

Peut-on comprendre comment fonctionne la parole grâce à des maths et de l'informatique ?

Jean-Luc Schwartz

Humain et numérique en interaction - 2019

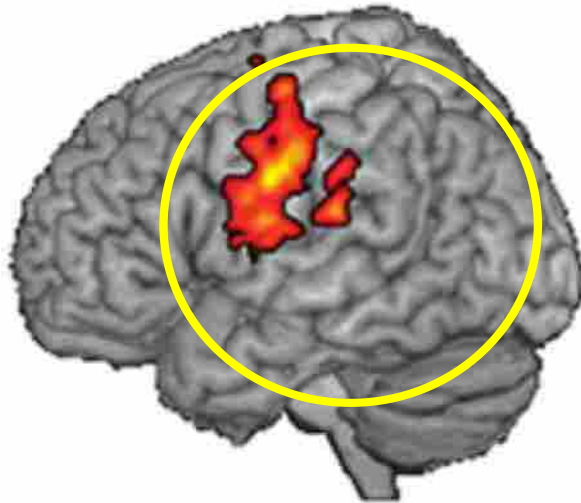
- 1. Sciences cognitives et modélisation informatique**
- 2. Les neurones miroir et la perception de la parole**
- 3. Les unités de la parole**
- 4. Epilogue**

- 1. Sciences cognitives et modélisation informatique**
2. Les neurones miroir et la perception de la parole
3. Les unités de la parole
4. Epilogue

Peut-on comprendre comment fonctionne la parole grâce à des maths et de l'informatique ?

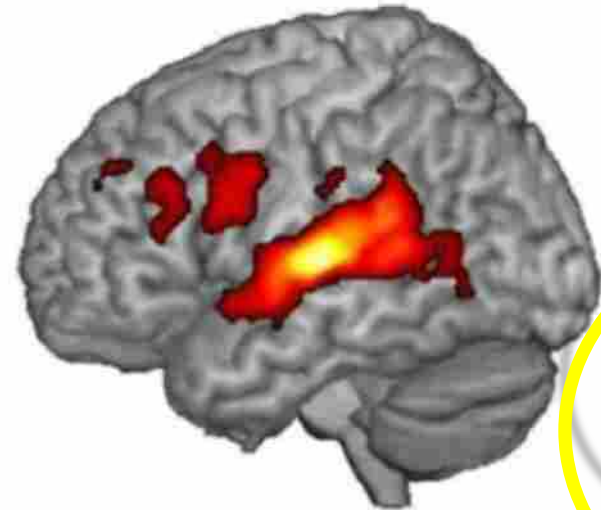
Rentrer dans le cerveau par la neuro-imagerie

Motricité (Mâchoire)



Grabski et al. (2012). Functional MRI assessment of orofacial articulators: neural correlates of lip, jaw, larynx and tongue movements. *Human Brain Mapping*, 33, 2306-21.

Perception (voyelles)



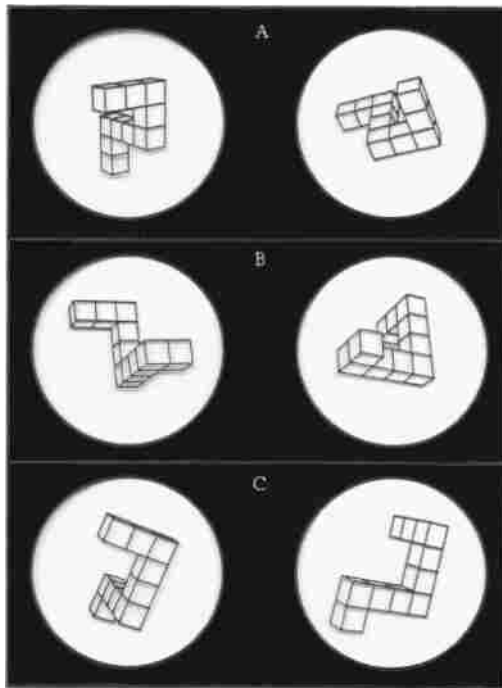
Grabski et al. (2013). Shared and distinct neural correlates of vowel perception and production. *Journal of Neurolinguistics*, 26, 384-408.

Rentrer dans le cerveau par les représentations mentales



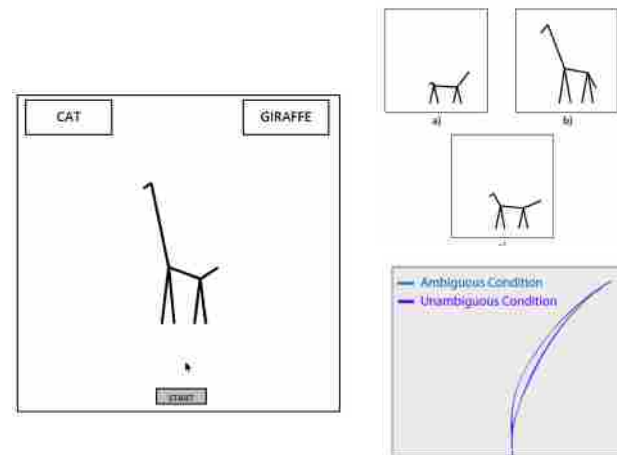
Gros grain vs. grain fin : les lettres de Navon

Navon, D. (1977). Forest before trees - Precedence of global features in visual-perception. *Cognitive Psychology*, 9, 353-383.



Objets mentaux 3D

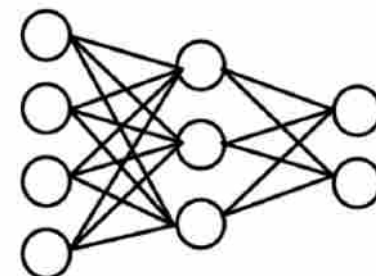
Shepard & Metzler (1971). Mental rotation of 3D objects. *Science*. 171 (3972): 701-703



Trajectoires mentales décisionnelles

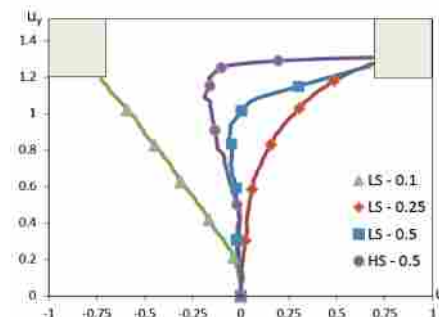
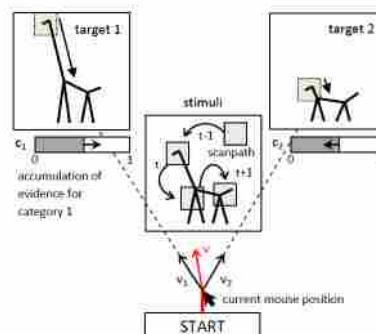
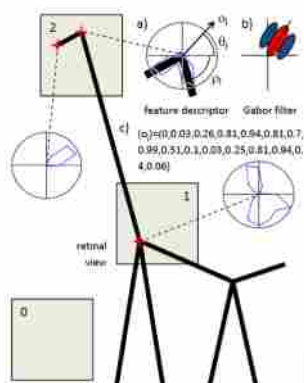
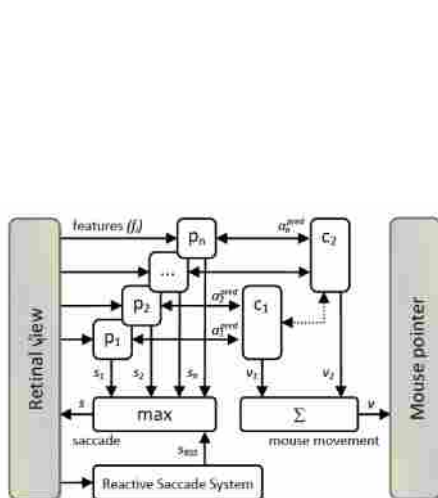
Quinton et al. (2014). The Cat is on the Mat. or is it a Dog? Dynamic Competition in Perceptual Decision Making. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, vol. 44, no. 5, pp. 539-551

Modèles informatiques



Multi-Layer Perceptron
(associative layer)

Mermillod et al. (2010). Coarse scales are sufficient for efficient categorization of emotional facial expressions: Evidence from neural computation. *Neurocomputing* 73, 2522–2531



Quinton et al. (2014). The Cat is on the Mat. or is it a Dog? Dynamic Competition in Perceptual Decision Making. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, vol. 44, no. 5, pp. 539-551

L'informatique

pour comprendre,

pour simuler,

pour innover

1. Sciences cognitives et modélisation informatique
- 2. Les neurones miroir et la perception de la parole**
3. Les unités de la parole
4. Epilogue

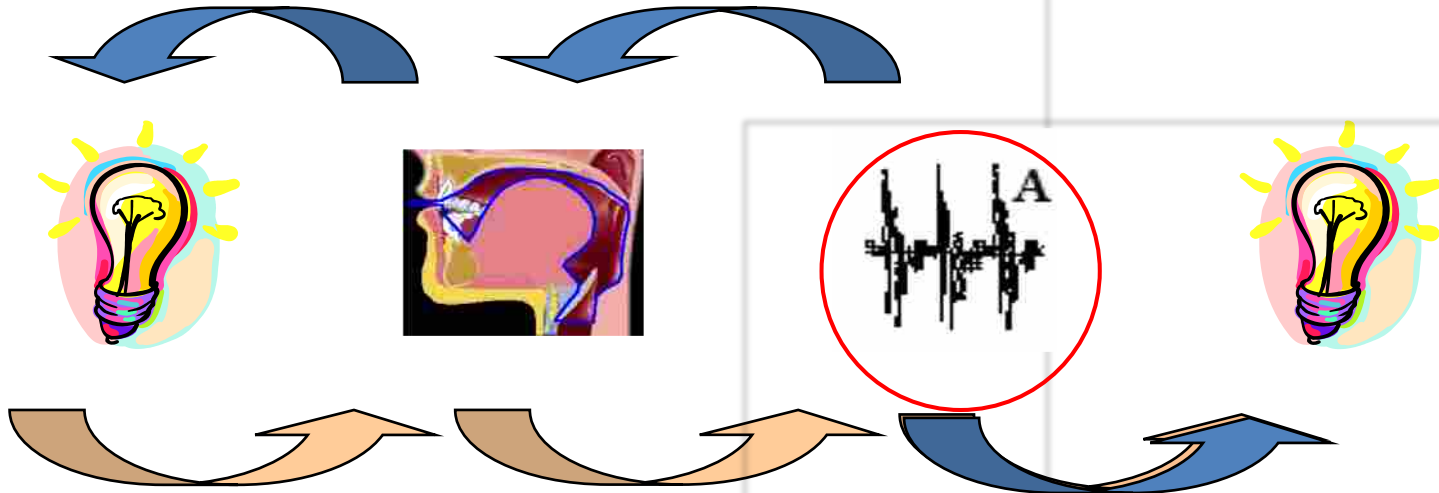
Communiquer



Percevoir

Théories motrices

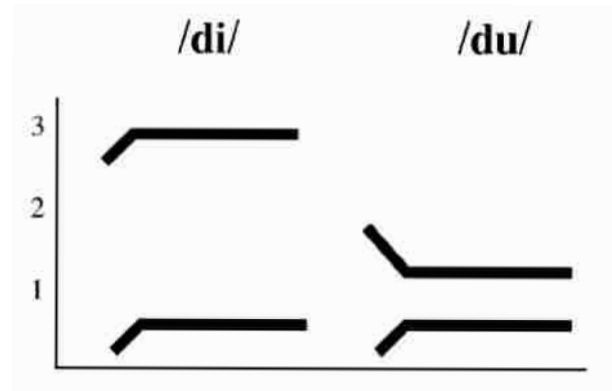
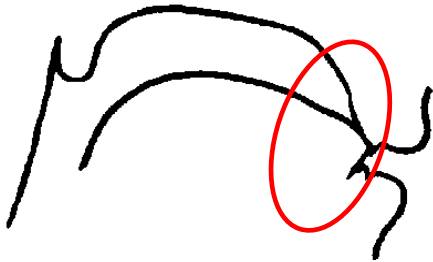
Programme centré sur les processus de production et les mécanismes d'inversion articulatoire-acoustique



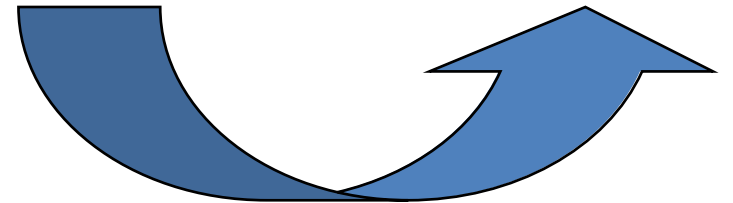
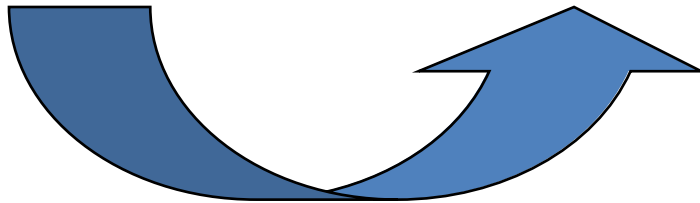
Théories auditives

Programme centré sur le traitement auditif de l'information

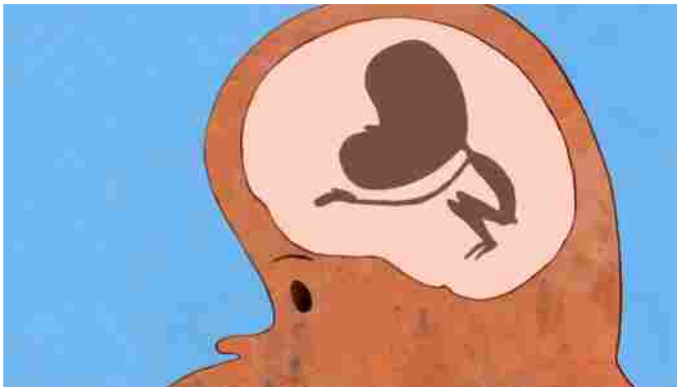
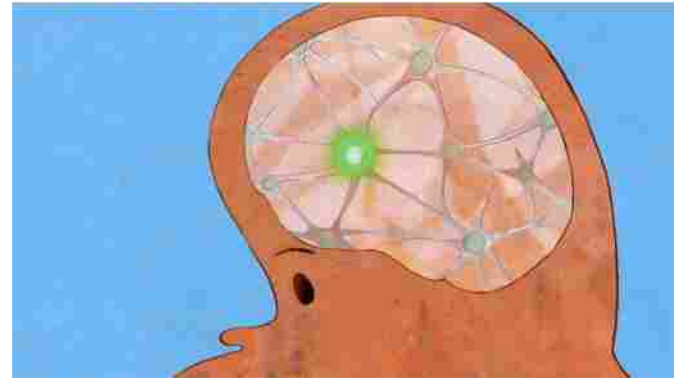
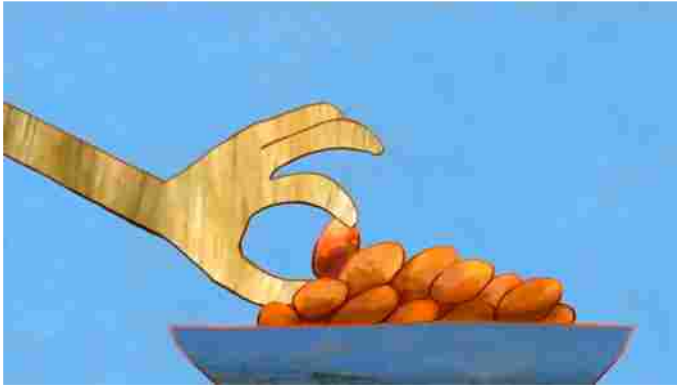
Le geste est fixe, le signal acoustique est
variable, le percept est constant :
L'invariance est dans le geste vocal



d



Les neurones miroir



Gouttes de Sciences, Maryse Lamigeon

Un système cortical mettant en correspondance observation et exécution des actions - Rizzolatti et coll., depuis 1992

Le système miroir chez l'humain

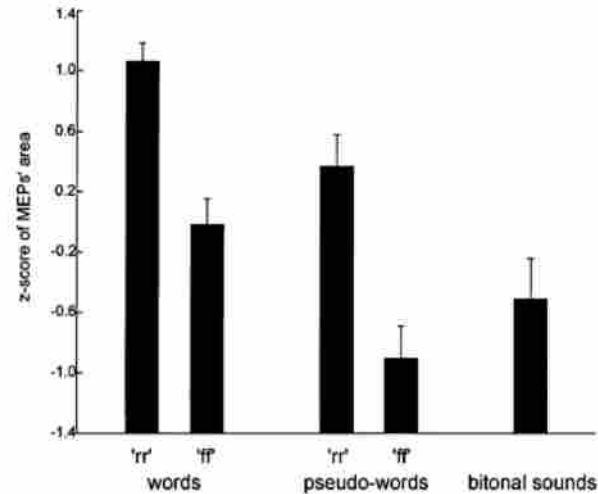
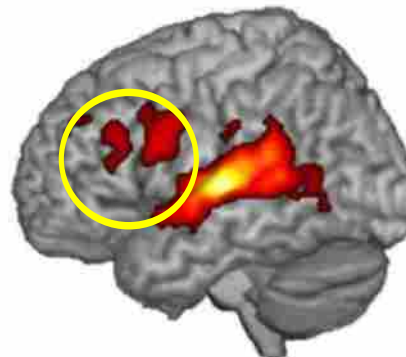


FIG. 2. Average value (+ SEM) of intrasubject normalized MEPs total areas for each condition. Data from all subjects; 'rr' and 'ff' refer to verbal stimuli containing a double lingua-palatal fricative consonant 'r', and containing a double labio-dental fricative consonant 'f', respectively.

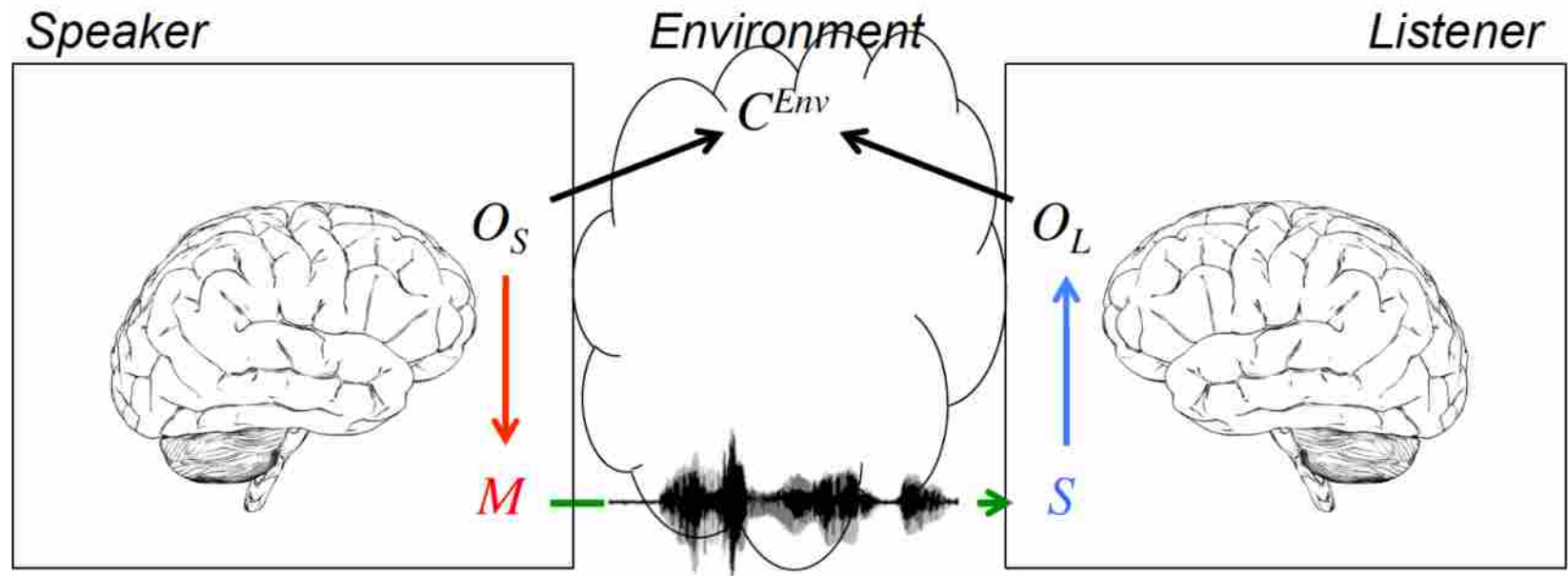
Fadiga et al., 2002 : Speech listening specifically modulates the excitability of tongue muscles: a TMS study. Eur J Neurosci. 2002 Jan;15(2):399-402.



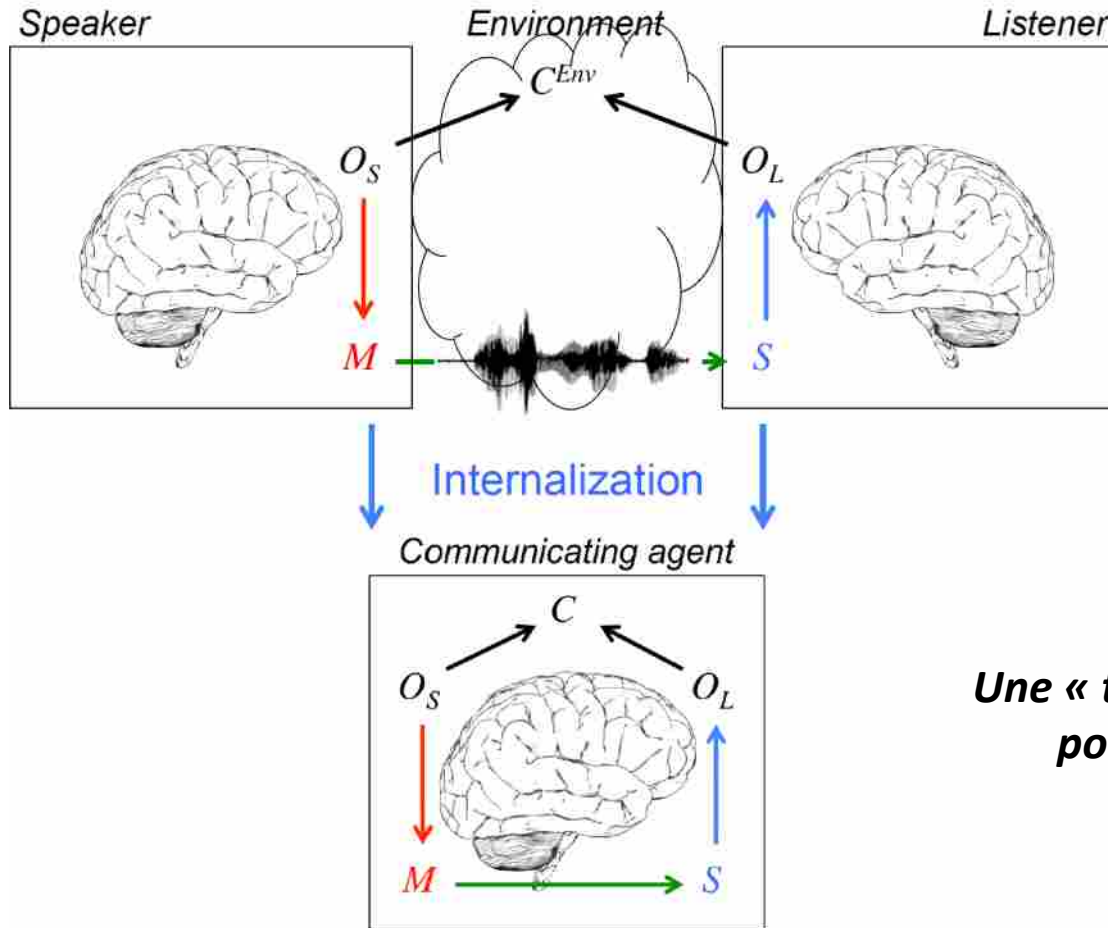
Perception (voyelles)

Grabski et al. (2013). Shared and distinct neural correlates of vowel perception and production. Journal of Neurolinguistics, 26, 384-408.

La communication parlée, une unification de deux cerveaux

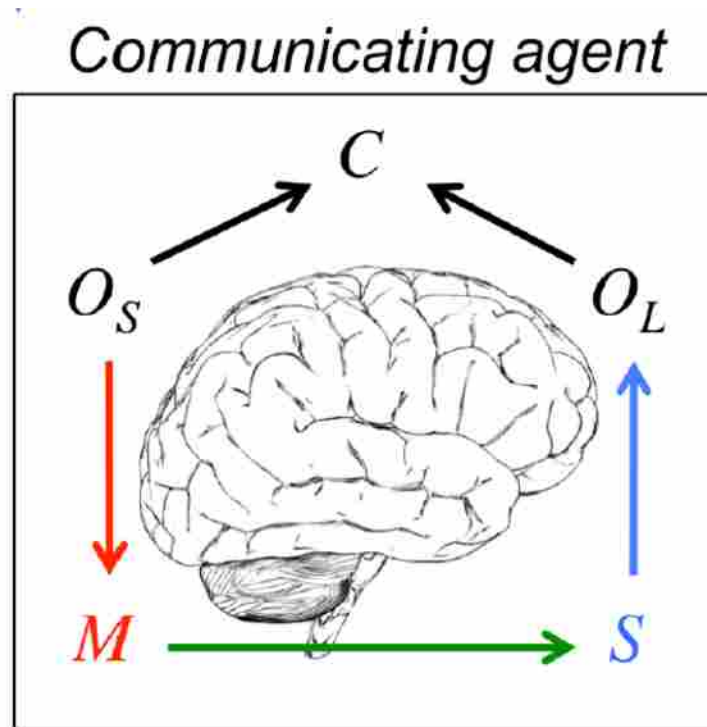


Internaliser la boucle de communication



***Une « théorie de l'esprit »
pour le langage ?***

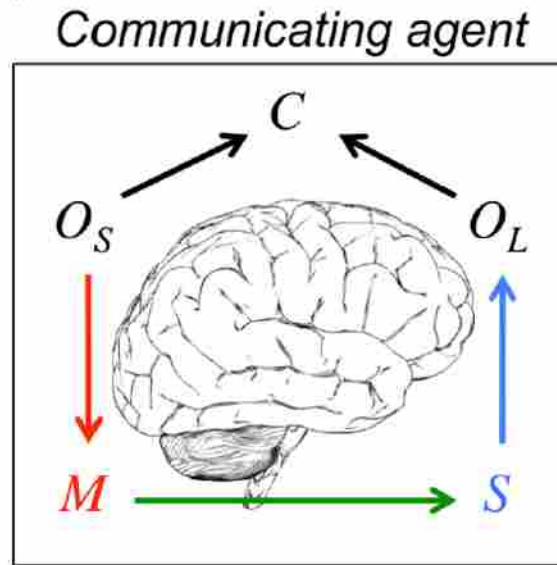
COSMO, un modèle pour unifier tout ça !



Communicating Objects by Sensory Motor Operations

D'un modèle conceptuel à un modèle d'agent probabiliste

Production
 $P(M | O)$



Perception
 $P(O | S)$

$$P(C \ O_L \ S \ M \ O_S)$$

=

$$P(O_S) \ P(M | O_S) \ P(S | M) \ P(O_L | S) \ P(C | O_S, O_L)$$

↑
Tous objets
équiprobables

↑
Système
moteur

↑
Système
Perceptuo-moteur

↑
Système
sensoriel

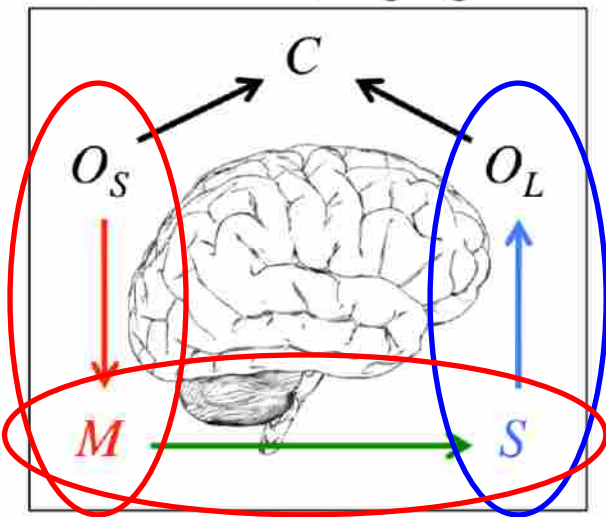
↑
Validation de la communication :
1 si $O_S = O_L$ 0 sinon

Inférence bayésienne et simulation des théories auditive, motrice et perceptuo-motrice

$$P(C \ O_L \ S \ M \ O_S) = P(O_S) P(M \mid O_S) P(S \mid M) P(O_L \mid S) P(C \mid O_S, O_L)$$

$$P(O \mid S) ?$$

Communicating agent



Théories auditives : le pivot est O_L (« listener »)

Le modèle de perception est défini par la question probabiliste : **$P(O_L \mid S)$**

Théories motrices : le pivot est O_S (« speaker »)

Le modèle de perception est défini par la question probabiliste : $P(O_S \mid S)$

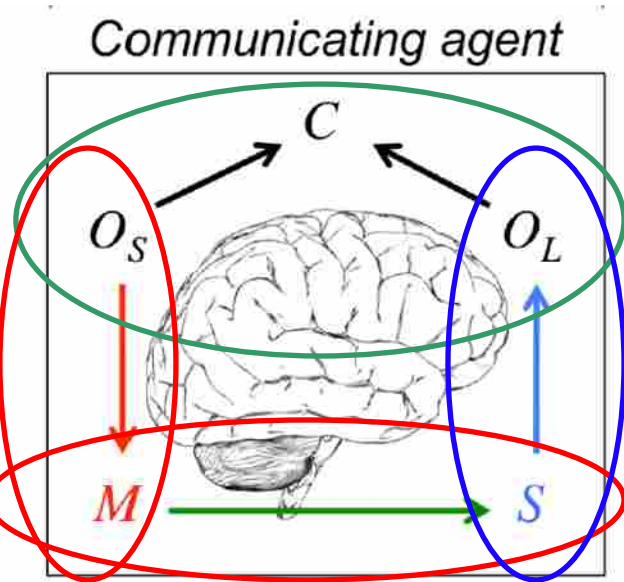
L'inférence bayésienne fournit :

$$P(O_S \mid S) \propto \sum_M P(M \mid O_S) P(S \mid M)$$

Inférence bayésienne et simulation des théories auditive, motrice et perceptuo-motrice

$$P(C \mid O_L, S, M, O_S) = P(O_S) P(M \mid O_S) P(S \mid M) P(O_L \mid S) P(C \mid O_S, O_L)$$

$$P(O \mid S) ?$$



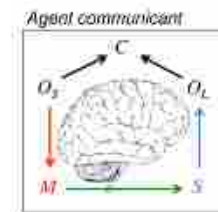
Théories perceptuo-motrices :
Reposent sur l'hypothèse d'une communication réussie ($C=1$)

Le modèle de perception est défini
par la question probabiliste : $P(O_L \mid S, C=1)$

L'inférence bayésienne fournit :

$$P(O_L \mid S, C=1) \propto P(O_L \mid S) \sum_M P(M \mid O_S) P(S \mid M)$$

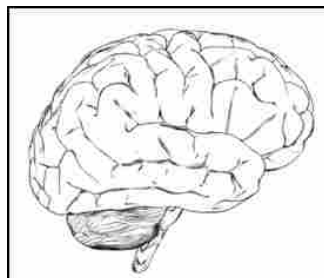
Quelles sont les propriétés computationnelles des décodeurs auditif, moteur, perceptuo-moteur ?
Identiques dans des conditions aux limites – mais comment dans la « vraie vie » ?



- COSMO 1D : Apprentissage auditif

Mise à jour de s
système auditif
 $P([S=s] \mid [O_L = o])$

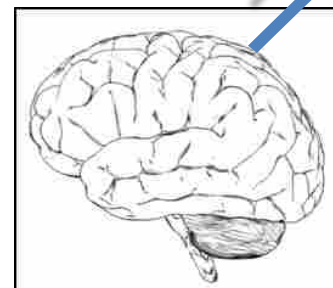
Maître



Envoi d'un s et du
 o associé

1

Agent



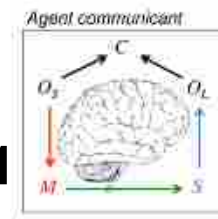
2

$s \in S$ et $o \in O_s$

Psychological Review

The Complementary Roles of Auditory and Motor Information Evaluated in a Bayesian Perceptuo-Motor Model of Speech Perception

Raphaël Laurent, Marie-Lou Barnaud, Jean-Luc Schwartz, Pierre Bessi re, and Julien Diard
 Online First Publication, May 4, 2017. <http://dx.doi.org/10.1037/rev0000069>

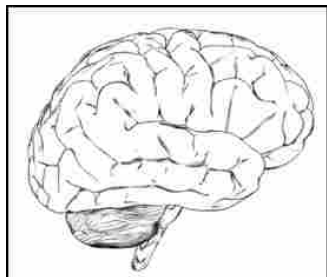


- COSMO 1D : Apprentissage moteur**

Imitation (étape 1)

Choix d'un m par
 $P(M \mid [S=s] [O_L = o])$

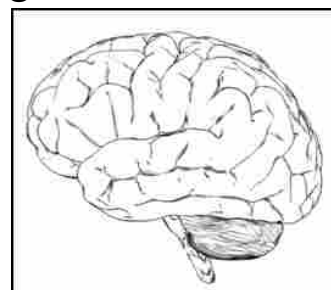
Maître



Envoi d'un s et du
o associé

1

Agent



2

Imitation (étape 2/2)

Production
du m et
perception
d'un s'

3

4

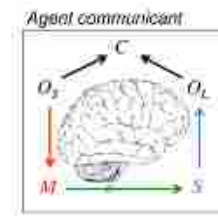
Mise à jour de son

système interne

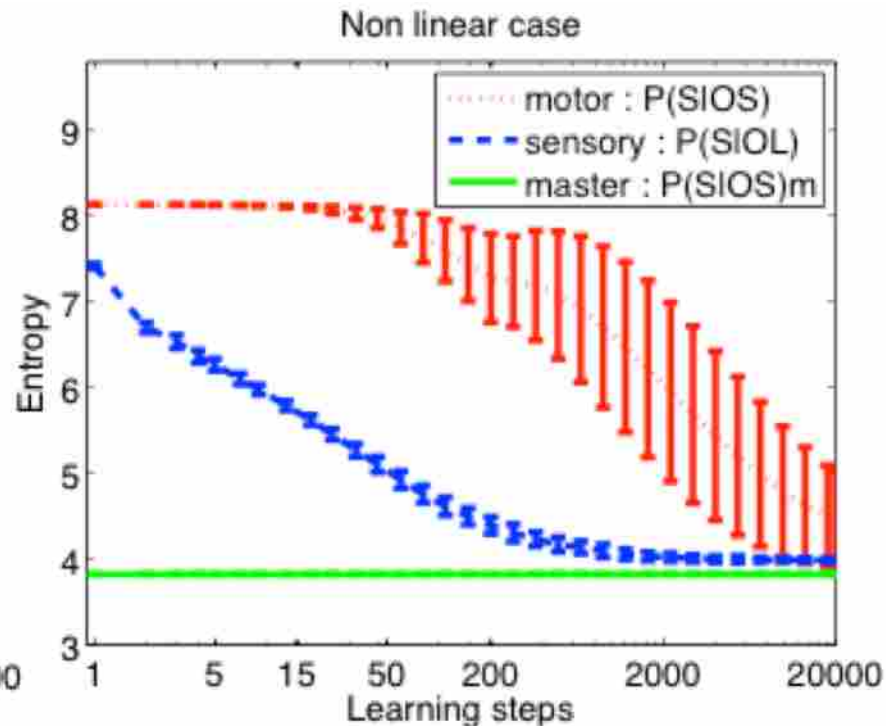
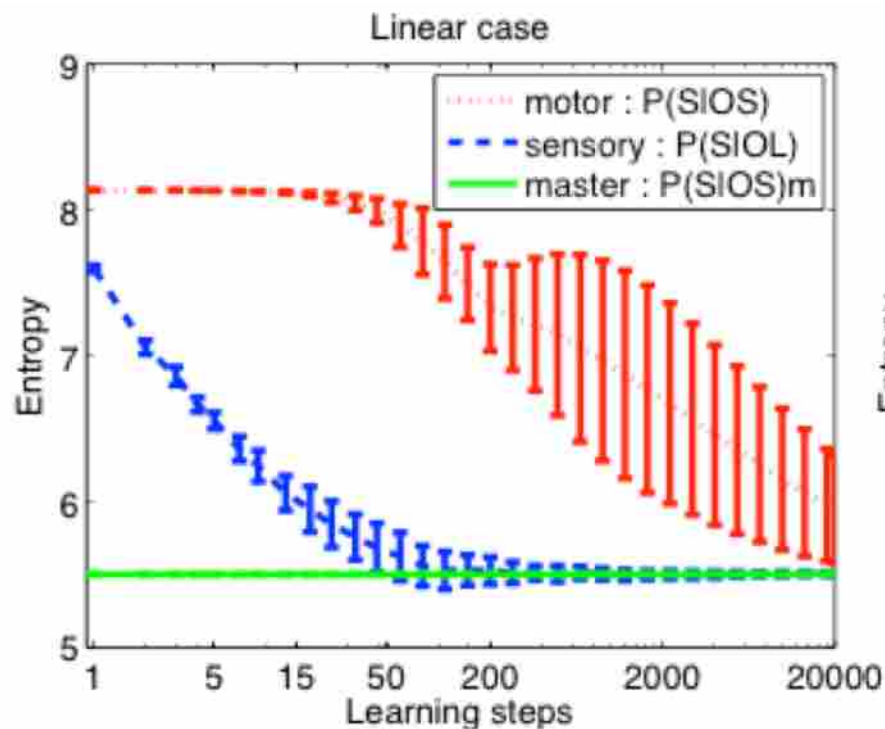
$(P([S=s'] \mid [M=m]))$

et de son

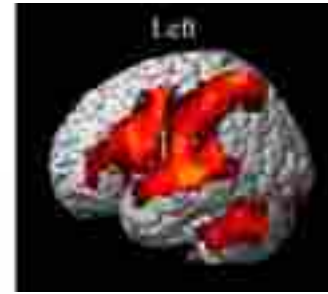
$s \text{ et } s' \in S, o \in O_S, m \in M$



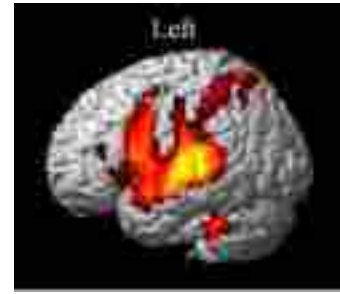
L'apprentissage sensoriel est rapide et focalisé sur les signaux à apprendre
 l'apprentissage moteur est lent et génératif (« vagabond »)



/r/ vs /l/

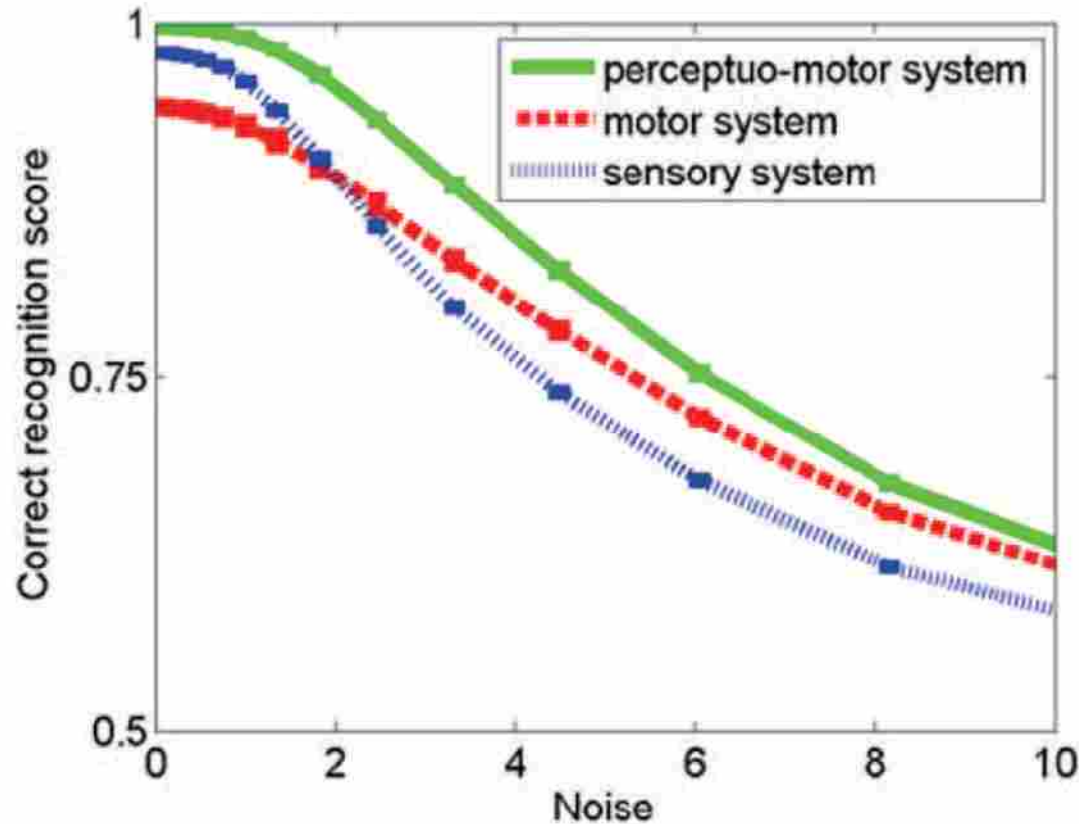


Japanese
listeners



English
listeners

Callan et al.



La voie sensorielle est plus efficace sans bruit,
la voie motrice plus efficace dans le bruit
Auditory Narrow, Motor Wide

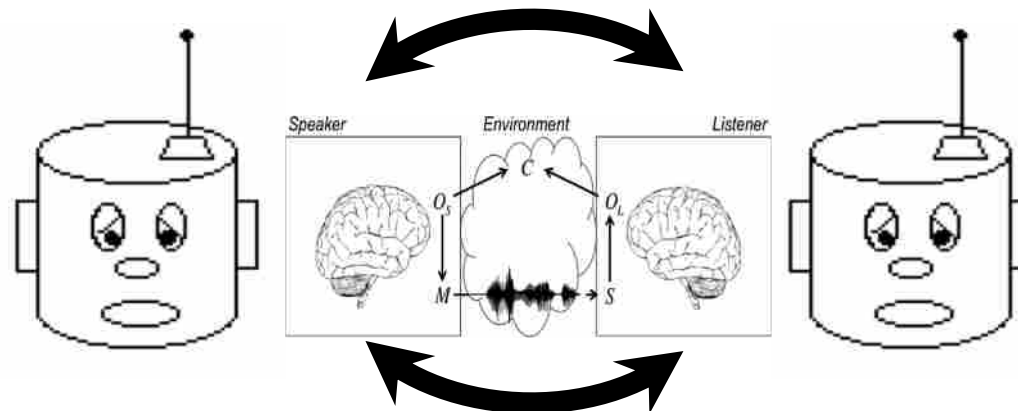
1. Sciences cognitives et modélisation informatique
2. Les neurones miroir et la perception de la parole
- 3. Les unités de la parole**
4. Epilogue

COSMO (“Communicating about Objects using Sensory–Motor Operations”):
A Bayesian modeling framework for studying speech communication and the
emergence of phonological systems



Clément Moulin-Frier^{a,d,*}, Julien Diard^b, Jean-Luc Schwartz^a, Pierre Bessière^c

Production
P(M/O)



Perception
P(O/S)

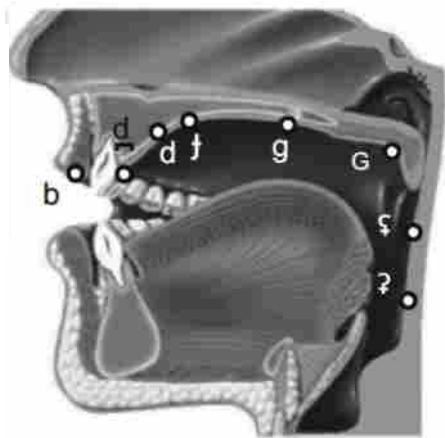
Toutes les langues ont des syllabes, des consonnes et des voyelles

Toutes les langues ont /a i u/

Toutes les langues ont /p t k/

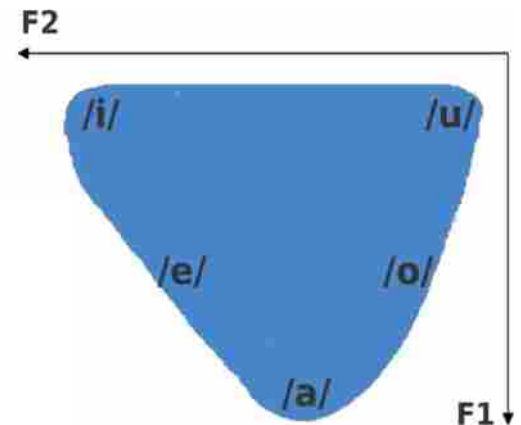
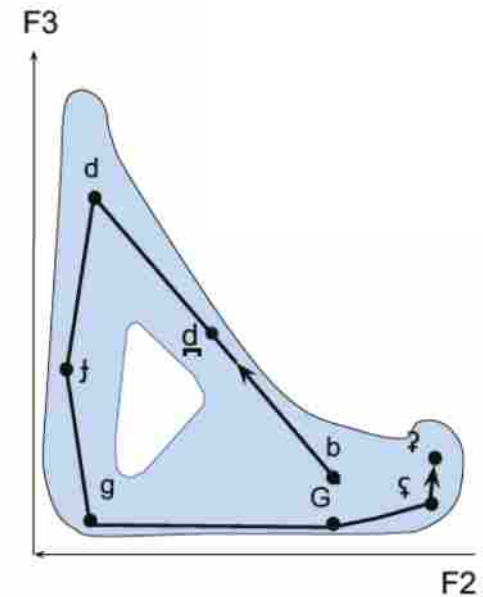
(thèse C. Moulin-Frier)

Quels systèmes phonologiques “émergent” des interactions entre agents COSMO ?



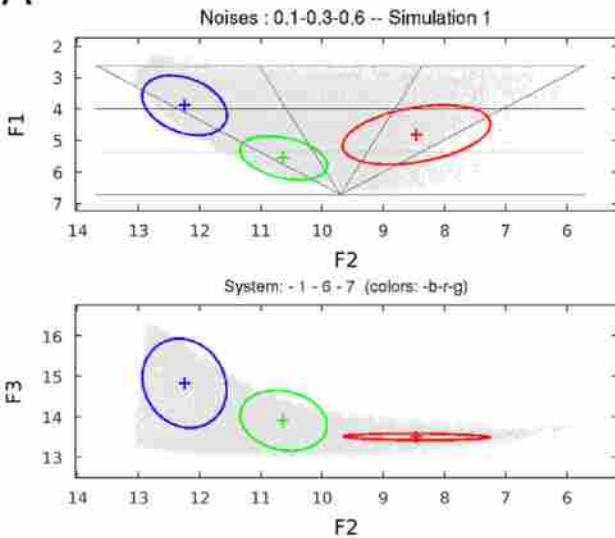
Fermé (plosive)

Ouvert (voyelle)

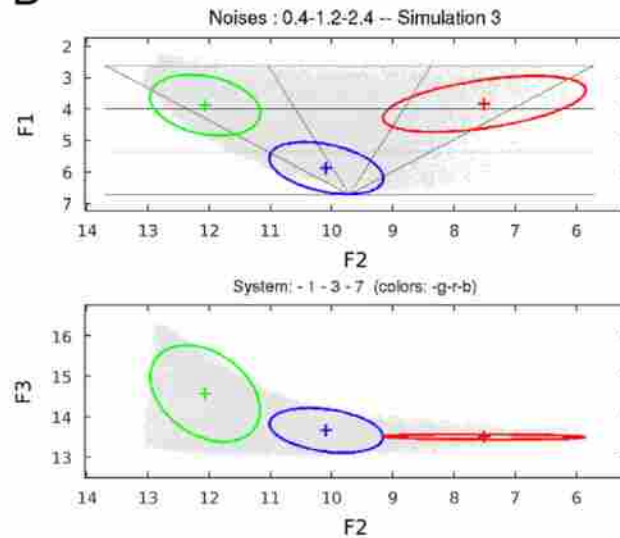


Voyelles

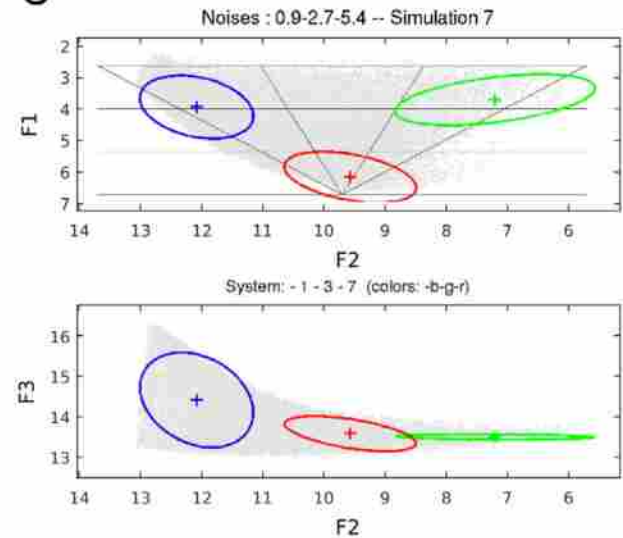
A



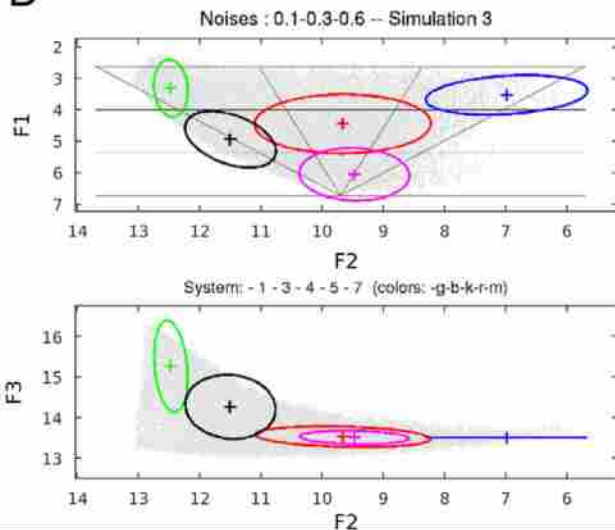
B



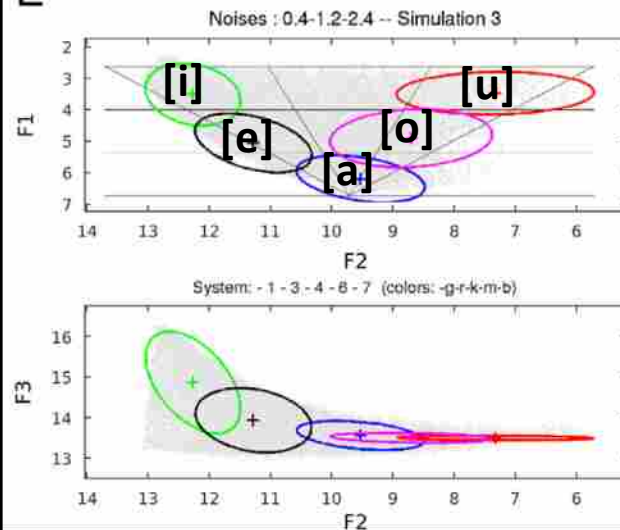
C



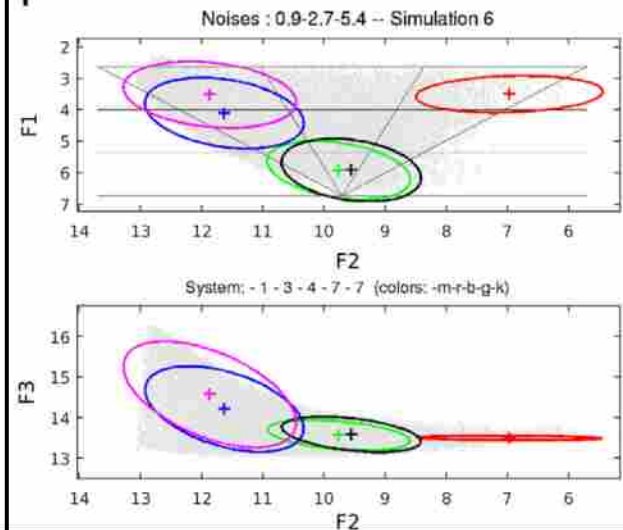
D



E



F



« la plupart » des langages ont /i e a o u/

1. Sciences cognitives et modélisation informatique
2. Les neurones miroir et la perception de la parole
3. Les unités de la parole
- 4. Epilogue**

Institut **COGNITION** Tremplin Carnot

Guichet unique pour offrir des solutions aux entreprises

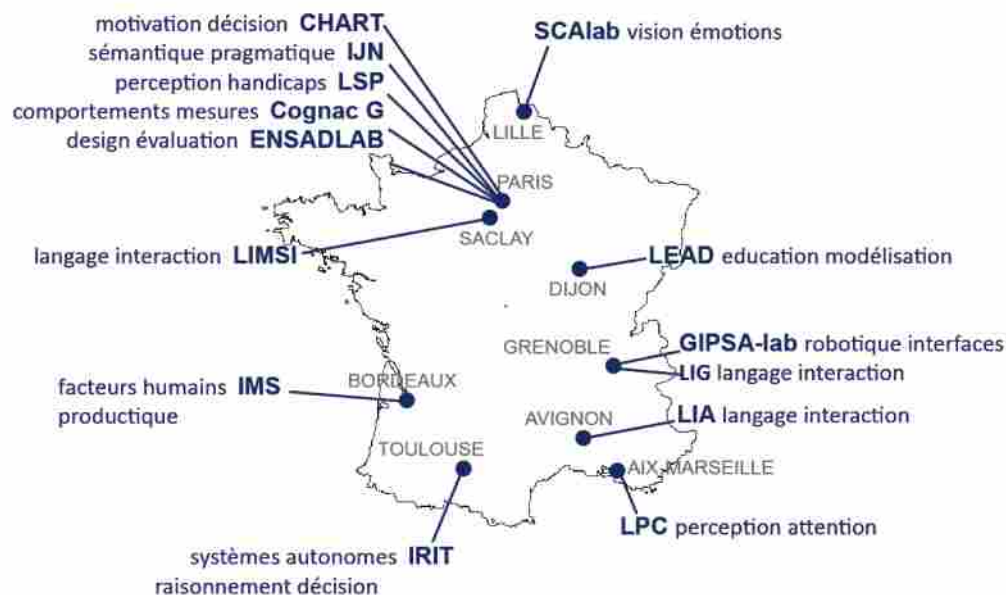
Labellisation : Juillet 2016

Démarrage : Janvier 2017

Directeur : Célestin SEDOGBO

Portage CNRS

Consortium de 14 laboratoires



950 chercheurs
dans l'Institut

200 chercheurs à
Grenoble entre premier
et second cercle

« Second cercle » de 50 laboratoires

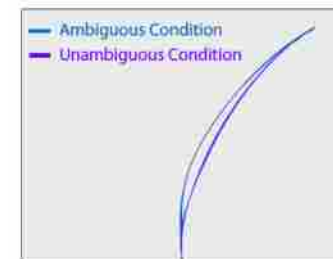
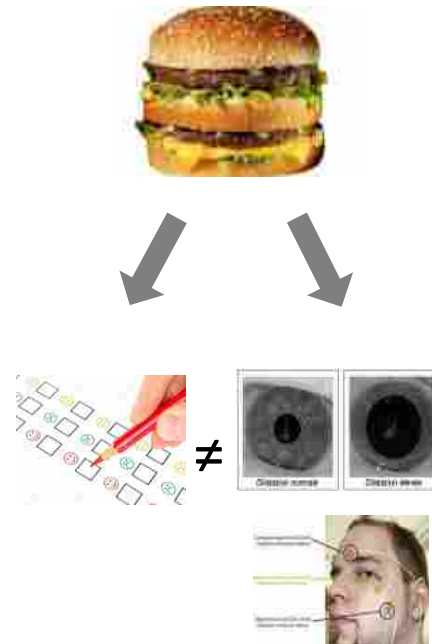
Traitement du langage naturel (cf exposé François Yvon)

Interfaces cerveau machine (cf exposé Marco Congedo)

Analyse de scènes visuelles (Nathalie Guyader & Alan Chauvin)



Analyse de comportements implicites
(Jean-Charles Quinton, Martial Mermillod)



**L'informatique pour comprendre,
pour simuler, pour innover**

Merci !