (real language learning task)	German (native language of subjects)
Null-subject parameter	Mangio la pera "Eat the pear"	Ich esse die Birne "I eat the pear"
Passive construction	La pera è mangiata da Paolo "The pear is eaten by Paolo"	Die Birne wird von Paul gegessen "The pear is by Paul eaten"
Subordinate construction	Pia dice che Paolo mangia la pera "Pia says that Paolo eats the pear"	Pia sagt, dass Paul die Birne isst "Pia says that Paolo the pear eats"
Règles non-réalistes	Unreal Italian (artificial rules violating UG)	
Negative construction	Paolo mangia la no pera "Paolo eats the no pear"	
Interrogative construction	Pera la mangia Paolo "Pear the eats paolo"	
Use of indefinite article	Una bambino mangia una pera "A (fem.) child (masc.) eats a (fem.) pear (fem.)"	

L'instinct du langage : même chez l'adulte, l'aire « de Broca » n'apprend que les règles pertinentes sur le plan linguistique.

Musso, M., Moro, A., Glauche, V., Rijntjes, M., Reichenbach, J., Buchel, C., & Weiller, C. (2003). Broca's area and the language instinct. *Nat Neurosci*, 6(7), 774-781.

Réplication avec un deuxième groupe de sujets qui apprend les règles du japonais:

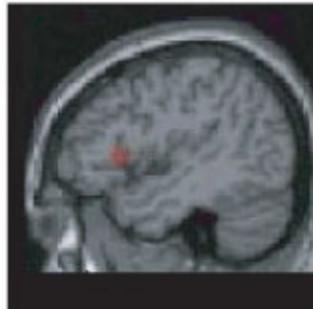
Règles authentiques	Japanese (real language learning task)	German (native language of subjects)
Main clause construction	Paul wa nashi o taberu "Paul pear eat"	Paul ißt die Birne "Paul eats the pear"
Passive construction	Nashi wa Paul ni taberareru "Pear Paul eat-passive suffix"	Die Birne wird von Paul gegessen "The pear is by Paul eaten"
Subordinate construction	Pia wa Paul ga nashi o taberu to iu "Pia Paul pear eat that says"	Pia sagt, dass Paul die Birne isst "Pia says that Paolo the pear eats"
Règles non-réalistes	Unreal Japanese (artificial rules violating UG)	
Negative construction	Paul wa nashi nai o taberu Paul pear eat no	
Interrogative construction	Taberu o nashi wa Paul Pear eat Paul	
Past-tense construction	Paul wa nashi o-ta taberu Paul pear-ta (suffix past) eat	

L'instinct du langage et l'aire de Broca

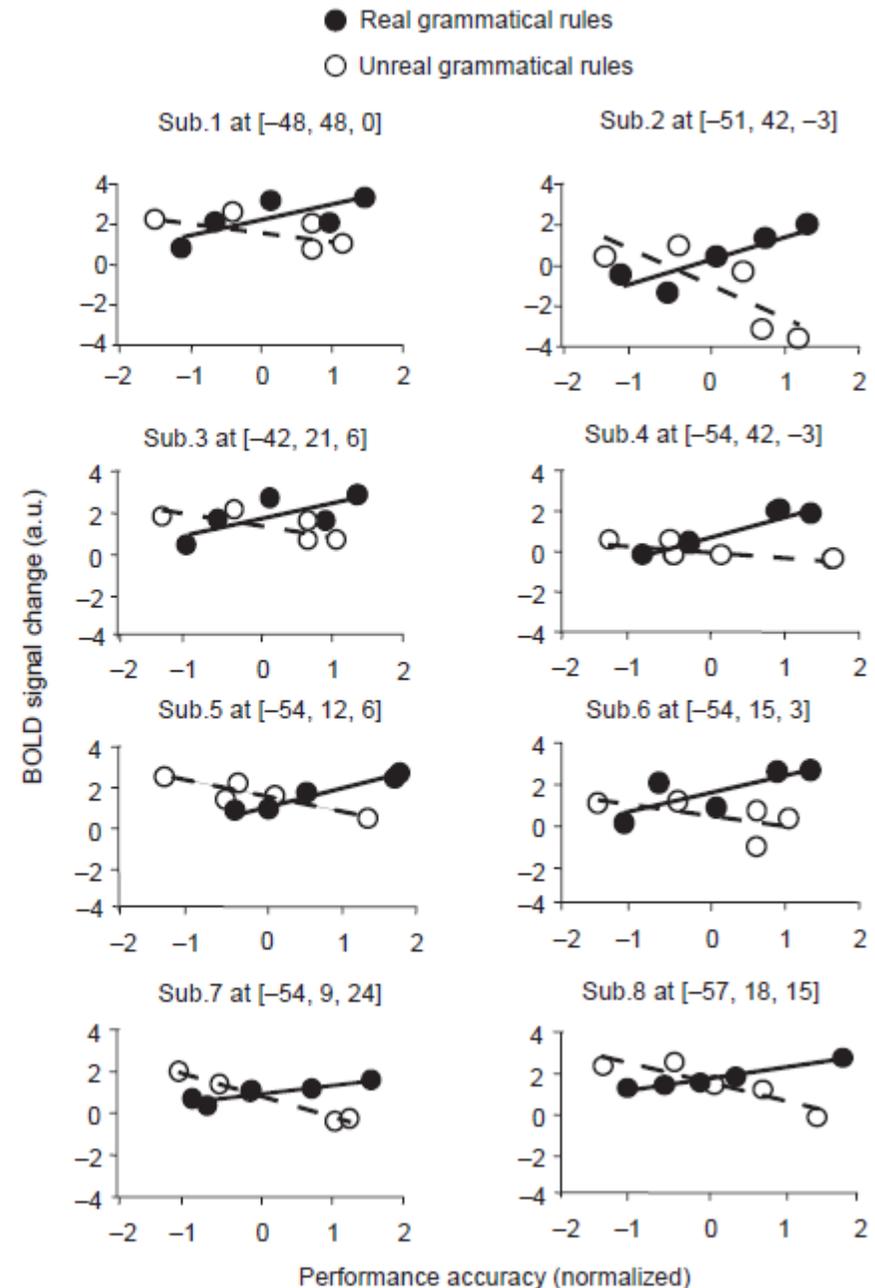
Tâche = jugement de « grammaticalité »

- Au niveau du comportement, les sujets apprennent aussi bien les deux sortes de règles.

- Par contre, seules les vraies règles grammaticales conduisent à une augmentation progressive de l'activation dans la région frontale inférieure gauche (« Broca »), tandis que l'activité décroît plutôt pour les règles non-linguistiques.



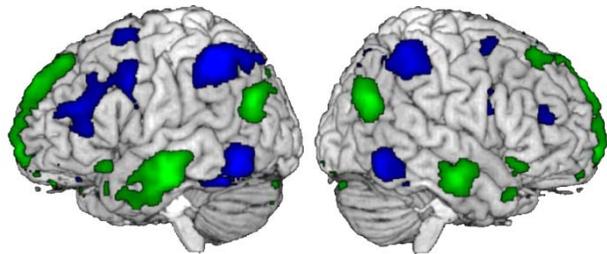
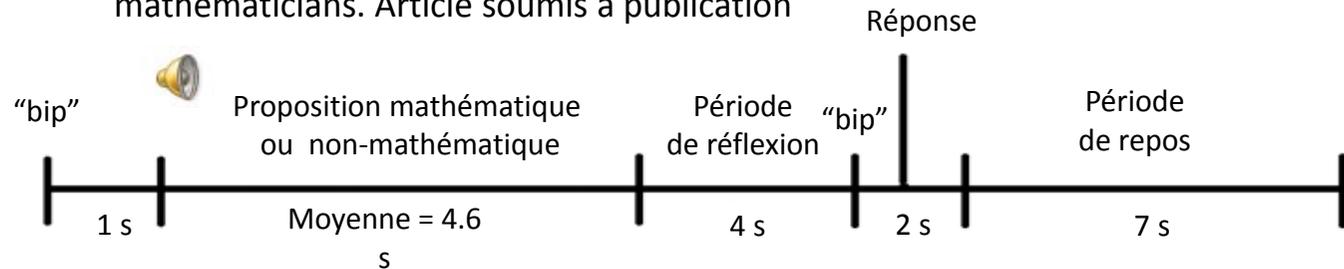
[-45, 21, 6]



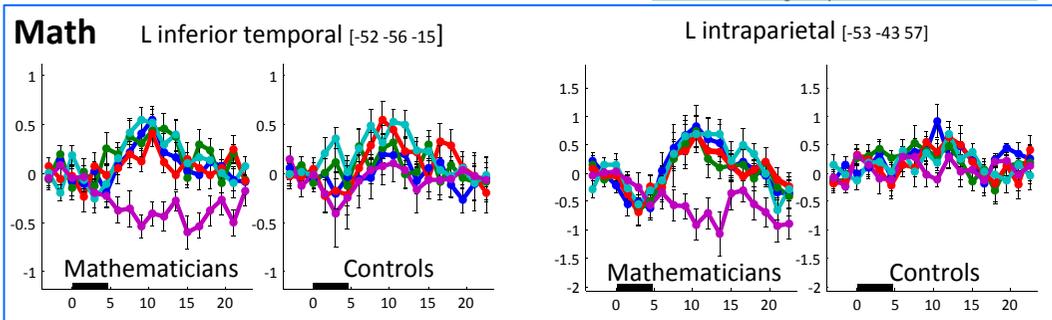
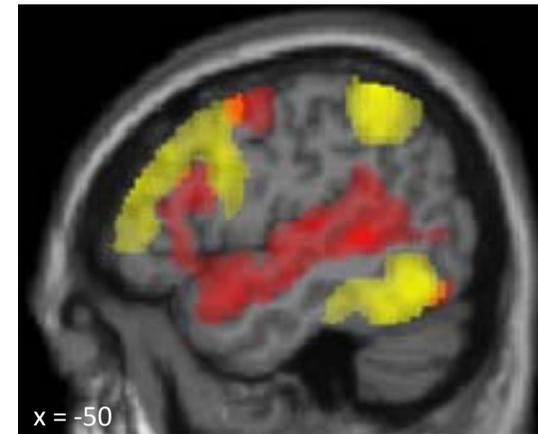
L'apprentissage des mathématiques n'active pas les aires du langage

Amalric, M., & Dehaene, S. (2016). Origins of the brain networks for advanced mathematics in expert mathematicians. Article soumis à publication

Tâche principale = jugement rapide, intuitif de la véracité de phrases parlées



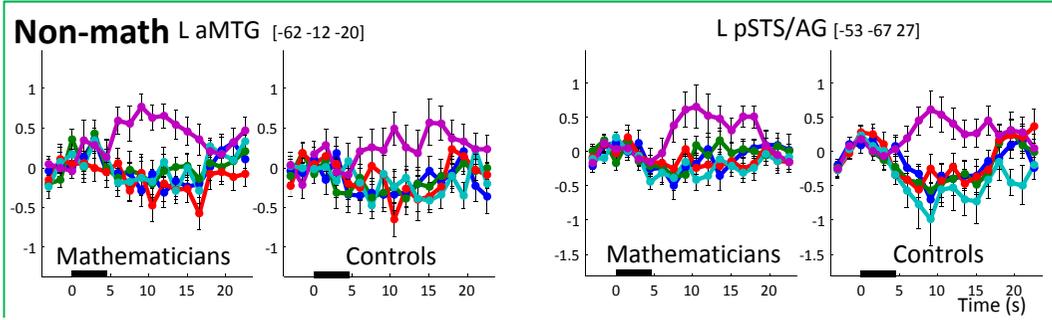
- **Mathematical expertise:**
Meaningful math > Meaningful non-math in mathematicians
- **General semantics :**
Meaningful non-math > Meaningful math in both groups



Activation to meaningful sentences in:

- Analysis
- Algebra
- Topology
- Geometry
- Non-math

- Math > Non-math pendant la période de réflexion
- Activations aux phrases parlées ou écrites (par rapport au repos)



Langage et algèbre sont dissociables

Monti, M. M., Parsons, L. M., & Osherson, D. N. (2012). Thought beyond language: neural dissociation of algebra and natural language. *Psychological Science*, 23(8), 914–922.

La manipulation de structures algébriques

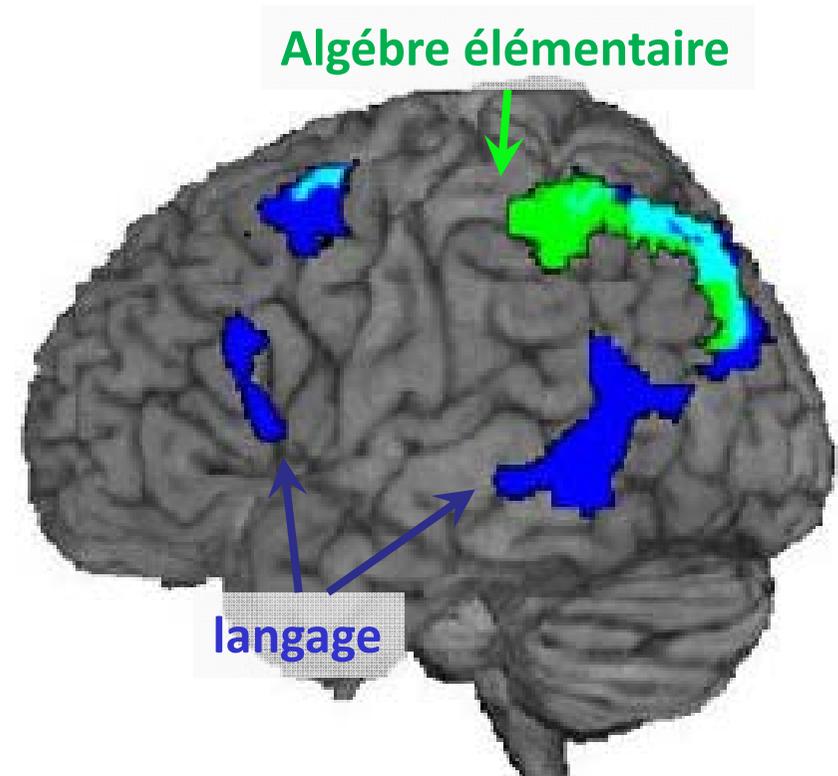
élémentaires fait appel à des régions

complètement différentes de celles du langage:

- Algèbre: “Y a donné X à Z” et “C’était X que Y a donné à Z”

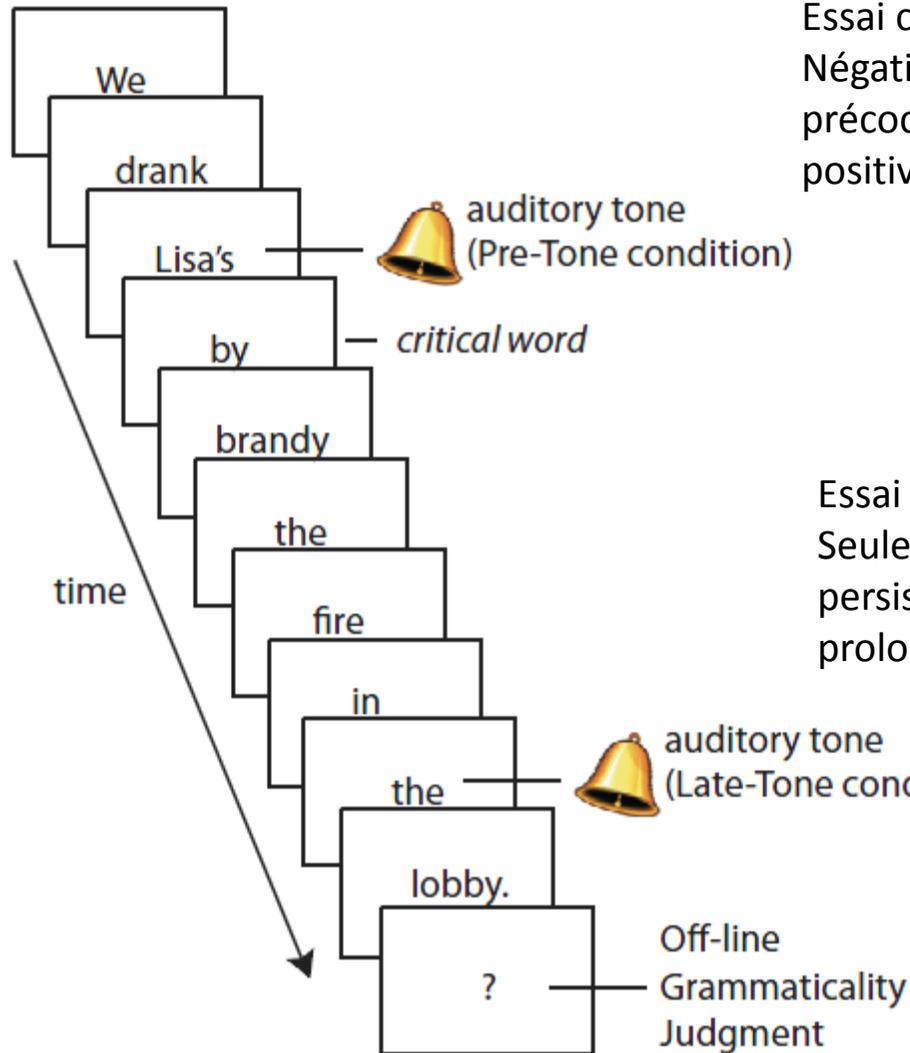
- Langage: “Y est plus grand que Z divisé par X”
et “X fois Y est plus grand que Z”

- **Certains patients profondément aphasiques avec agrammatisme** peuvent très bien demeurer capables de comprendre et de manipuler des expressions algébriques complexes (Varley et al. 2005)



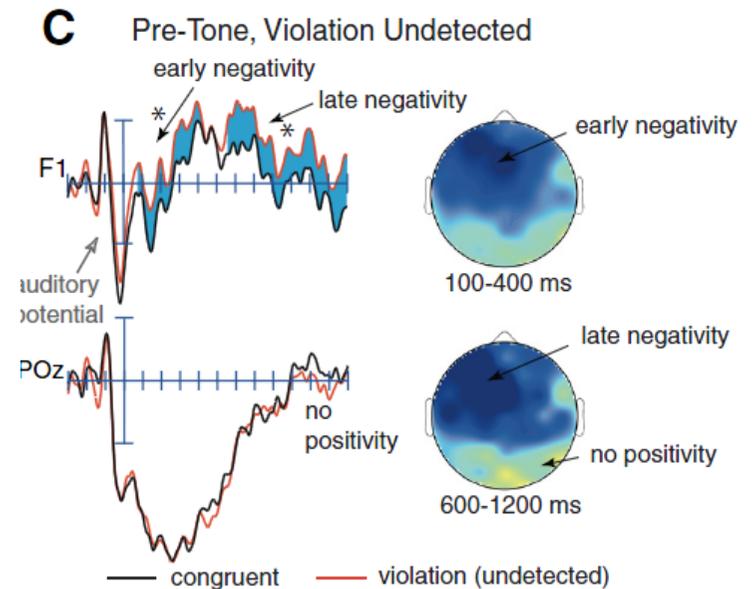
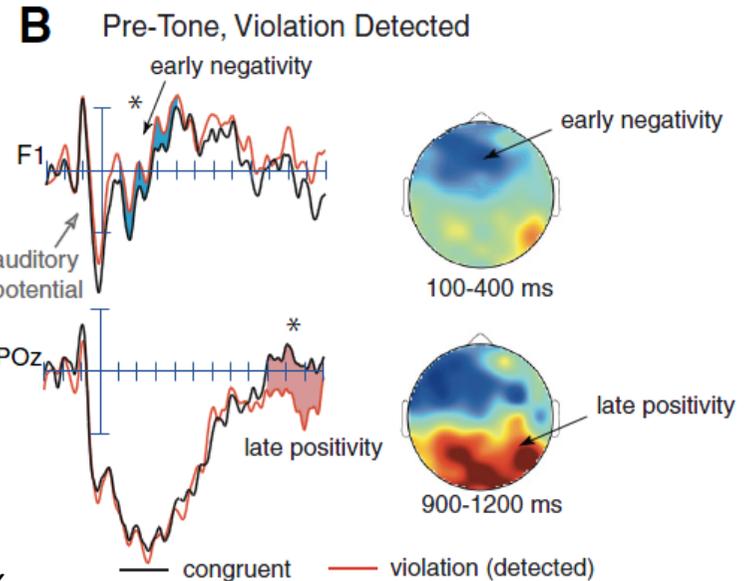
Un dernier critère de « modularité »: Le traitement syntaxique se poursuit en l'absence de conscience

Batterink and Neville, *J Neuroscience* 2013



Essai conscient:
Négativité précoce et positivité tardive

Essai inconscient:
Seule la négativité persiste et se prolonge.



Conclusions

Le « noyau » des aires du langage vérifie plusieurs critères de « modularité » (Fodor, 1983):

- Architecture neurale fixe et reproductible d'un individu à l'autre.
- Développement rapide et propre à l'espèce humaine (propriétés du *language acquisition device* postulé par Chomsky)
- Spécificité pour le domaine des opérations linguistiques, pas d'activation en réponse à des opérations symboliques dans le domaine mathématique
- Traitement automatique, même en l'absence de conscience (« encapsulation », inaccessibilité à la conscience)

Dans les prochains cours:

- Autres exemples de spécificité et d'encapsulation : le cœur du réseau répond même à des phrases « Jabberwocky » dont on supprime les informations sémantiques.
- Architecture biologique : connexions anatomiques et récepteurs spécifiques.