



L'apport des neurosciences cognitives à l'étude de différents phénomènes phonologiques : Le cas de la liaison en français

Frédéric ISEL
frederic.isel@cnrs.fr

Journées (I)PFC 2022 – Paris – 1-2 décembre 2022

Plan de la présentation



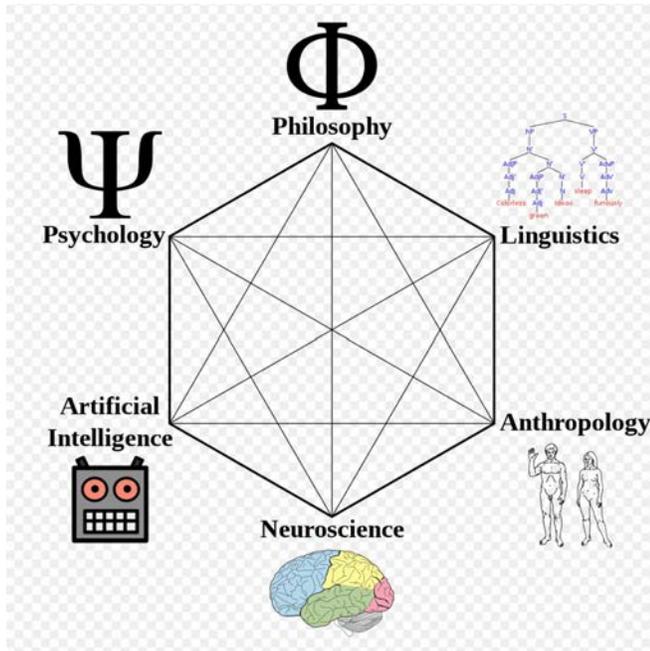
1. Comment étudier le langage avec l'imagerie cérébrale ?
2. Principaux marqueurs électroencéphalographiques de la phonologie
3. Le cas de liaison en français : apport de la « psycholinguistique électrifiée » ?

Plan de la présentation



1. Comment étudier le langage avec l'imagerie cérébrale ?
2. Principaux marqueurs électroencéphalographiques de la phonologie
3. Le cas de liaison en français : apport de la « psycholinguistique électrifiée » ?

Les sciences cognitives



- Décrivent et expliquent
 - les **mécanismes de la pensée** humaine, animale, ou artificielle,
 - et plus généralement de tout système complexe de traitement de l'information capable d'acquérir, conserver, utiliser et transmettre des connaissances.

Le langage

- Du point de vue de la **psychologie cognitive**, le langage est l'une des grandes fonctions de l'esprit (ou fonctions psychologique).
- Il existe d'autres fonctions cognitives comme la perception, la mémoire, l'attention, le raisonnement, la prise de décision, mouvement, etc.
- Toutes ces fonctions contribue à former la **cognition**.

Les neurosciences cognitives

- Étudient les mécanismes neurobiologiques qui sous-tendent la cognition (perception, motricité, **langage**, mémoire, raisonnement, émotions, etc.).
- C'est une branche des sciences cognitives qui fait appel pour une large part aux neurosciences, à la neuropsychologie, à la psychologie cognitive, à l'imagerie cérébrale ainsi qu'à la modélisation.

Le langage, une fonction cognitive parmi d'autres

- Étudier les processus cognitifs de **traitement du langage** et leurs bases cérébrales.
- Suivre la **neurodynamique** des processus de 1) reconnaissance des mots présentés en isolation ou en contexte de liaison, et 2) d'unification syntaxico-sémantique au niveau phrastique.
- Exploiter les méthodes de neuro-imagerie, en particulier l'**électroencéphalographie (EEG)**, conjointement à l'utilisation de paradigmes expérimentaux issus de la psychologie cognitive.

L'intérêt de l'étude des bases cérébrales de phénomènes psychologiques ou des traits de caractère est très ancien.

La phrénologie (18^e siècle)

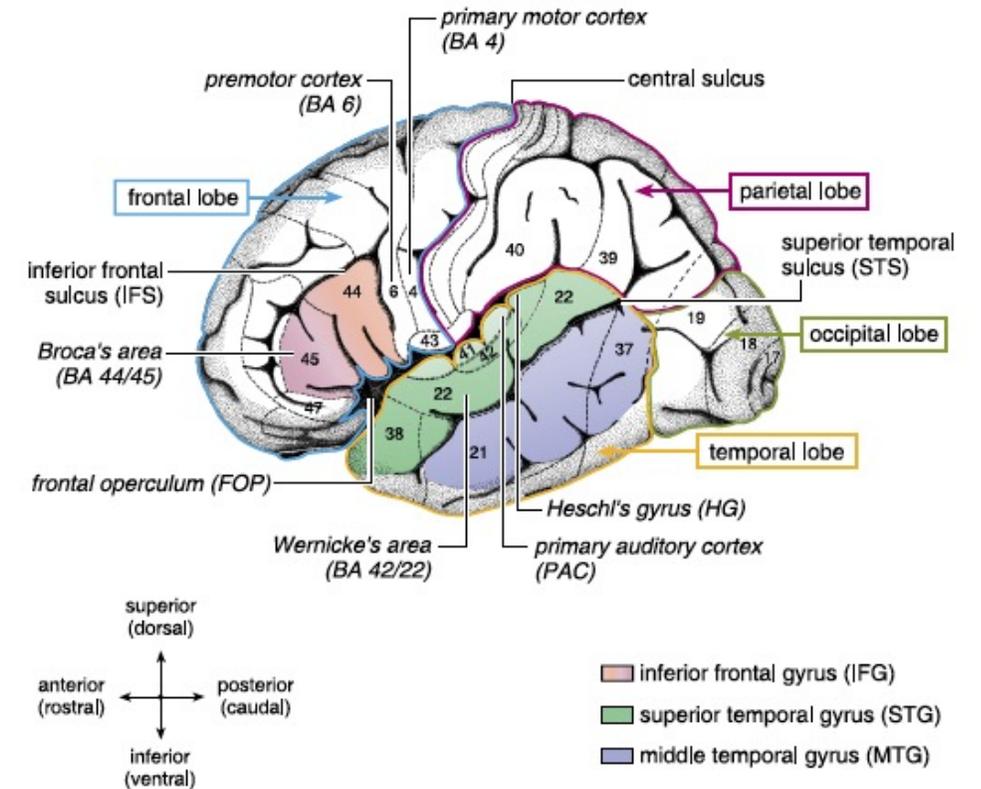
- Au 18^e siècle, la **phrénologie** ou **cranioscopie** cherchait à localiser des **fonctions cérébrales** comme des traits de caractère, des vices et des vertus.
- La phrénologie a été la première discipline à tenter d'associer des **aptitudes** à des zones cérébrales.
- Cette discipline, développée par Franz Joseph Gall (1819), était peu scientifique et fortement influencée par les croyances de cette époque.
- Selon cette théorie pseudo-scientifique, les bosses du crâne (26, selon Gall) d'un être humain reflètent son caractère (en particulier, la prédiction de son intelligence ; sa nature meurtrière, etc.).



Bases neurales du langage humain

- Deuxième moitié du 19^e siècle :

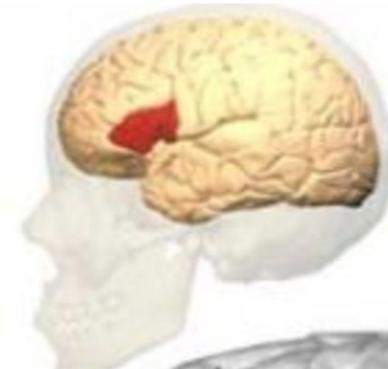
✓ Découverte que les fonctions langagières sont directement reliées au **tissu cérébral** (Broca, 1861 ; Lichtheim, 1884 ; Wernicke, 1874).



Source: Friederici (2011)

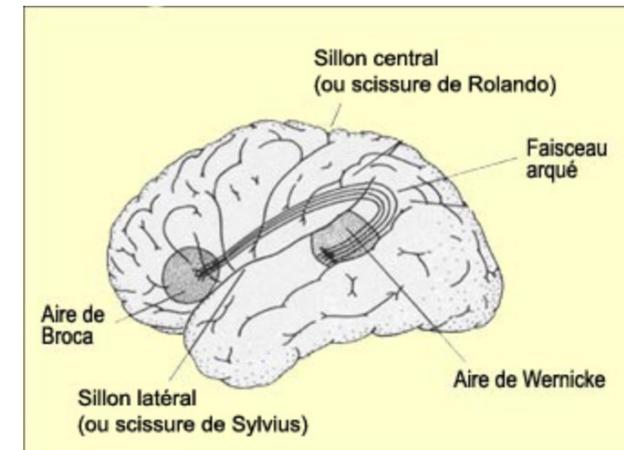
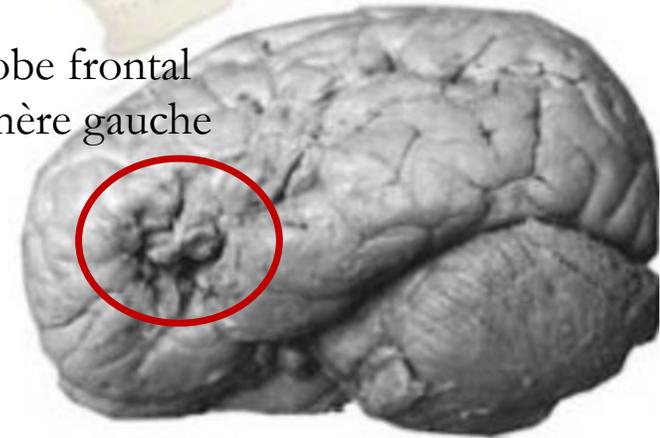
Localisationnisme et études de patients (19^e siècle)

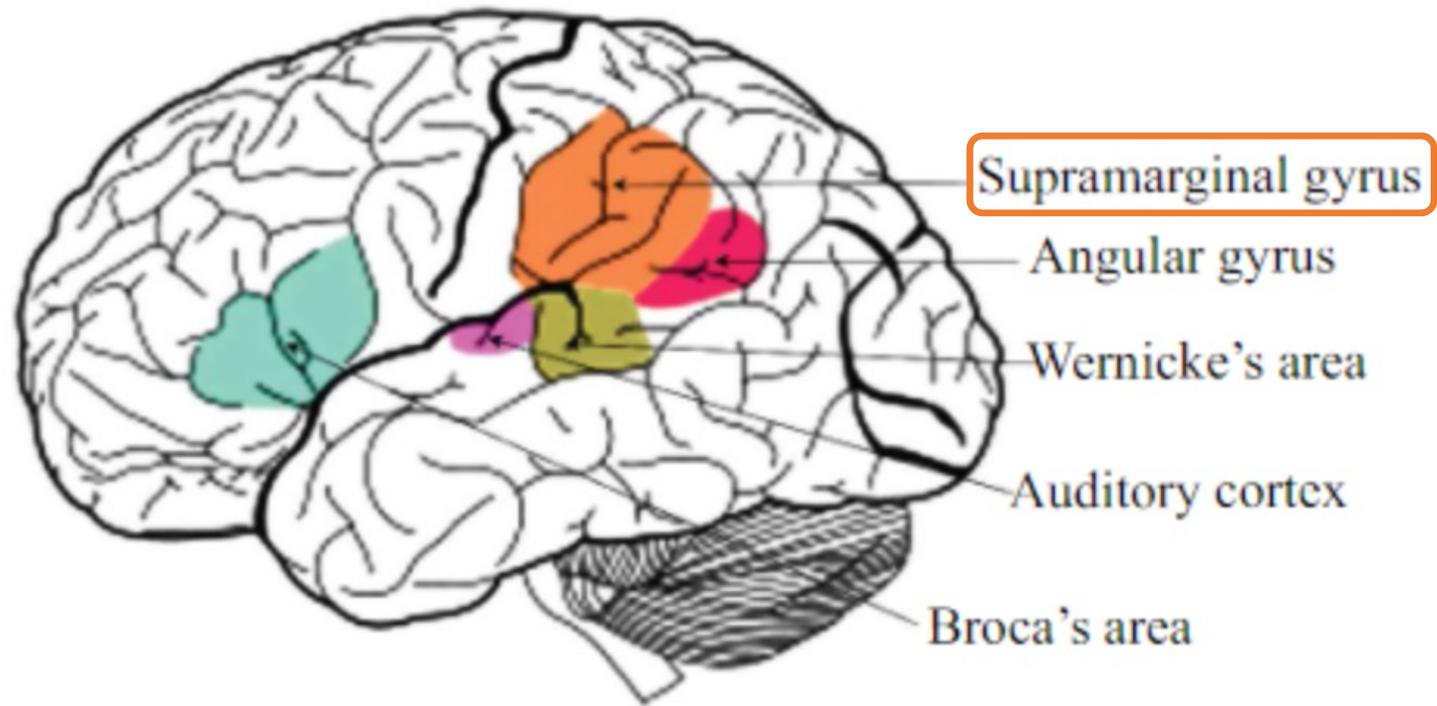
- L'intérêt pour les **fonctions cognitives** et le développement de modèles de fonctionnement cognitif s'est développé de manière plus rigoureuse au 19^e siècle grâce à l'étude de **patients** présentant une **lésion cérébrale** (Broca, 1861).



Patient « Tan »

Lésion du lobe frontal
de l'hémisphère gauche





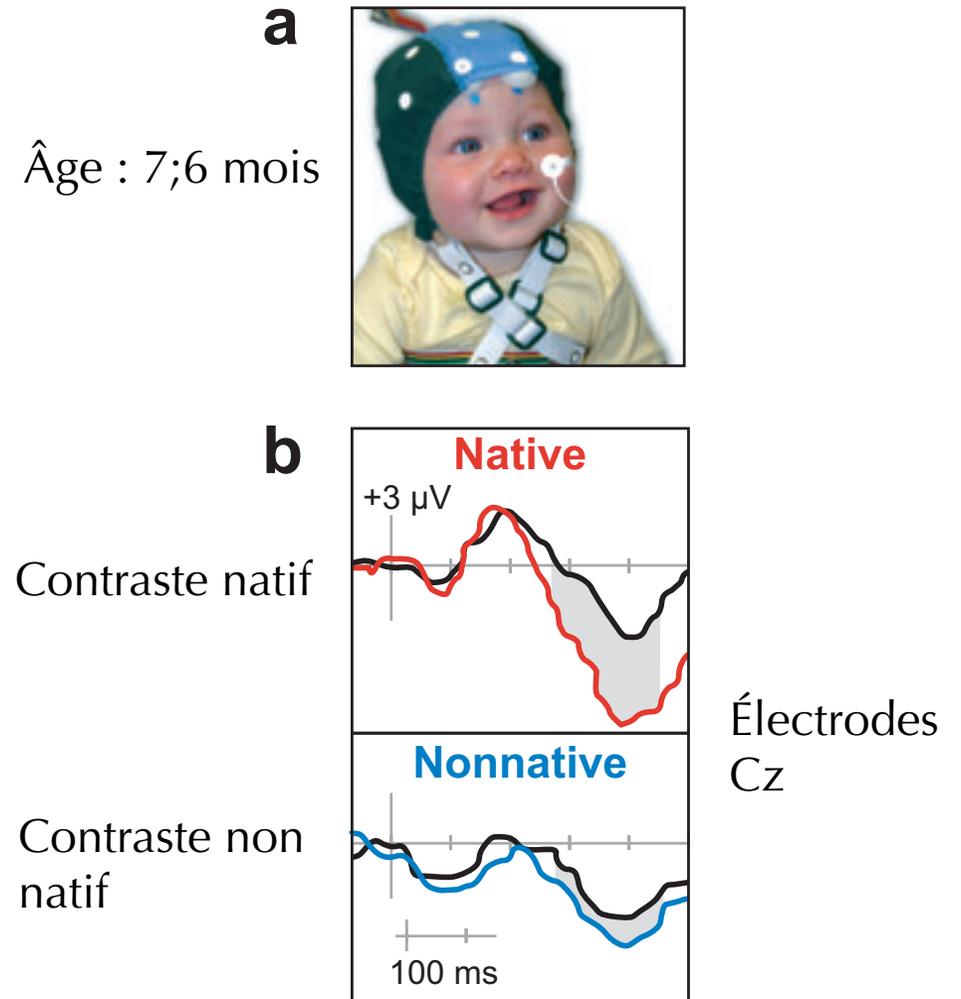
Gyrus supramarginal

- Traitement phonologique dans des tâches impliquant le langage (reconnaissance des mots) ou la mémoire de travail (Deschamps, Baum, & Gracco, 2014, *Neuropsychologia*).

Kuhl et Rivera-Gaxiola (2008)

The Annual Review of Neuroscience

- Réponse électrique du cerveau en réponse au traitement d'un contraste phonétique natif (anglais) et non natif (mandarin) à 7,5 mois.
- La réponse de ce nourrisson suggère que l'apprentissage de la langue maternelle a commencé, car la négativité de la MMN en réponse au contraste de la langue maternelle anglaise est considérablement plus grande (courbe rouge) que celle du contraste de la langue non maternelle (mandarin, courbe bleue).
- Réorganisation perceptive précoce.



Naissance des neurosciences cognitives du langage

- À partir de 1980
- Université de San Diego (CA, USA)
- Approche pluridisciplinaire : Linguistique, psycholinguistique, IA, neurosciences
 - Marta Kutas, Elizabeth Bates, Brian McWhinney, David McClelland, Jeffrey Elman, entre autres.
- **Kutas Lab (<http://kutaslab.ucsd.edu>)**
- **Kutas et Hillyard (*Science*, 1980)**
- Kutas et van Petten (1994) : *Psycholinguistics electrified : event-related brain potential investigations*
 - La psycholinguistique se tourne résolument vers la neurophysiologie
 - approche pluridisciplinarité

Kutas et van Petten (1994)

Psycholinguistics electrified



Kutas Cognitive Electrophysiology Lab

UCSD

- Home
- People
- Meetings
- Participation
- Contact
- Lab Docs

Site Search:

Phone:
858-534-2440

Email:
kutaslab@ucsd.edu

Web:
<http://kutaslab.ucsd.edu>

Welcome to the Kutas Lab!

Our broad research goal is to study how meaning is organized, accessed, and constructed in the brain. More specifically, we focus on understanding how context shapes language and memory processing. Our studies track these cognitive and neural processes in both healthy and clinical individuals across the adult lifespan. We do this primarily by assessing patterns of brainwaves recorded at the scalp as well as reaction times to various visual and auditory stimuli.



Areas of research

- Making sense of (all sorts of) sensory inputs
- Word, sentence and discourse processing
- Prediction in language
- Event knowledge in meaning construction
- Aging and cognition
- Novel word learning
- Attention, language, and memory
- Emotion, mood, and cognitive processing
- Hemispheric contributions to language and memory processes
- Using electric brain potentials to parse perception, cognition, and action



Marta Kutas

University of California, San Diego
Distinguished Professor and Chair, Department of Cognitive Science
Adjunct Professor, Department of Neuroscience
Director, Center for Research in Language

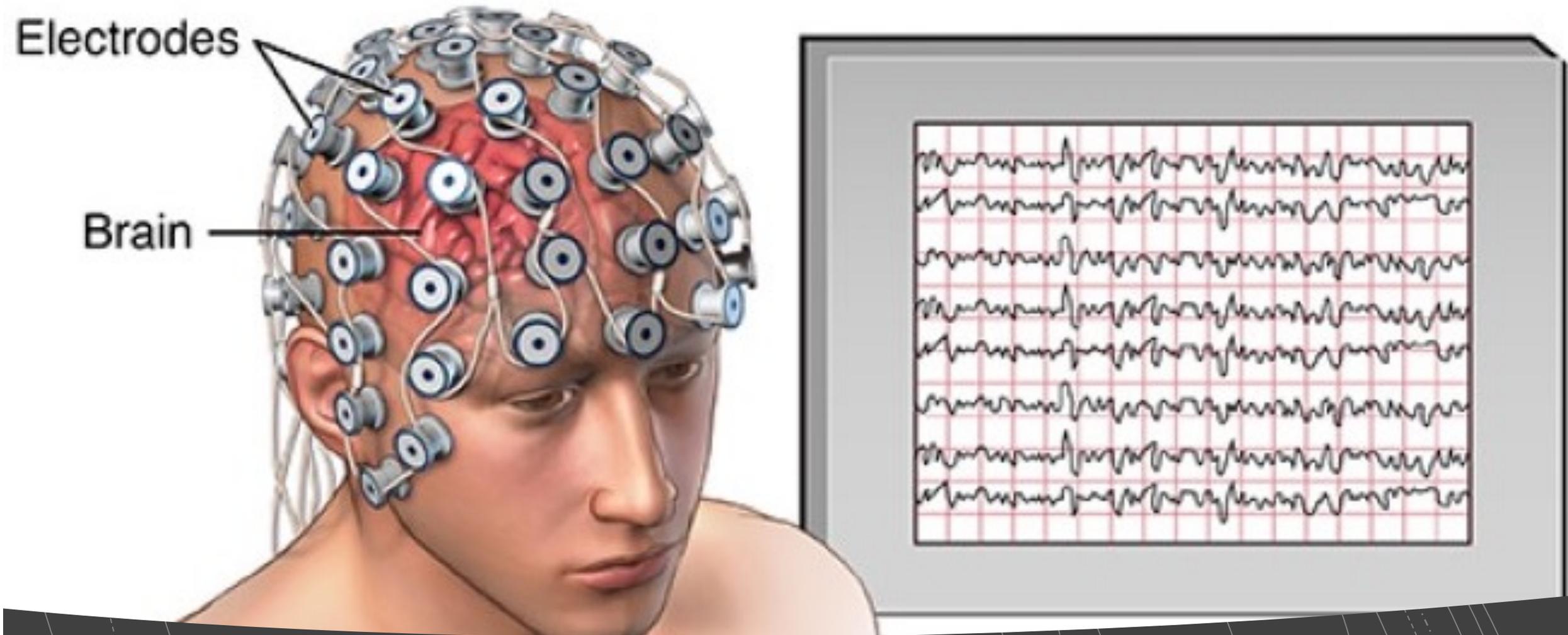
mkutas@ucsd.edu
858-534-1386 (lab desk), 858-534-7450 (office)

Mailing Address:

University of California, San Diego
Marta Kutas
Department of Cognitive Science
9500 Gilman Drive #0515
La Jolla CA 92093-0515

[Publications](#), [Courses](#), [Laboratory](#), [Blog](#), [Charities](#), [Cheers](#)

[CV](#), [PDF version of CV \(for download\)](#)



L'électroencéphalographie (EEG)

Une technique offrant une résolution temporelle très fine (ordre de la milliseconde)

DÉCOUVERTE DE L'EEG

- **Hans Berger (1929)** → neurologue/psychiatre

→ Activité électrique du cerveau humain mesurée :

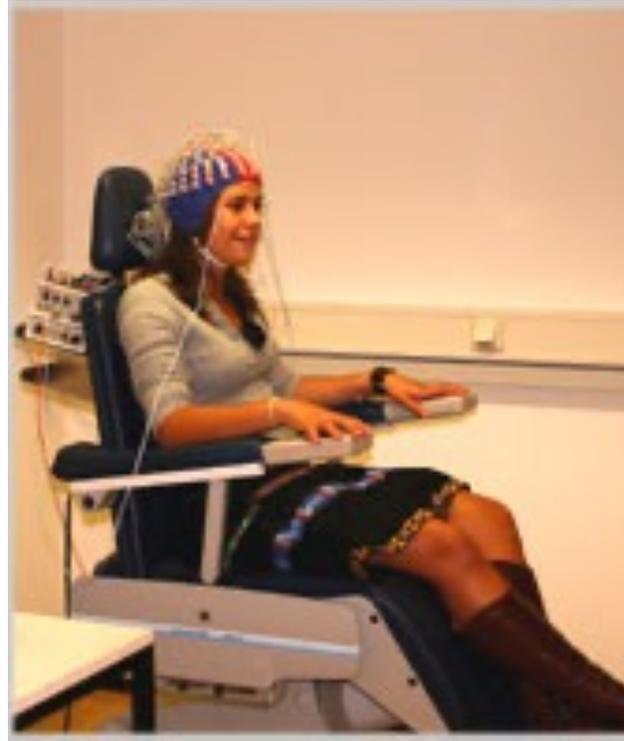
- ✓ en plaçant une électrode sur le cuir chevelu (scalp)

- ✓ en amplifiant le signal

- ✓ en moyennant les changements de voltage au cours du temps

→ Cette activité électrique est appelée **EEG**

Mesures EEG au laboratoire



- Potentiels post-synaptiques de différentes populations de neurones (cellules pyramidales)
- Enregistrements à la surface du crâne
→ **Méthode non-invasive**
- Oscillations neuronales filtrées entre 0.1-30 Hz → **Bandes de fréquences Delta, Theta, Alpha, Beta**
- Réponses électriques du cerveau coïncident temporellement avec le début du stimulus (*time-locked*) → **Potentiels sont évoqués par le stimulus**
- Le rapport entre signal et bruit est faible → **Mesures répétées**
- **Résolution temporelle élevée (\sim ms)**
- **Résolution spatiale faible (\sim cm)**

Traitement par le cerveau humain

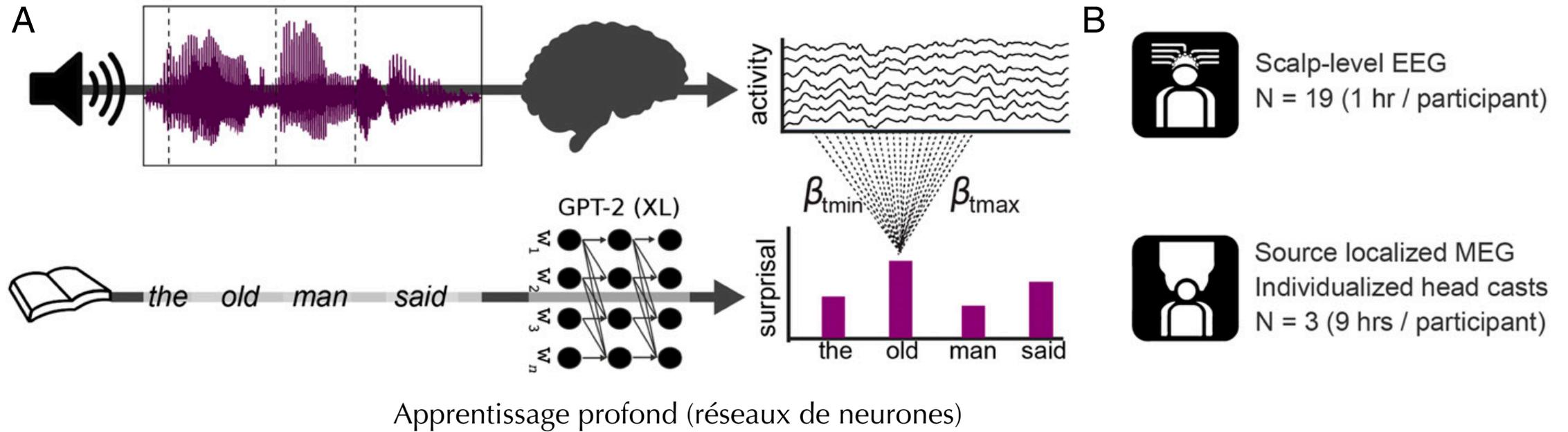
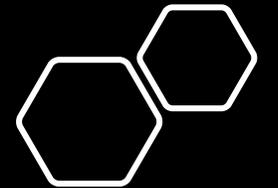
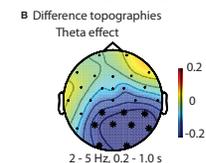
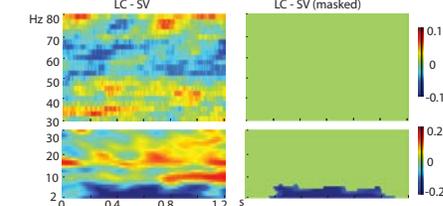
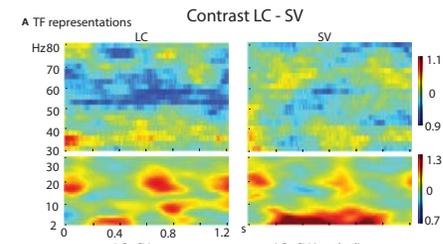
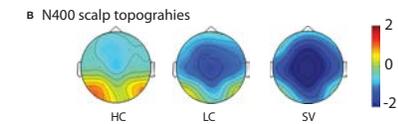
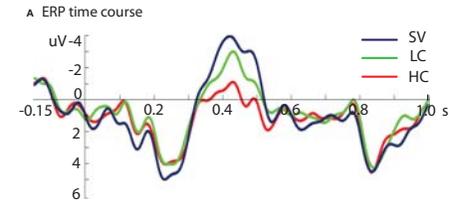


Schéma d'un cadre expérimental et analytique
emprunté à Heilbron et al. (2022)



Analyses statistiques des données EEG

- **Analyses guidées par** des hypothèses *a priori* (*hypothesis driven*)
 - Potentiels évoqués (PE) + localisation de générateurs neuronaux
 - Analyses temps-fréquence (oscillations neuronales)
- **Analyses guidées par** les données (*data driven*) : analyses en cluster.

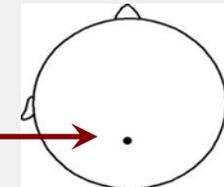
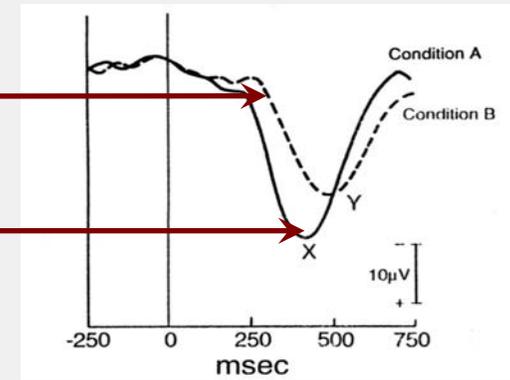


Comparés au temps de réaction (TR), les potentiels évoqués présentent l'avantage de varier sur **trois dimensions** :

- Latence (ms)

- Polarité (+/-)

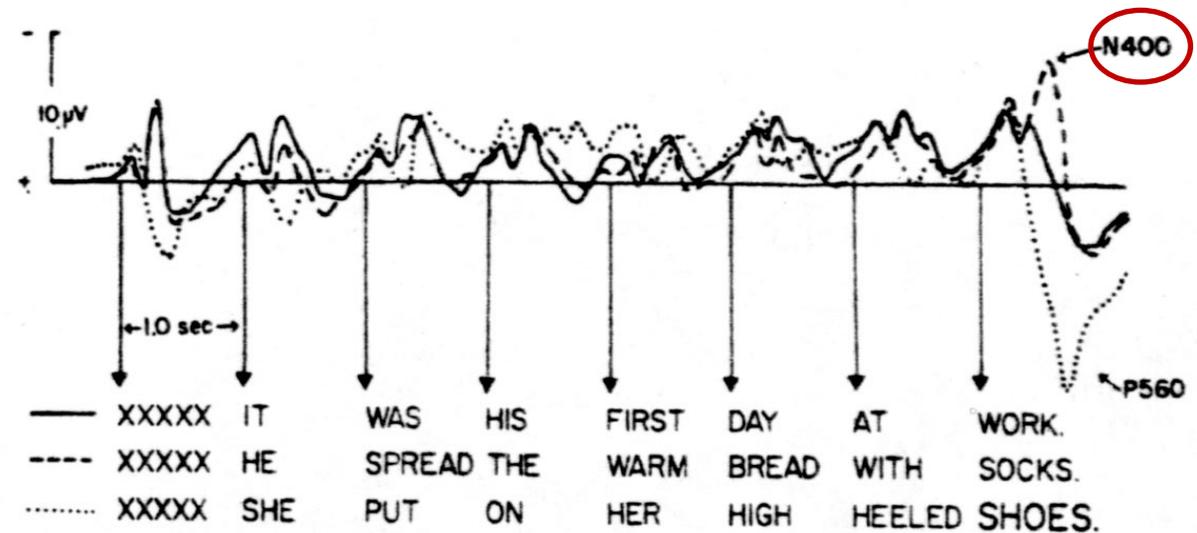
- Topographie de surface



Source : Rugg et Coles, 1995

Unification lexicale- sémantique

- Kutas et Hillyard (*Science*, 1980) ont montré que le traitement d'une unité lexicale qui ne peut être intégrée d'un point de vue sémantique avec le contexte qui la précède donne lieu à une réponse électroencéphalographique appelée **N400**.
- La N400 est reconnue comme étant le marqueur du processus d'intégration lexicale sémantique (pour le français : Isel *et al.*, 2007).



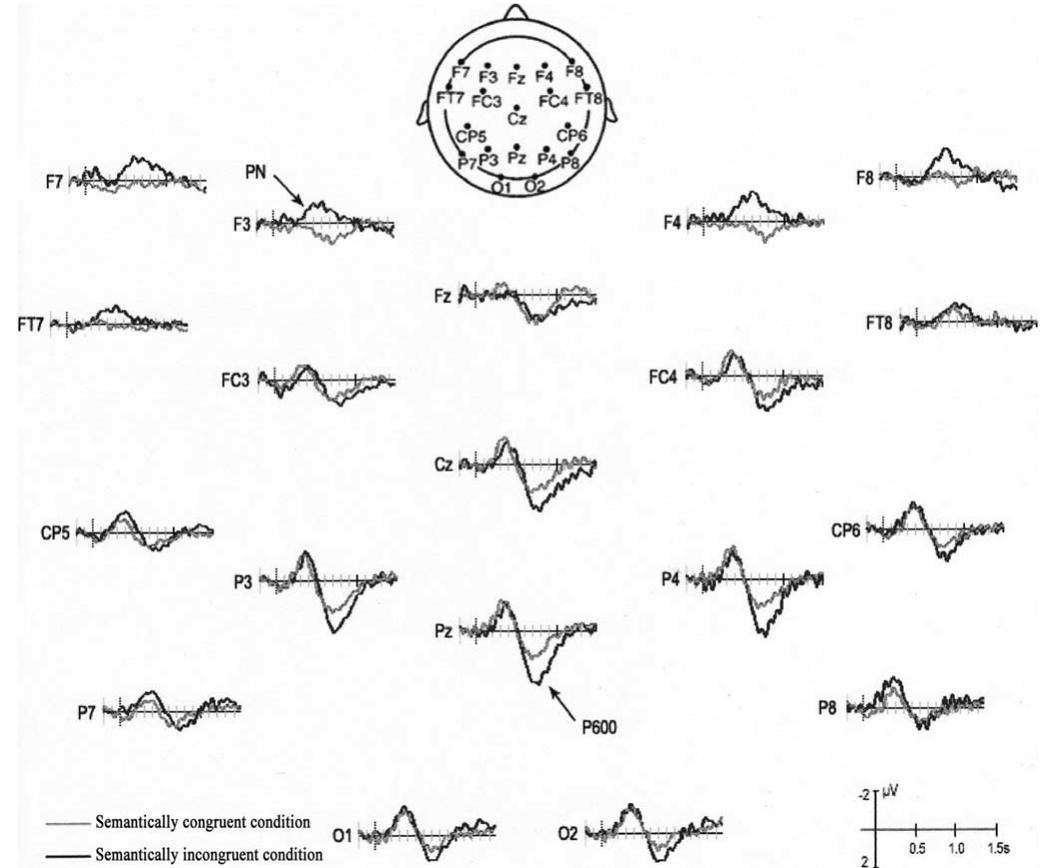
Isel et Shen (2011)

Neuroreport

- Violation de la restriction de sélection. **Le caillon qui est dans la piscine dort.*
- Modulation du processus d'intégration des mots dans la phrase en fonction de l'orientation de l'attention sur le niveau d'analyse structurale de la phrase (consigne expérimentale).
- P600 → révision syntaxico-sémantique ?
- Négativité frontale → orientation de l'attention

**Le caillon qui est dans la piscine dort.*

Fig. 1



Grand average event-related brain potentials for the critical verb for the semantically congruent and semantically incongruent conditions. Negative voltage is plotted upwards.

La crème fouettée a un goût sucré.

Whipped cream tastes sweet.

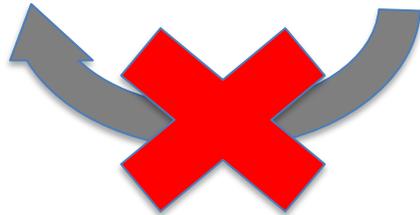


La crème fouettée a un goût sucré.

Whipped cream tastes sweet.

La crème fouettée a un goût anxieux.

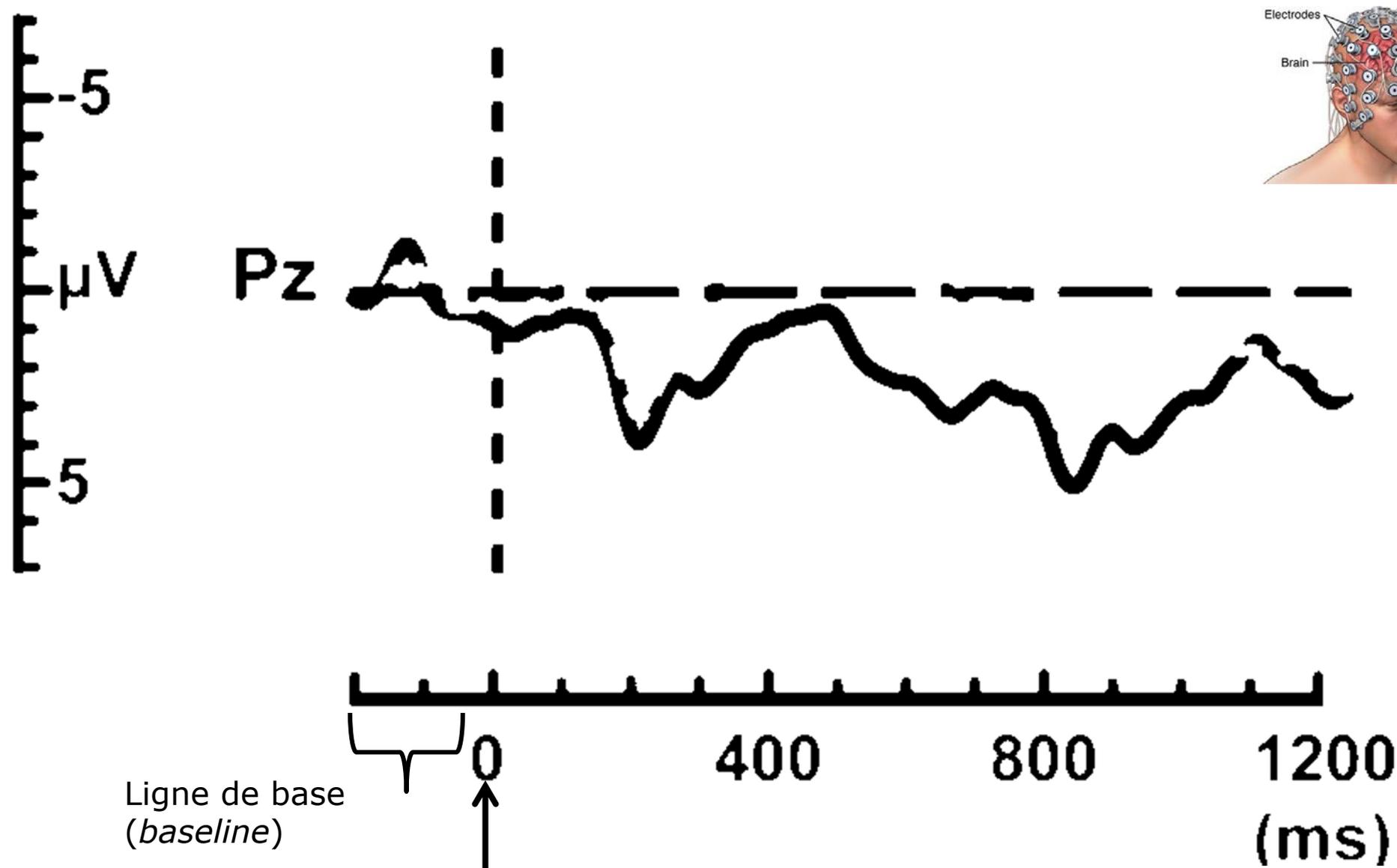
Whipped cream tastes anxious.



L'adjectif « anxieux » est incompatible avec le *script sémantique* de la crème fouettée.

=> Absence de plausibilité et prédictibilité nulle.

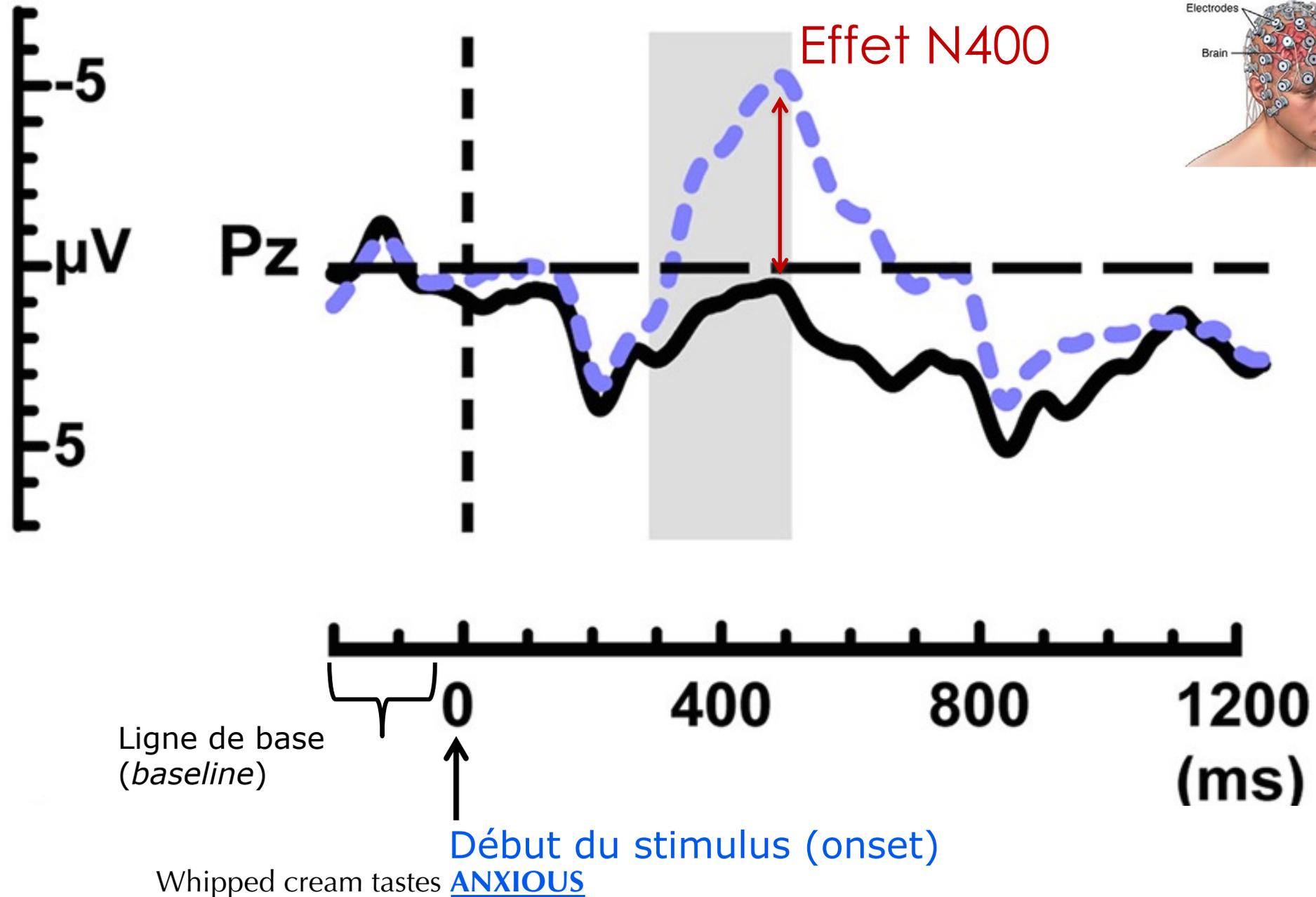
Adapté de : Kos et al., 2010, *Frontiers in Language Sciences*.



Début du stimulus CRITIQUE (onset)

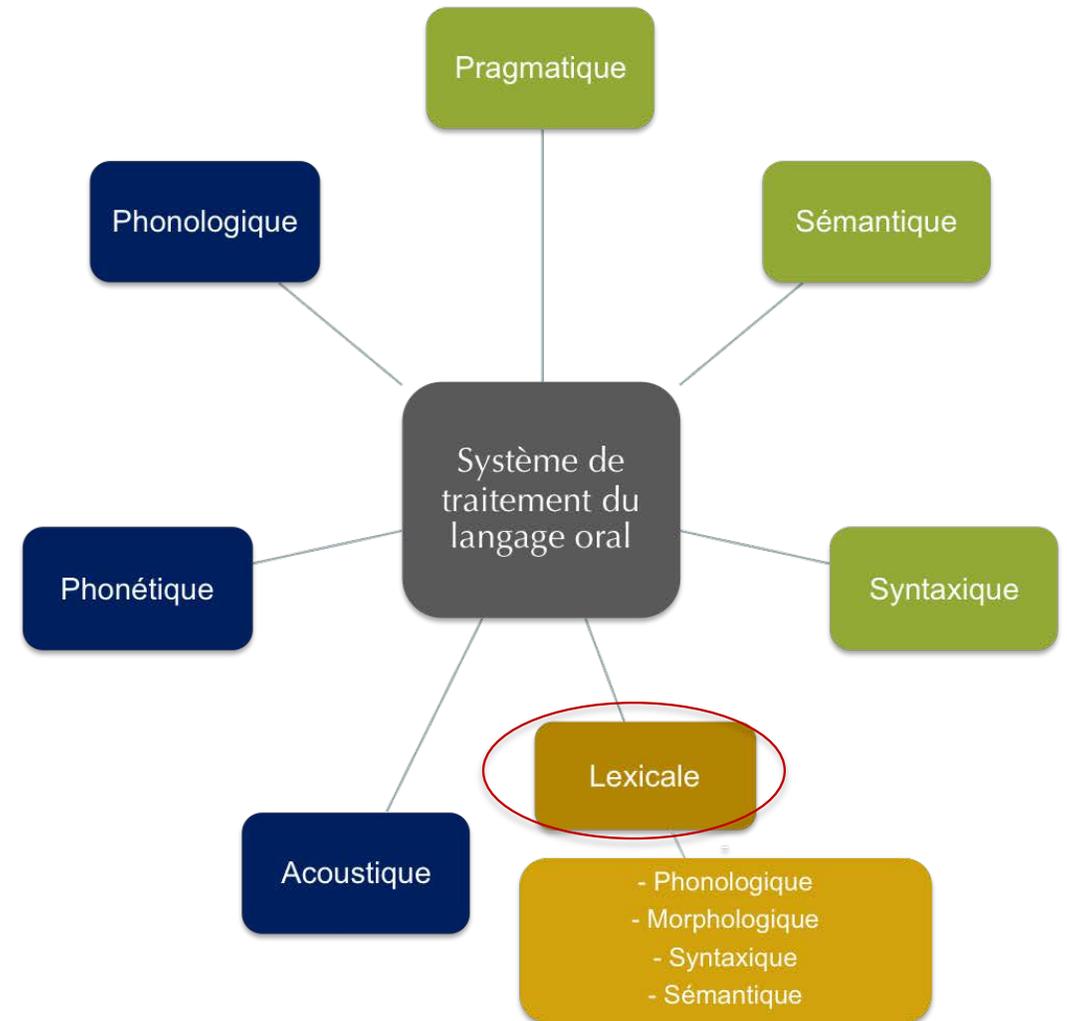
Whipped cream tastes SWEET

Adapté de : Kos et al., 2010, *Frontiers in Language Sciences*.



Traitement du langage oral

- **Tâche cognitive complexe**
 - ✓ Contraintes phonétique : débit de parole
 - ✓ Contraintes de traitement de l'information : intégration en **temps réel** de multiples sources d'informations linguistiques, délivrées (souvent) **en parallèle** dans des fenêtres temporelles très courtes (ordre de la milliseconde).



Débit de parole d'un locuteur : 125 et 175 mots par minute

La psycholinguistique

- **Son objet d'étude** : le langage humain
- **Son objectif** : formaliser l'architecture fonctionnelle et structurale du **système de traitement** du langage humain à différents niveaux de fonctionnement linguistique (d'analyse linguistique) pour des unités de la langue de différentes tailles (mot, phrase, texte/discours).

Modélisation {neuro}-cognitive

Large spectre d'étude :

- **Niveaux d'analyse linguistique** : de la phonologie à la pragmatique
- **Unités linguistiques considérées** : du phonème au discours

Problème majeur

- Les informations linguistiques plurielles sont délivrées dans des fenêtres temporelles très petites de l'ordre de la milliseconde.
 - **d**rame / **t**rame (différence de VOT d'environ 80ms entre le /d/ et le /t/)
- Les processus en charge de ces informations peuvent travailler :
 - En parallèle, en cascade
 - De façon séquentielle ou interactive
- L'étude du décours temporel des **processus cognitifs** nécessite l'utilisation de techniques d'enregistrement offrant une **résolution temporelle élevée et des marqueurs langagiers spécifiques** (cf EEG).

La compréhension du langage

- La compréhension du langage parlé nécessite la transformation du **flux acoustique**, parfois porteurs d'ambiguïtés, en une hiérarchie de représentations de plus en plus abstraites allant des sons de la parole au sens.
- Il a été suggéré qu'au cours de ce processus, le cerveau s'appuie sur la **prédiction** pour guider l'interprétation des informations entrantes (Kuperberg & Jaeger, 2016 ; Kutas, DeLong, & Smith, 2011).

Traitement prédictif du langage : preuves expérimentales

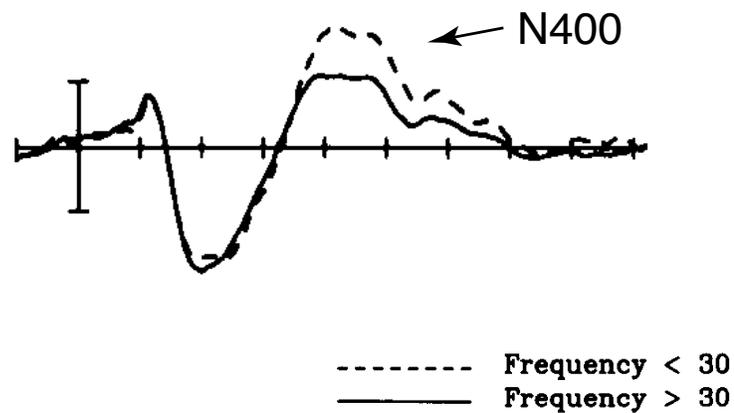
- Il a été montré en laboratoire que les réponses comportementales et cérébrales sont très sensibles aux violations des régularités linguistiques (Kutas & Hillyard, 1984), et, plus largement, aux écarts par rapport aux attentes linguistiques (Smith, R. Levy, 2013).

Étude du langage en laboratoire

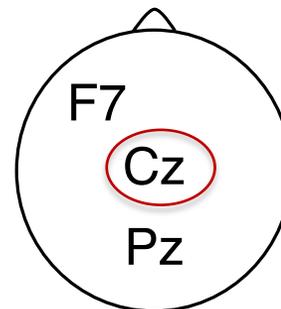
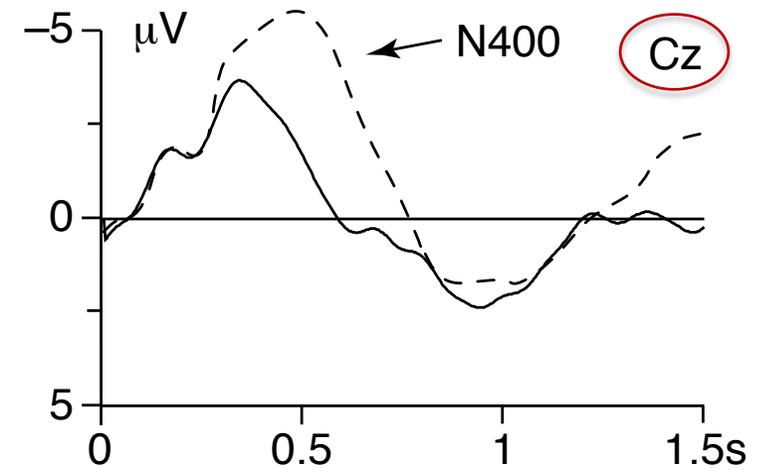
- On étudie le langage en utilisant la **méthode expérimentale** (Claude Bernard, 1865).
- Traditionnellement, on s'appuie sur la **chronométrie mentale** (Donders, 1968) pour étudier les processus cognitifs, en particulier leur déroulement temporel.
- On peut aussi utiliser l'**imagerie cérébrale** (Kutas & Hillyard, 1980) pour étudier les bases cérébrales des fonctions cognitives.

Principaux rôles fonctionnels de la N400

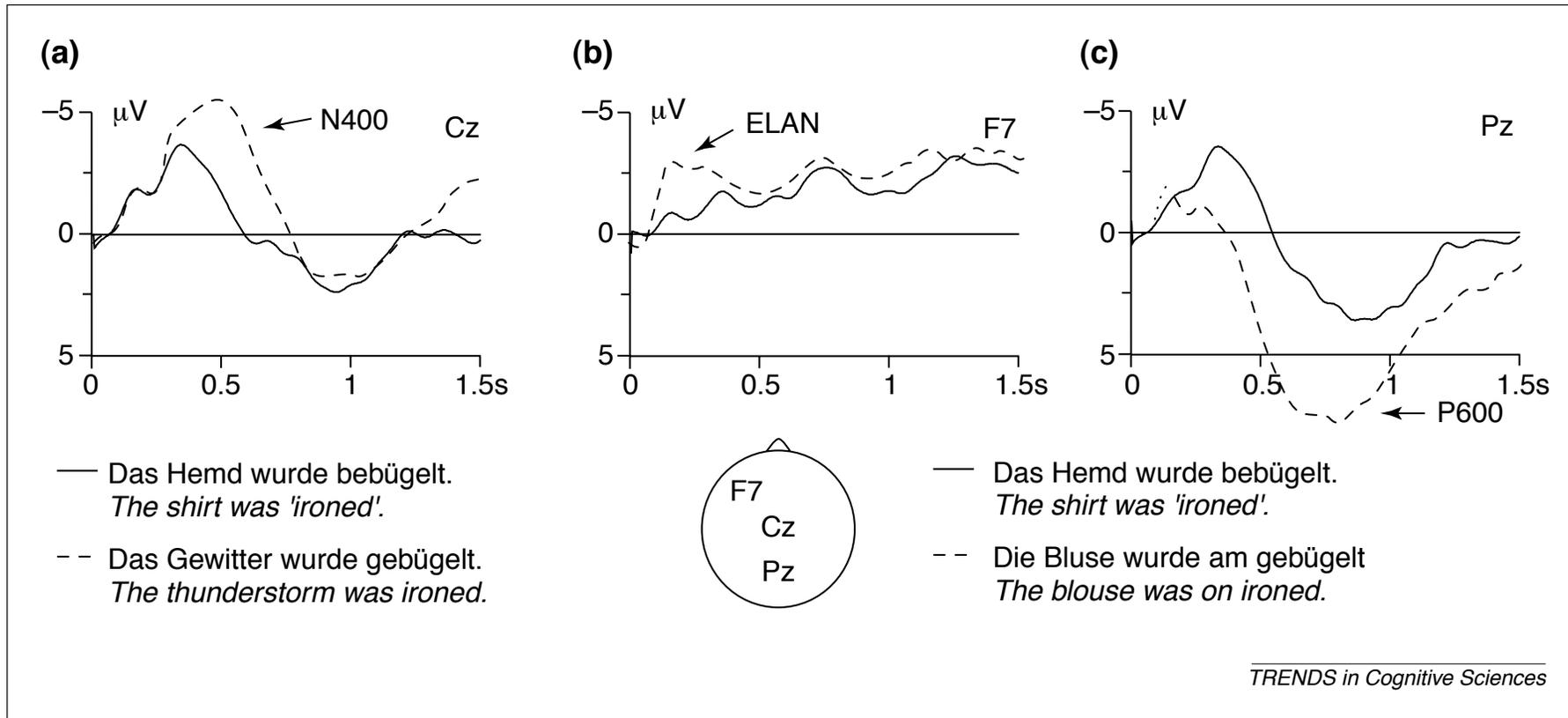
Accès au lexique



Intégration lexicale-sémantique



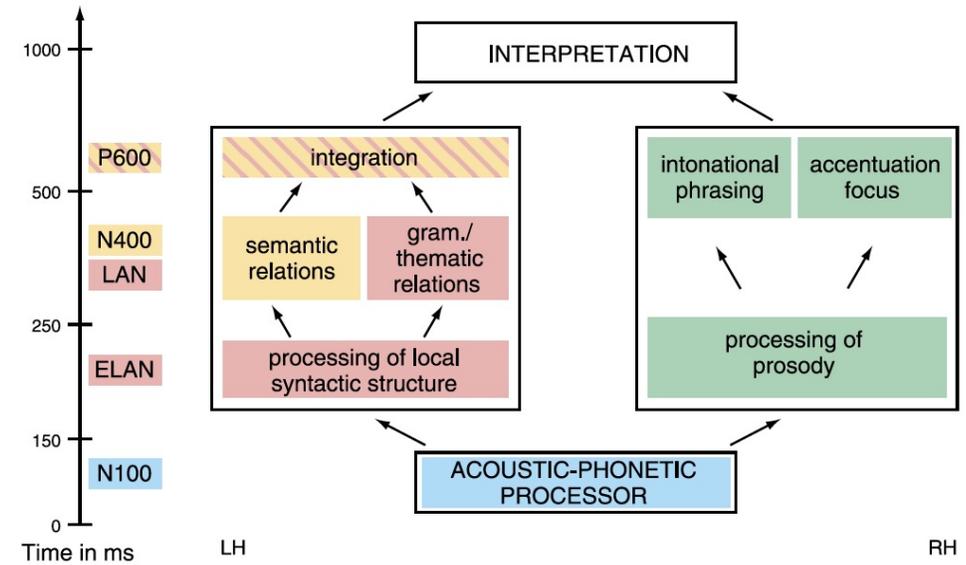
En résumé



Source : Friederici, 2002, *TRENDS in Cognitive Sciences*

Modèle neurocognitif de la compréhension des phrases (Friederici, 2011)

A Auditory language comprehension model



B The brain basis of auditory language comprehension

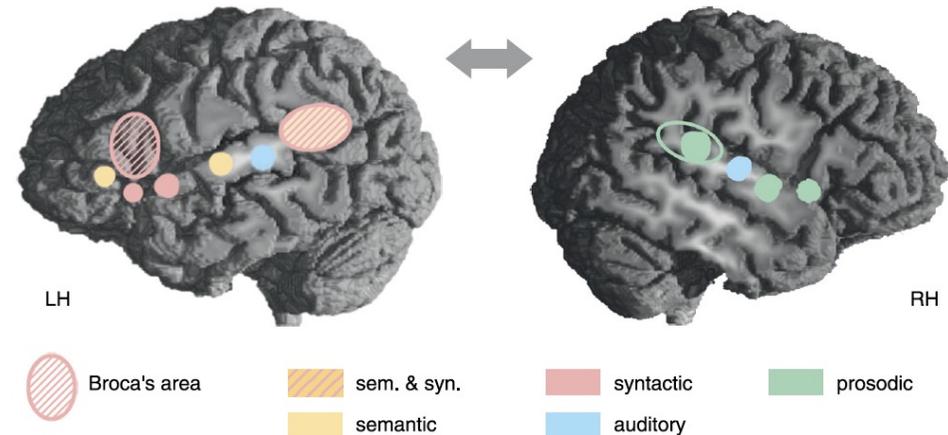
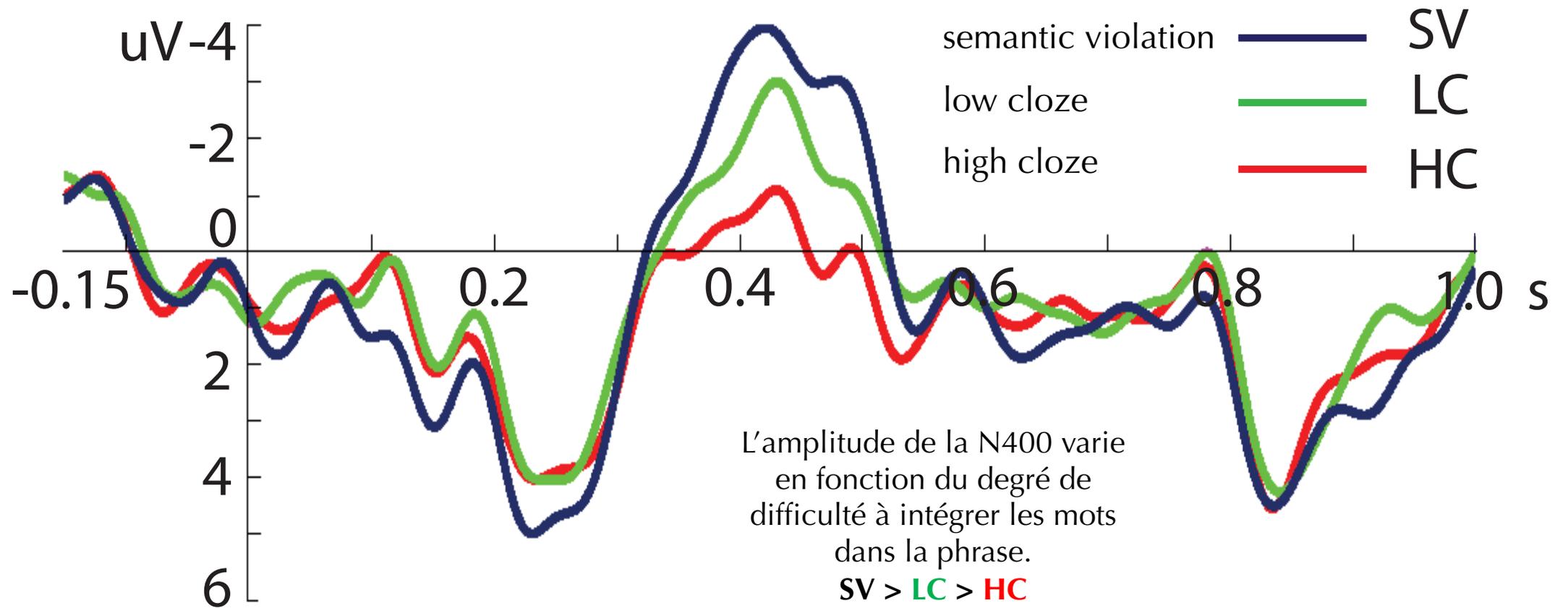


FIGURE 11. Model of auditory sentence comprehension. For details, see text.

Prédiction lexicale, morphosyntaxique et phonémique à partir du
contexte phrastique

Figure empruntée à Wang, Zhu, Bastiaansen et Li (2012)

A ERP time course

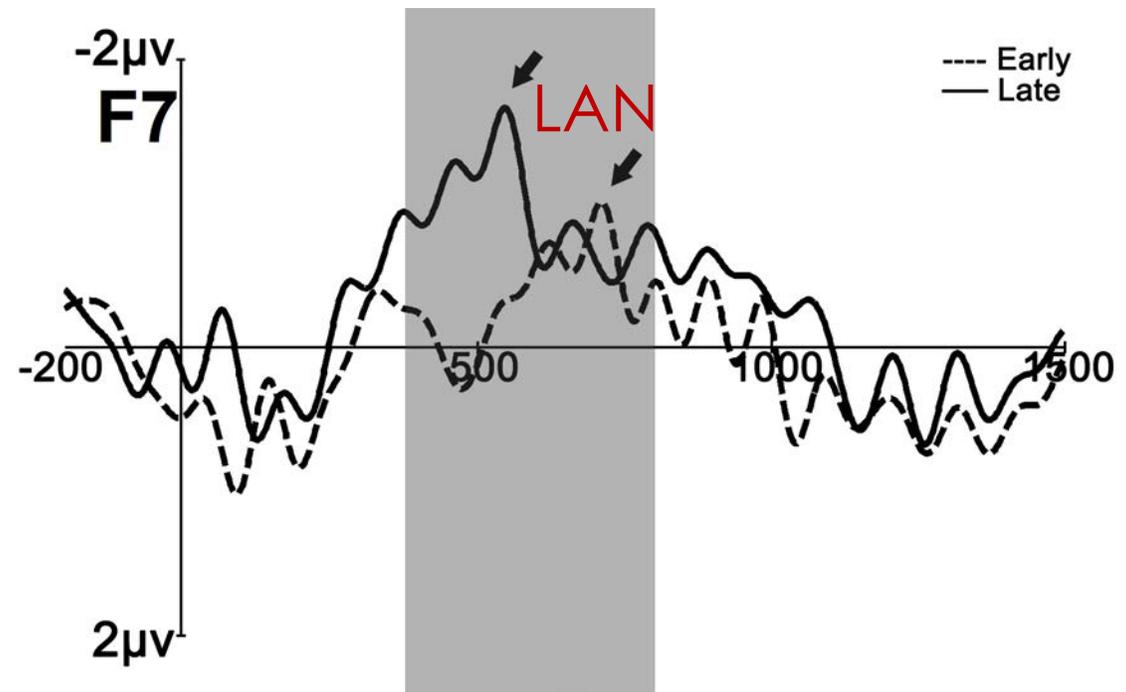


Isel et Kail (2018)

Journal of Neurolinguistics

- Réplication d'un effet LAN en réponse au traitement d'incongruités morphosyntaxiques intra- et inter-syntagmatiques en français.
- L'observation d'une variation de la latence de la LAN en fonction de la position précoce vs tardive de l'incongruité dans la phrase suggère que le système de traitement du langage s'appuie aussi sur des **predictions morphosyntaxiques**.

Early --- *Chaque semaine, [le voisine] [remplira] le frigo après avoir fait les courses au marché.
Late — *Chaque semaine, [après avoir fait les courses au marché, le voisine] [remplira] le frigo.



- Paradigme de violation
- Tâche de jugement de grammaticalité
- Présentation auditive
- Langue étudiée : Français

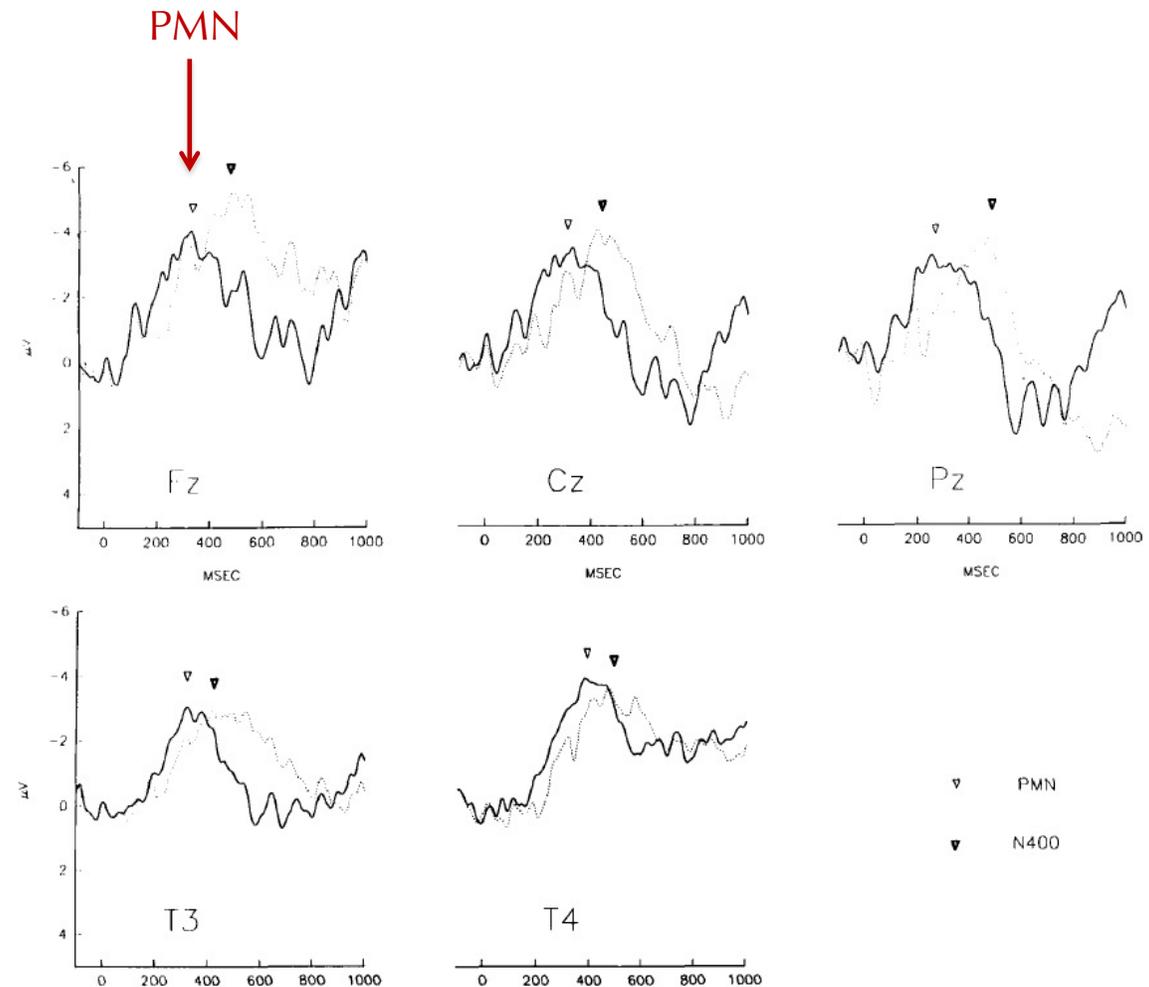
Plan de la présentation



1. Comment étudier le langage avec l'imagerie cérébrale ?
2. Principaux marqueurs électroencéphalographiques de la phonologie
3. Le cas de liaison en français : apport de la « psycholinguistique électrifiée » ?

Connolly et Phillips, 1994

- Manipulation de la congruence sémantique et phonologique de mots en position finale dans des phrases de l'anglais.
- L'amplitude de la négativité précoce varie en fonction de la congruence du phonème initial du mot avec le mot le plus attendu d'un point de vue du contexte.
- Connolly et Phillips (1994) ont appelé cette onde la **négativité phonologique de discordance**.



Van den Brink, Brown, et Hagoort (2001)

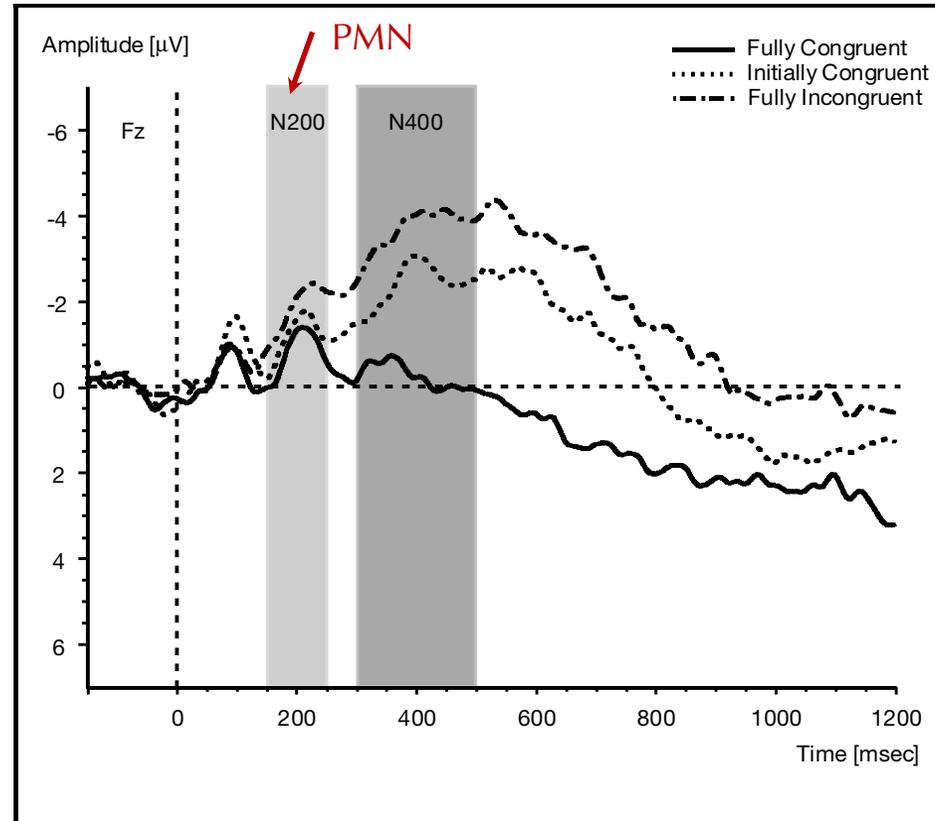
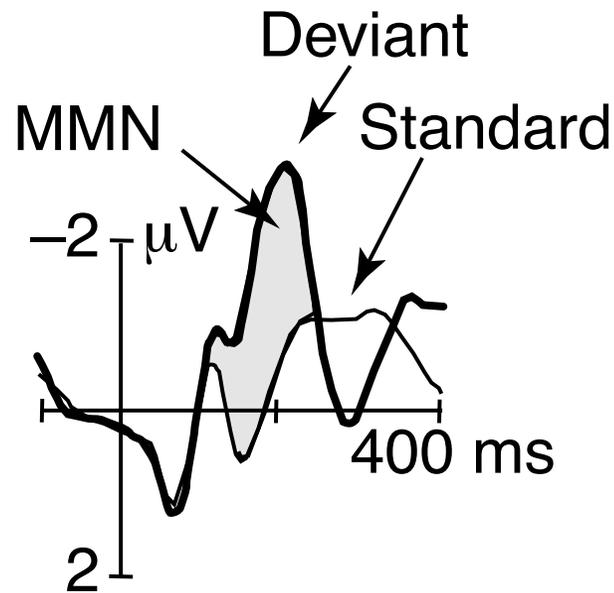


Figure 2. Connected speech. Grand average ERPs from the Fz electrode, to sentence-final words that were congruent (solid line), semantically anomalous but shared initial phonemes with semantically congruent completions (dotted line), and semantically anomalous and did not share initial phonemes with congruent completions (alternating dash/dot line), after normalization in the 150-msec prestimulus interval. Time 0 is the onset of sentence-final words. The time axis is in milliseconds.

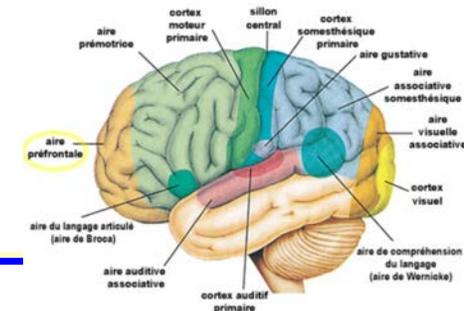
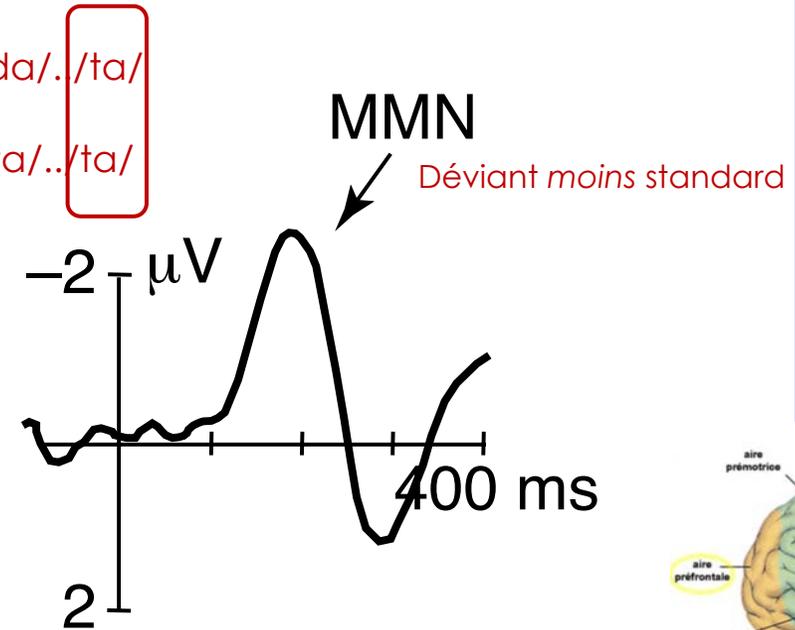
Etude de la discrimination passive : MisMatch Negativity (MMN) (Négativité de discordance)

Näätänen, 1978

Responses

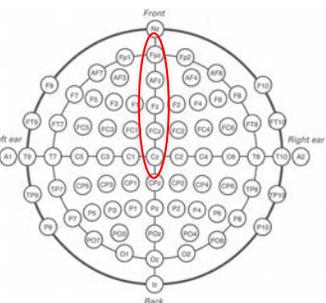


Subtraction wave



- **Latence :** 150-200 ms
- **Topographie de surface :** Centro-frontale
- **Générateurs :** Espace temporal supérieur du cortex auditif primaire bilatéral (Giard et al., 1990) et cortex frontal (Giard et al., 1990 ; Jemel et al., 2002)

La **MMN** est basée sur une trace en mémoire sensorielle à court-terme.



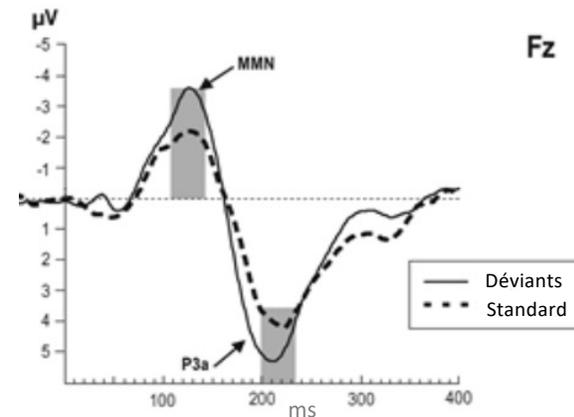
Bonnet EEG,
64 électrodes

Le complexe biphasique MMN / P3a

- Dans certains cas, la MMN est suivie par une positivité précoce appelée la **P3a** (Schroeger & Wolf, 1998 ; Escera, Alho, Winkler & Näätänen, 2005) dont la latence du pic est généralement observée entre 250 et 300 ms post-stimulus.
- Topographie fronto-centrale.
- La P3a a été initialement observée par Sutton en 1965 avec des paradigmes de **détection active** de cibles.
- Toutefois, la P3a a aussi été observée avec des paradigmes d'écoute passive où la cible à détecter est rare comme c'est le cas du paradigme du stimulus discordant (oddball ; pour une revue voir Polich, 2007).

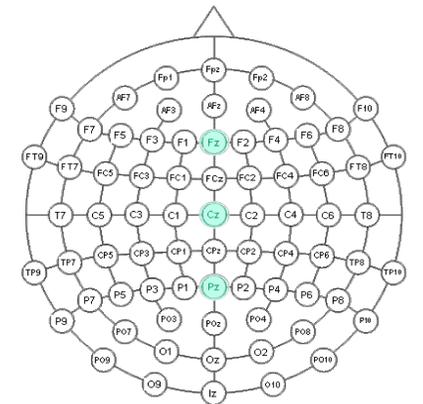
La P3a

- Cette composante est supposée refléter un engagement de l'attention, et plus précisément une **orientation involontaire de l'attention** à des changements survenant dans l'environnement et au traitement d'**informations nouvelles** (Squires, Squires & Hillyard, 1975 ; Friedman Cycowicz & Gaeta, 2001 ; Polich, 2007 ; Parmentier, 2013).



Adaptée de Gumenyuk et al., 2011

Fz

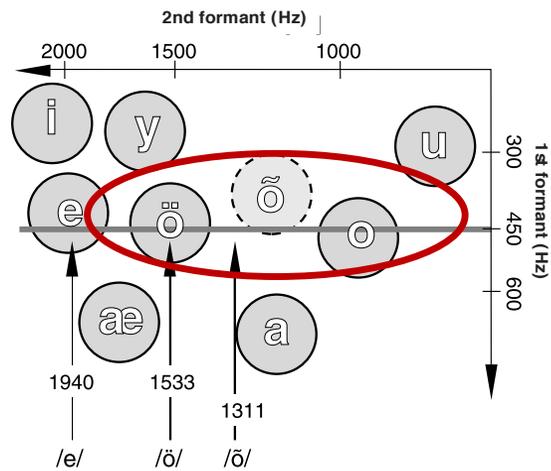


EEG cap, 64 electrodes

Cheour et al.
(1998)
Nature

- Étude du développement des représentations phonémiques spécifiques à une langue dans le cerveau des enfants.
- Mise en relation du phénomène de réorganisation perceptive avec des changements de réponses électriques du cerveau (MMN)
- Les auteurs démontrent le changement dans le cerveau des « traces en mémoire » spécifiques au langage chez des nourrissons examinés longitudinalement entre l'âge de 6 mois et un an.
- Langues estonienne et finnoise

Pourquoi l'estonien et le finlandais ?



- Ces deux langues, qui sont étroitement liées l'une à l'autre, ont des structures de voyelles très similaires.
- Par exemple, les voyelles / e / et / ö /, qui ne diffèrent que par la fréquence du deuxième formant (F2), existent dans les deux langues.
- Cependant, seul l'estonien a la voyelle / õ /, qui est approximativement entre / ö / et / o / (Fig. 1).
- Les auteurs utilisent ces phonèmes pour étudier le développement de traces en mémoire spécifiques au langage chez les nourrissons.

Résultats

• Cheour et al. (1998)

Fig. 3. The MMN peak amplitude (at Cz) as a function of the deviant stimulus. Results are shown for three groups: six-month-old (squares, thick solid line) and one-year-old (circles, thin solid line) Finnish infants and one-year-old Estonian (triangles, dotted line) infants. These are arranged in the order of increasing F2 difference from the standard stimulus. —■, 6-month-old Finns; —●, one-year-old Finns; --▲, one-year-old Estonians.

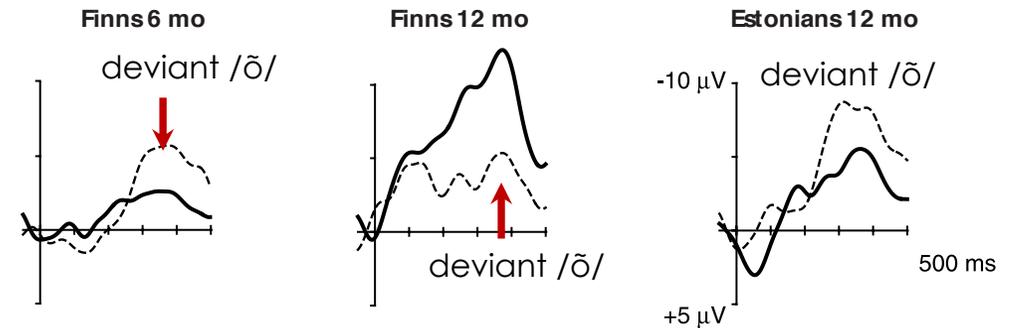
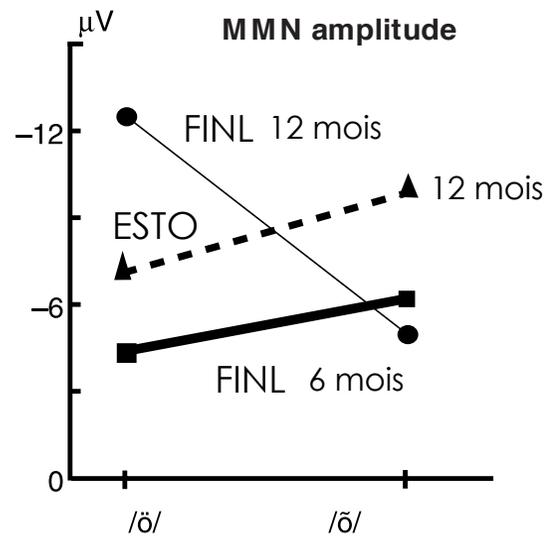


Fig. 2. The MMN amplitude at the central Cz electrode (grand-average, deviant-standard difference waveform, averaged across nine infants) reflects the development of language-specific memory traces in Finnish infants. At six months of age, their MMN amplitude reflects only the acoustical difference between the deviant and standard stimuli. In contrast, at one year of age, the MMN amplitude in the same children was considerably enhanced for the Finnish vowel /*ö*/ and considerably attenuated for the Estonian vowel /*õ*/. In Estonian one-year-old infants, the MMN amplitude reflected only the acoustic difference between deviant and standard stimuli, as both deviant stimuli are vowels in Estonian. — standard /*e*/ - deviant /*ö*/, a vowel shared by Finnish and Estonian languages, - - - standard /*e*/ - deviant /*õ*/, an Estonian vowel.

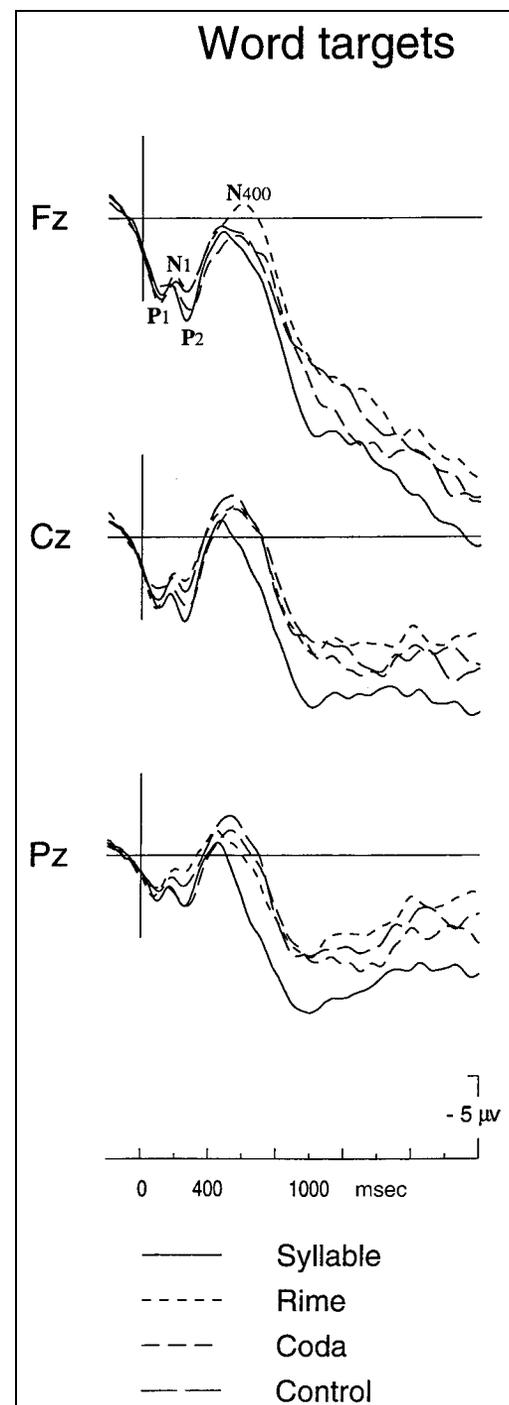
Discussion

- Les données des auteurs montrent que les enfants Finnois sont sensibles à la voyelle /õ/ de l'estonien qu'ils différencient de la voyelle / e/ à 6 mois mais plus à 12 mois.
- En revanche, les enfants Estoniens continuent à 12 mois à percevoir la voyelle /õ/ qui fait partie de leur système phonologique.
- Dans cette étude longitudinale testant la même cohorte de nourrissons à 6 mois puis à 12 mois, les auteurs apportent la preuve du changement des réponses neurophysiologiques du cerveau en fonction de l'expérience linguistique (changement des « traces en mémoire » spécifiques au langage).
- Ces résultats supportent la notion d'**engagement neuronal** proposé par Patricia Kuhl et son équipe.

Dumay et al.,
2001

Amorçage phonologique
intra-modal (audio).

La **N400** **auditive** est la
plus petite pour le
Recouvrement syllabique.



*lurage – tirage (syllabique)
*lubage – tirage (rime)
*lusoge – tirage (coda)
*lusole – tirage

Plan de la présentation



1. Comment étudier le langage avec l'imagerie cérébrale ?
2. Principaux marqueurs électroencéphalographiques de la phonologie
3. Le cas de liaison en français : apport de la « psycholinguistique électrifiée » ?

Neurophysiologie de la liaison en français : Rôle des contraintes grammaticales et de la fréquence lexicale

C. Celata, G. De Flaviis, O. Floquet, B. Laks, et F. Isel
(en préparation)

- Università degli studi di Urbino 'Carlo Bo'
- Sapienza Università di Roma
- Université Paris Nanterre
- CNRS, Institut des Sciences Humaines et Sociales

Financement accordé à F. Isel : CNRS, *International Emerging Action, Action (IEA) 2021 et 2022*
Neuro-educational challenges in language learning: French liaison in comprehension processes (NEED)



1506
UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI URBINO
CARLO BO



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

modyco Modèles, Dynamiques, Corpus
UMR 7114

Université
Paris Nanterre

Grammatical constraints and lexical frequency in the comprehension of French *liaison*

C. Celata et al. G. De Flaviis, O. Floquet and F. Isel
Università degli studi di Urbino 'Carlo Bo'
Sapienza Università di Roma
UMR7114 Université Paris Ouest Nanterre

XVIII CONGRESSO AISV Napoli 4 maggio 2022



Question de recherche

- Cette étude psycholinguistique pose la question de la **réalité neurocognitive** de la distinction faite en linguistique entre
 - liaisons catégoriques (*le[z]opposants*),
 - liaisons interdites (*temps#est*)
 - liaisons facultatives (*jeux#olympiques vs jeu[z]olympiques*).

Objectif

- Déterminer la nature des processus langagiers engagés pour traiter la liaison.
 - Chaîne de traitement de l'analyse phonologique à l'intégration lexicale sémantique en passant par l'accès au lexique ?
- Étudier les processus neurocognitifs du langage sous-jacents à l'analyse de la liaison en fonction de sa **typologie linguistique**.

Opérationnalisation expérimentale

- Utilisation des potentiels évoqués comme marqueurs spécifiques de différents niveaux d'analyse linguistique (Friederici, 2011 ; Isel 2017; Isel & Kail, 2018 pour des revues), afin de déterminer si les processus langagiers engagés pour traiter la liaison sont de nature :
 - Phonologique (PMN)
 - Lexicale (N400, P600)
 - Syntaxique (ELAN / P600)
 - Morphosyntaxique (LAN/P600 ou uniquement P600)

Participants

- Dix locuteurs natifs du français parisien (5 femmes), étudiants de 23 ans en moyenne (20-25 ans), tous droitiers, sans troubles neurologiques ou psychiatriques avérés, ayant une audition normale.
 - Objectif : tester un échantillon de 40 participants
- Dossier en cours d'évaluation par le Comité d'Éthique de la Recherche de l'Université Paris Nanterre (CER-UPN).
- Respect des principes de la Déclaration d'Helsinki (dernier amendement, octobre 2013).
- Protection des données personnelles (Aude Da Cruz Lima).
- Application des principes FAIR de gestion des données expérimentales (Wilkinson et al., 2016).

Matériel linguistique

- Un texte d'environ 10 minutes de long contenant les trois types de liaisons dispersés dans un ordre pseudo-aléatoire.
- Chaque liaison est présentée dans sa version correcte ou incorrecte (liaisons catégoriques et interdites) ou préférée (liaisons facultatives).
- Au total, 48 items critiques :

	Catégorique	Interdite		Facultative
Correcte	$N = 8$ <i>le[z]opposants</i>	$N = 6$ temps#est	Fréquence	$N = 10$ <i>jeux#olympiques</i>
Incorrecte	$N = 8$ <i>*les#opposants</i>	$N = 6$ <i>*temp[z]est</i>	Rare	$N = 10$ <i>jeu[z]olympiques</i>

Source des fréquence d'occurrence : PFC
(Durand, Laks & Lyche, 2006)

Matériel linguistique complet

1.les opposants		1.Comment, en plus	1.rares occasions
2.les emporter		2.et un	2.prochain orage
3.en arrive		3.les huit	3.jeux olympiques
4.on est		4.situation à	4.courants ascendants
5.nous avons		5.commerçants ont	5.plus intenses
6.vous avez		6.temps est	6.très inquiet
7.tout en (restant)			7.était une
8.(de) moins en (moins)			8.c'est un
			9.doit être
			10.peut aussi

Extrait du texte

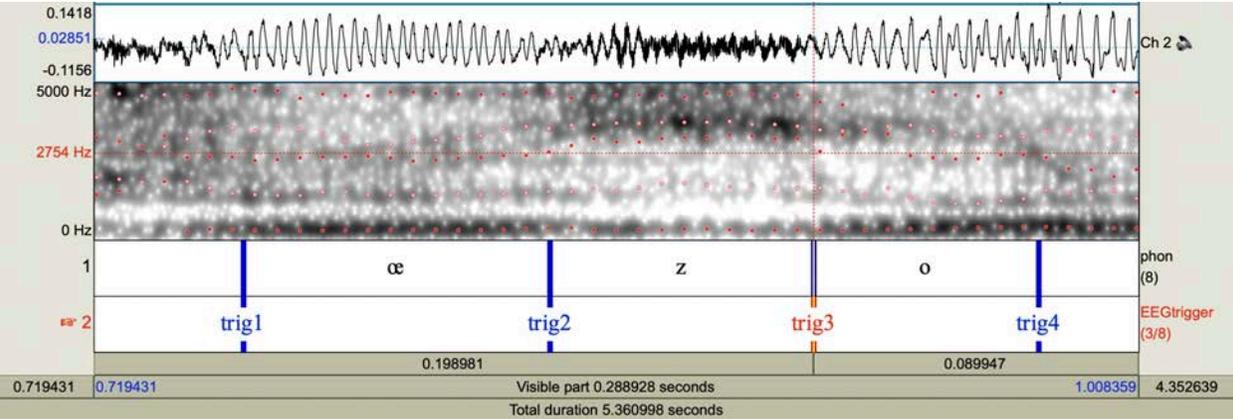
Bonjour et bienvenue à notre rendez-vous quotidien avec les faits divers de France. Aujourd'hui, c'est le petit village de Beaulieu avec ses batailles politiques récentes qui a réveillé notre curiosité. Dans la section d'éducation météorologique, on va découvrir les secrets des arcs-en-ciel et de la formation des orages.

Le village de Beaulieu est en grand émoi. Le Premier Ministre a en effet décidé de faire étape dans cette commune au cours de sa tournée de la région en fin d'année. Jusqu'ici les seuls titres de gloire de Beaulieu étaient son vin blanc sec, un champion local de course à pied (Louis Garret), quatrième aux jeux olympiques de Berlin en 1936, et plus récemment, son usine de pâtes italiennes. Qu'est-ce qui a donc valu à Beaulieu ce grand honneur? Pas le chantier de voies routières qui liera Beaulieu à Nice et Monaco pour les prochains jeux olympiques des disciplines maritimes. Le hasard, plutôt, car le Premier Ministre, lassé des circuits habituels qui tournaient toujours autour des mêmes villes, veut découvrir ce qu'il appelle « la campagne profonde ».

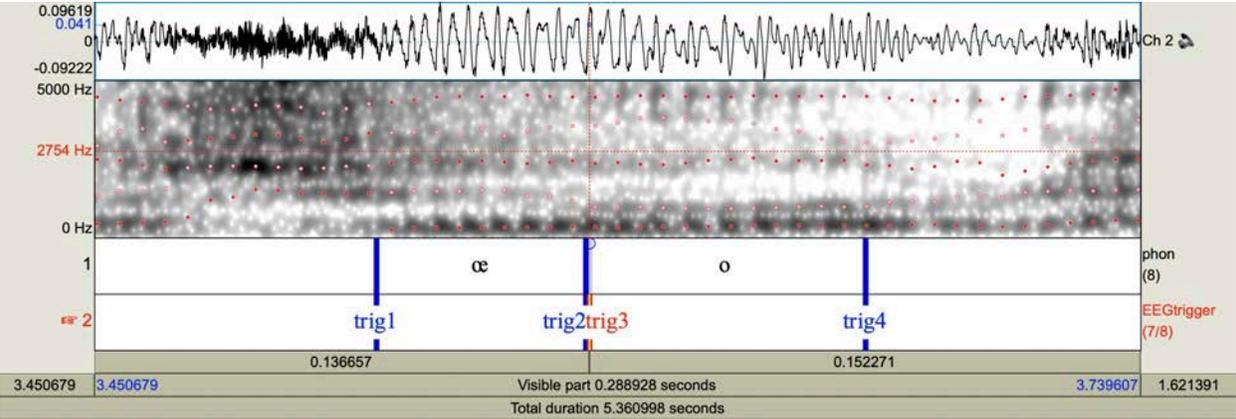
Le maire de Beaulieu – Marc Blanc – est en revanche très inquiet. La cote du Premier Ministre ne cesse de baisser depuis les élections. Mais bien d'autres raisons le rendent très inquiet. Comment, en plus, éviter les manifestations qui ont eu tendance à se multiplier lors des visites officielles? Comment, en peu de temps, s'assurer que tout se déroule de manière pacifique? La côte escarpée du Mont Saint-Pierre qui mène au village connaît des barrages à chaque fois que les opposants de tous les bords manifestent leur colère. D'un autre côté, à chaque voyage du Premier Ministre, le gouvernement prend contact avec la préfecture la plus proche et s'assure que tout est fait pour le protéger, les opposants étant neutralisés bien avant son arrivée sur place. Or, un gros détachement de police, comme on en a vu à la Jonquière, et des vérifications d'identité risquent de provoquer une explosion.

Synchronisation temporelle entre signal acoustique et signal EEG : Position des triggers

Quatrième aux [Jeu\[z\]Olympiques](#) de Berlin en '36 [...] pour les prochains [Jeux#Olympiques](#) des disciplines maritimes



normative: [zœzo]



deviant: [zœo]

Consigne expérimentale

- Vous allez écouter un enregistrement sonore qui dure entre 8 et 9 minutes: il s'agit d'un homme, francophone, qui parle et qui lit des actualités politiques et météorologiques.
- Vous ne verrez rien sur l'écran du PC, qui va rester noir tout le temps, à l'exception d'une petite croix blanche au centre de l'écran vers laquelle vous devrez essayer de diriger votre regard.
- Merci d'essayer de ne pas trop bouger pendant l'écoute, en particulier la tête et le corps.
- Votre tâche ne consiste qu'à écouter attentivement le texte diffusé par les haut-parleurs.
- Tenter de bien comprendre son contenu puisqu'ensuite je vous poserai quelques questions sur ce qui a été dit.
- Il s'agit de questions très simples avec seulement deux possibilités de réponse dont une sera la bonne.

Huit questions post-expérience

Exemples :

- 1) Pourquoi le Maire de Beaulieu est inquiet?
 - Parce que le Premier Ministre n'appartient pas à son parti politique
 - Parce qu'il faut éviter que les manifestations soient violentes

- 2) Les activistes des communes voisines préparent:
 - une grève prolongée
 - un jeûne prolongé

Procédure expérimentale

- Écoute passive.
- Questions pour s'assurer que les participants ont bien compris et ont été attentifs lors de l'écoute du texte.
- Enregistrement EEG (64 électrodes ; BioSemi Active-two system, BioSemi, Amsterdam, Netherlands).
- Les 64 électrodes étaient placées selon le système international 10–20.
- Taux d'échantonnage : 512 Hz avec un filtre continu passe-bande 0.5-100 Hz
- Les données EEG data étaient analysées avec la toolbox EEGLAB (Delorme & Makeig, 2004).

Hypothèses opérationnelles (prédictions)

- Elles portent sur la nature du traitement cognitif réalisé en fonction de la typologie de la liaison :
 - Si **prédiction des informations phonologiques** à partir du contexte phrastique, alors le traitement local d'un phonème non attendu (liaison obligatoire non réalisée ou liaison interdite réalisée), alors on devrait observer une **PMN** (Connolly & Phillips, 1994 ; van den Brink, Brown, & Hagoort, 2001) ;
 - Si la violation des liaisons obligatoires ou interdites perturbe l'accès au lexique du mot cible, alors la N400, indicateur d'accès au lexique, devrait être modulée (van Petten & Kutas, 1994). Une révision lexicale-sémantique pourrait ensuite avoir lieu qui devrait être alors attestée par une P600 postérieure (DeLong & Kutas, 2014) ;
 - Si la violation implique plutôt un traitement syntaxique (ELAN / P600) (Friederici, 2011) ;
 - Si la violation met en jeu une analyse plutôt morphosyntaxique (LAN/P600 ou uniquement P600 (voir Kail & Isel, 2018, pour une revue).

Pré-traitement des données

Un pré-traitement basique des données EEG a été effectué :

- 1 Filtrage passe-bande entre 0.05 Hz et 45 Hz (comme pour l'article de Katerina)
- 2 Référence sur la moyenne des électrodes
- 3 Utilisation de la décomposition ICA pour retirer les signaux parasites engendrés par les mouvements oculaires

Nous nous sommes concentrés sur la **N400** :

- Electrodes Cz, Pz et CPz (signal moyenné)
- Fenêtre temporelle centrée aux alentours de 400 ms après stimulus

Le sujet 14 demande quelques traitements additionnels (signaux parasites très marqués) et ne sera pas présenté ici.

Présentations des triggers

Les triggers sont de la forme XYZW

- X représente le type de liaison : obligatoire (1), facultative (2) ou interdite (3)
- Y représente l'occurrence : première présentation (1) ou seconde présentation (2)
- Z représente la méthode de datation de la liaison : 4 hypothèses ont été faites (voir présentation de Celata/Isel, slide 10)
- W représente la prononciation de la liaison : réalisée (1) ou pas (2)

Ainsi **1231** représente une liaison obligatoire (1---), se présentant pour la deuxième fois (-2--), selon la 3eme méthode de datation (--3-) et étant réalisée dans le fichier audio (---1).

Hypothèses

- On s'attend à voir un effet pour les triggers de la forme 1--2 (liaison obligatoire non réalisée) et 3--1 (liaison interdite réalisée)
- On s'attend à ne voir aucun effet pour les triggers de la forme 1--1 (liaison obligatoire réalisée) et 3--2 (liaison interdite non réalisée)
- Pas d'a priori pour les liaisons facultatives ?

Cette étude préliminaire se concentre sur deux questions

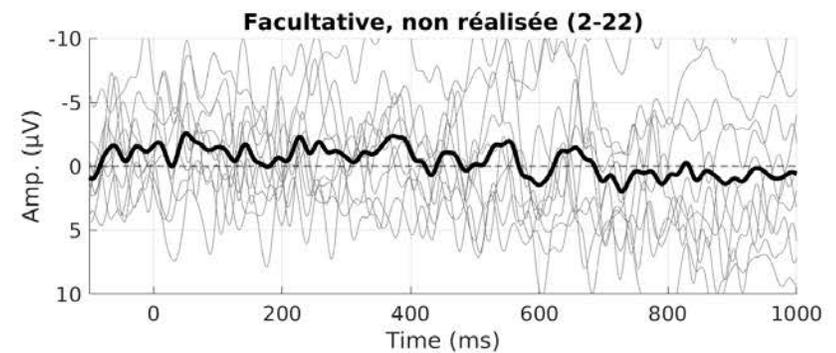
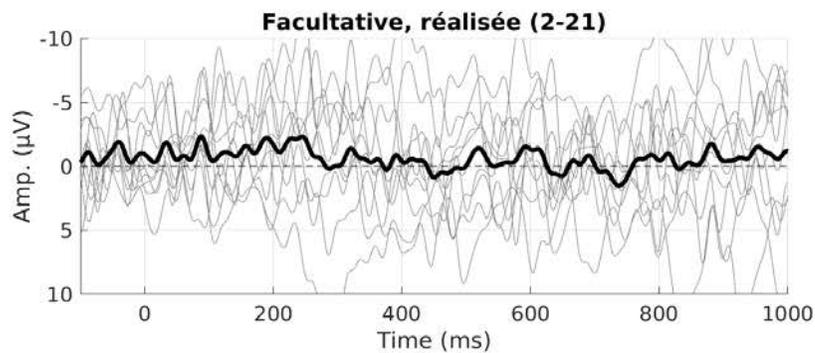
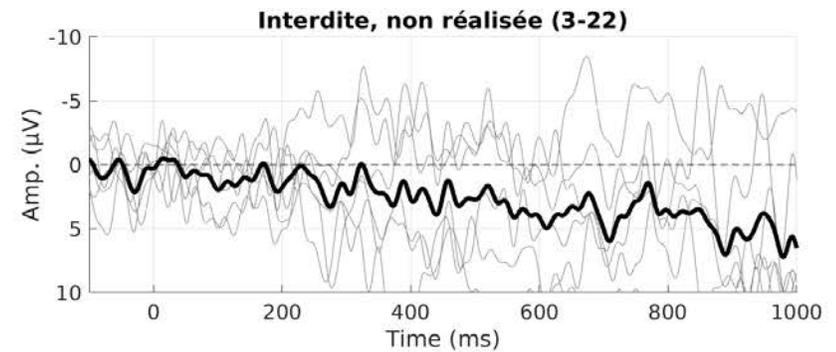
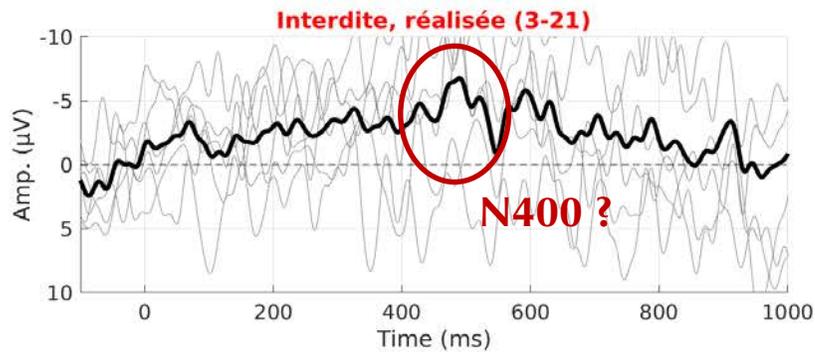
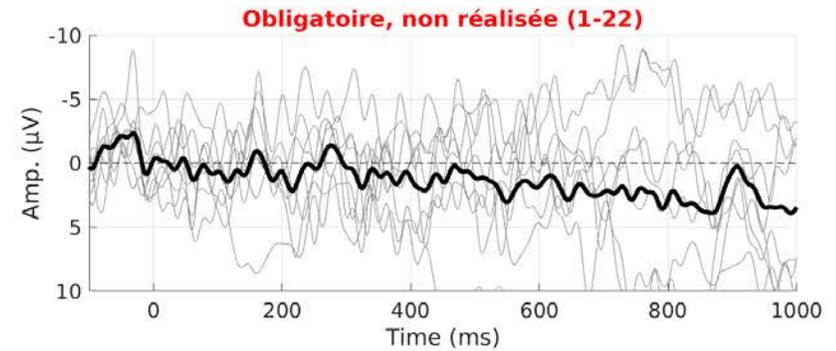
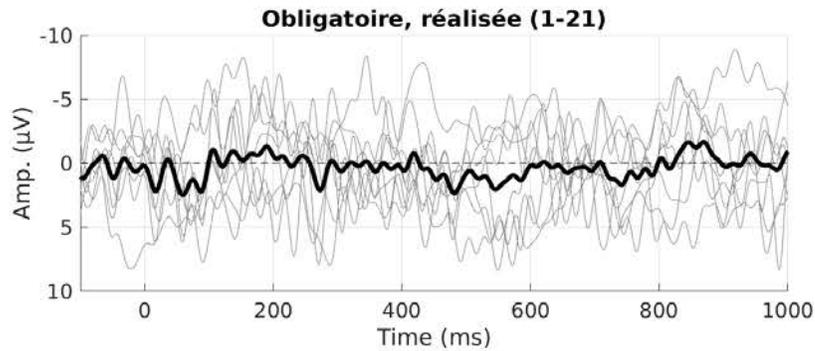
- ❶ Quel est l'impact de la méthode de datation (donc --Z-) ?
- ❷ Peut-on déjà voir quelque chose dans les données (N400) ?

Les slides suivantes présentent les résultats préliminaires pour les sujets 8 et 12, en testant chacune des 4 hypothèses de datation en se concentrant sur le signal N400. Les différentes réalisations de la condition sont tracées en gris : nous en avons 8 pour la liaison obligatoire, 6 pour la liaison interdite et 10 pour la liaison facultative. Le signal moyen est ensuite tracé en noir épais.

Sujet 8, hypothèse de datation 2

test8, Datation --2-, Moyenne sur {Cz, Pz, CPz}

temp[z]est
↓
temps#est



Prochaines étapes du projet

- **Poursuivre les tests** de la synchronisation entre le signal de parole et le signal EEG.
- **Vérifier** la pertinence de la position des triggers dans le signal (actuellement 4 positions qui encadre la zone critique).
- **Recruter** de nouveaux participants (au moins 40 car faible nombre d'items critiques par condition de liaison).
- **Optimiser nos analyses statistiques** des données (PE, location de générateurs neuronaux pour bien comprendre le rôle fonctionnel des PE mesurés à la surface du cuir chevelu, en particulier pour la N400 qui peut refléter une analyse des propriétés phonologiques, des difficultés d'accès au lexique, ou encore des difficulté d'intégration des mots dans le contexte phrastique précédent).



**Merci pour votre
attention !**