

Critique de l'Intelligence Artificielle
Enjeux philosophiques, politiques et culturels de l'automatisation numérique
LLCP, Université Paris 8
Paris, France

Critique de la raison linguistique

De quoi les modèles neuronaux de langage sont-ils le modèle?

Juan Luis Gastaldi



28 Mai, 2024

Introduction

Vecteurs des Mots

L'Algèbre Derrière les Vecteurs des Mots

Exemple: Wikipedia

La Structure...

...Computationalle...

...du Langage

Conclusion

Introduction

Vecteurs des Mots

L'Algèbre Derrière les Vecteurs des Mots

Exemple: Wikipedia

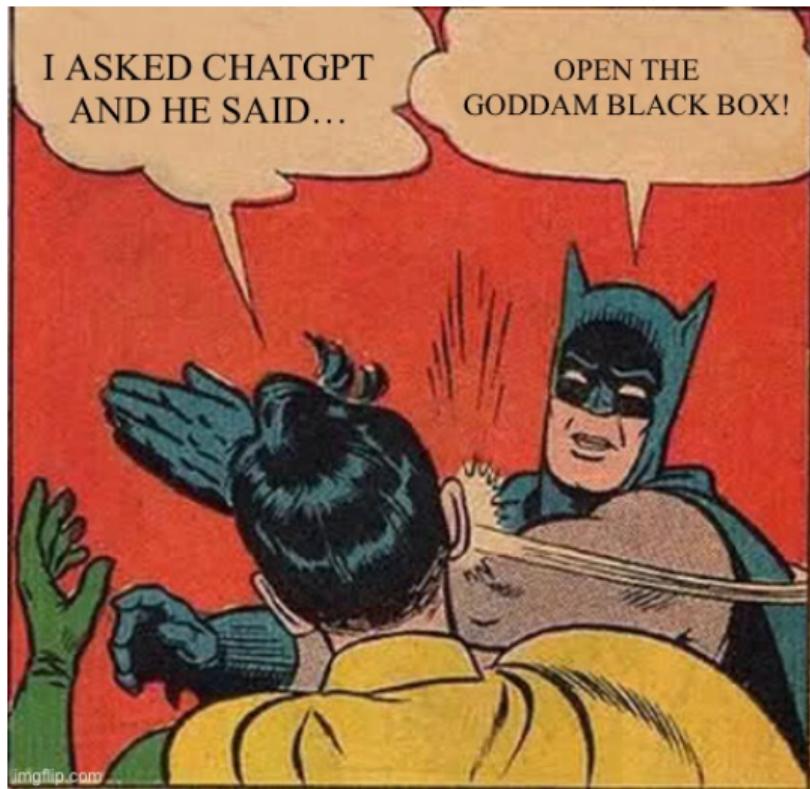
La Structure...

...Computationalle...

...du Langage

Conclusion

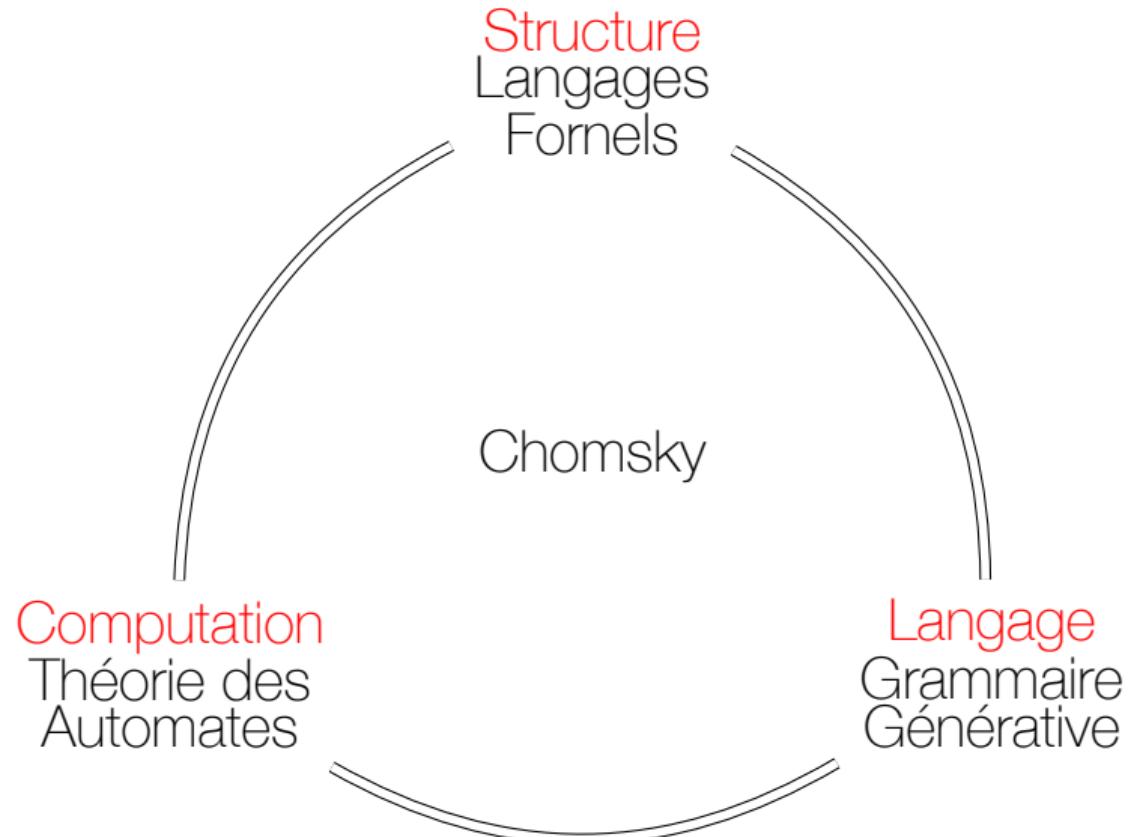
Introduction



Introduction

- ◊ Toute critique est incomplète sans compréhension interne des phénomènes
- ◊ Dimension épistémologique de la critique
- ◊ Ce qu'il y a à connaître: Structure Computationnelle du Langage

Épistémè Formelle



Introduction

Vecteurs des Mots

L'Algèbre Derrière les Vecteurs des Mots

Exemple: Wikipedia

La Structure...

...Computationalle...

...du Langage

Conclusion

Trois Composantes Principales des Modèles de TAL

Tokenisation (Subword Tokenization)
(Sennrich et al., 2016)

Vecteurs des Mots (Word Embeddings)
(Mikolov, Sutskever, Chen, Corrado, and Dean, 2013)

Auto-Attention (Self-Attention)
(Vaswani et al., 2017)

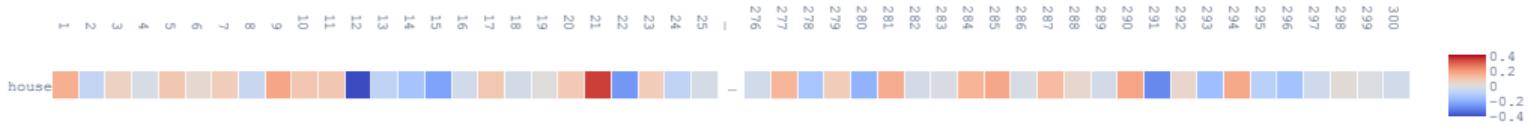
Trois Composantes Principales des Modèles de TAL

Tokenisation (Subword Tokenization)
(Sennrich et al., 2016)

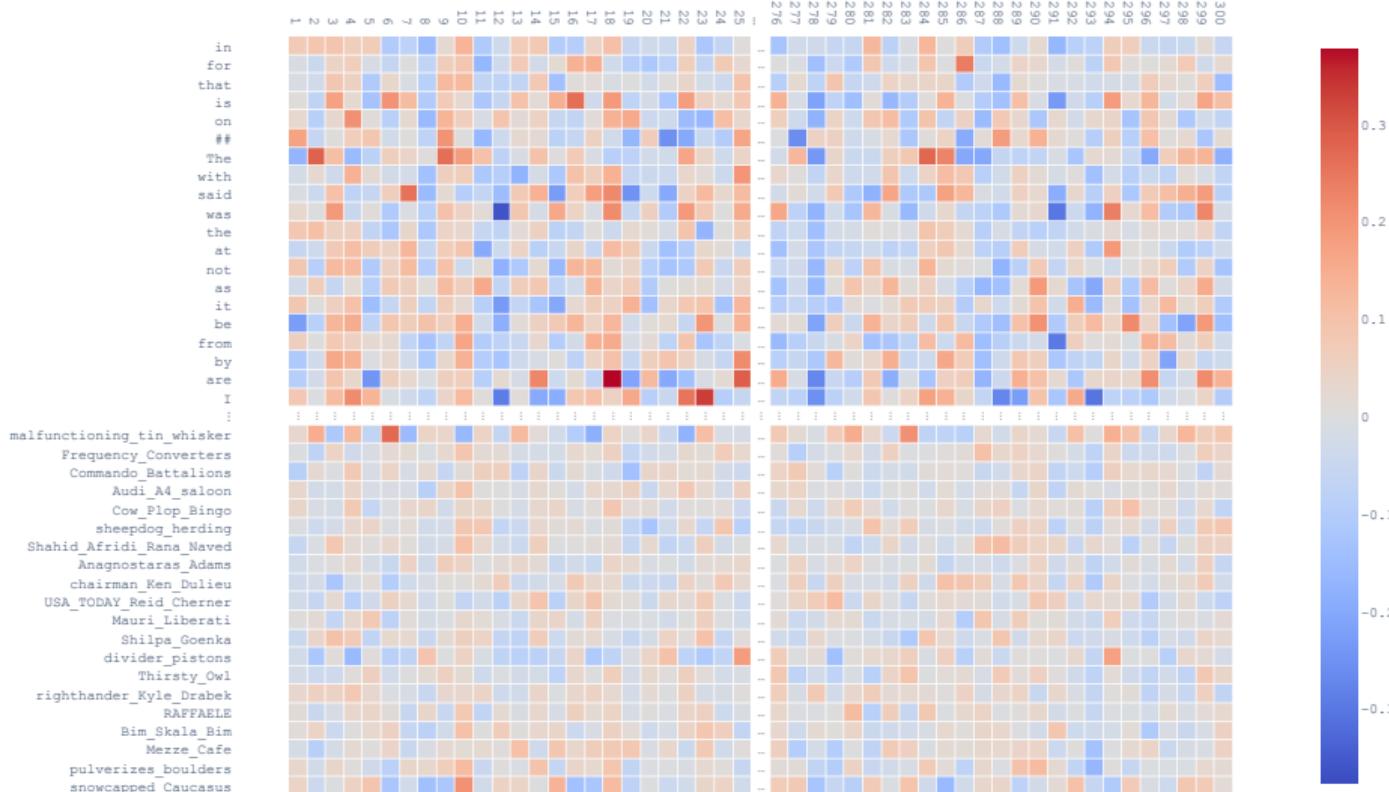
Vecteurs des Mots (Word Embeddings)
(Mikolov, Sutskever, Chen, Corrado, and Dean, 2013)

Auto-Attention (Self-Attention)
(Vaswani et al., 2017)

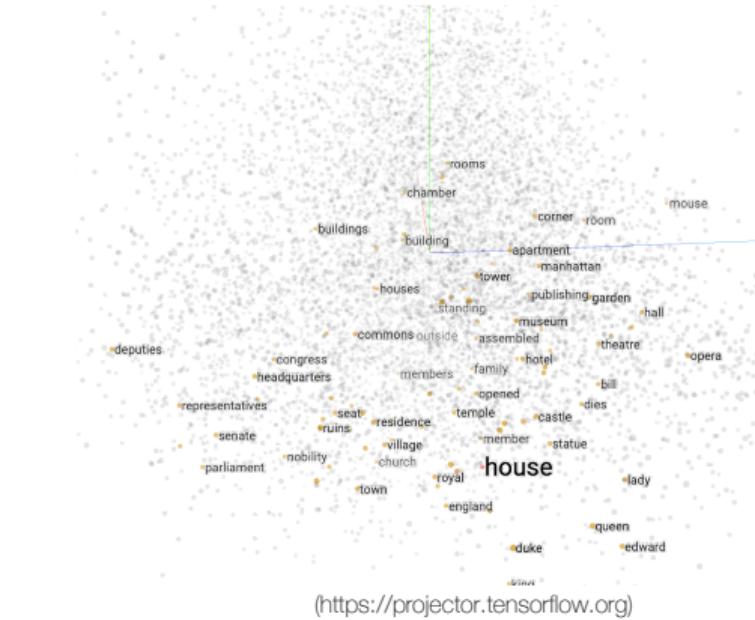
Vecteurs des Mots: Vecteur



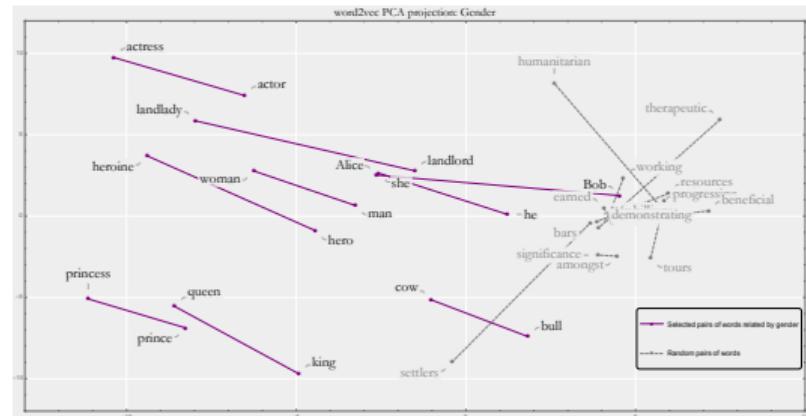
Vecteurs des Mots: Matrice



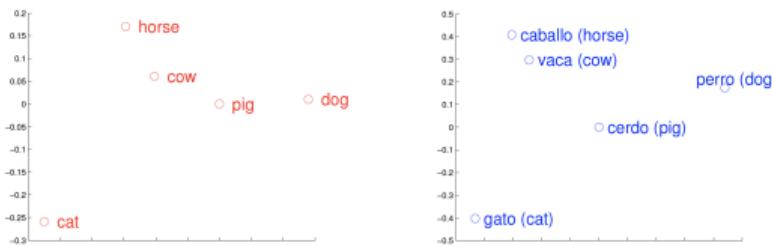
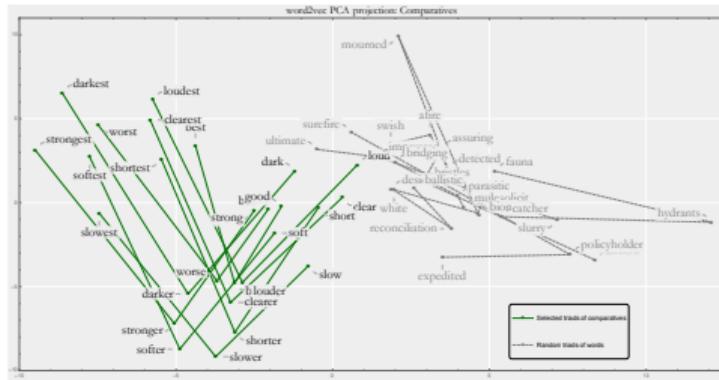
Espace de Plongement: Similarité et Analogie



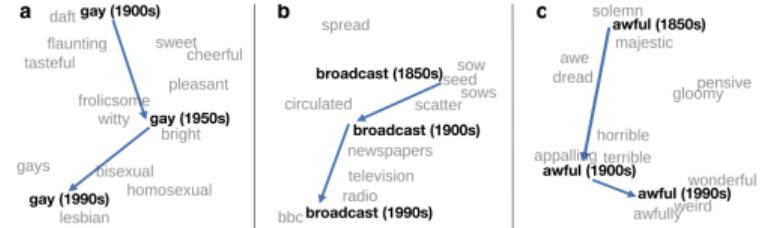
(<https://projector.tensorflow.org>)



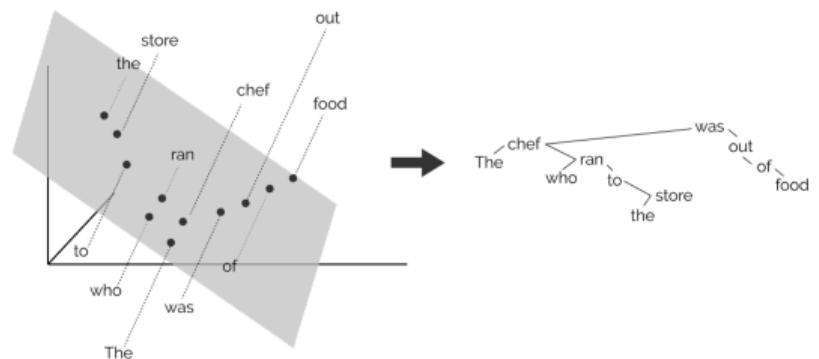
Espace de Plongement: Autres Applications



(Mikolov, Sutskever, Chen, Corrado, Dean, et al., 2013)

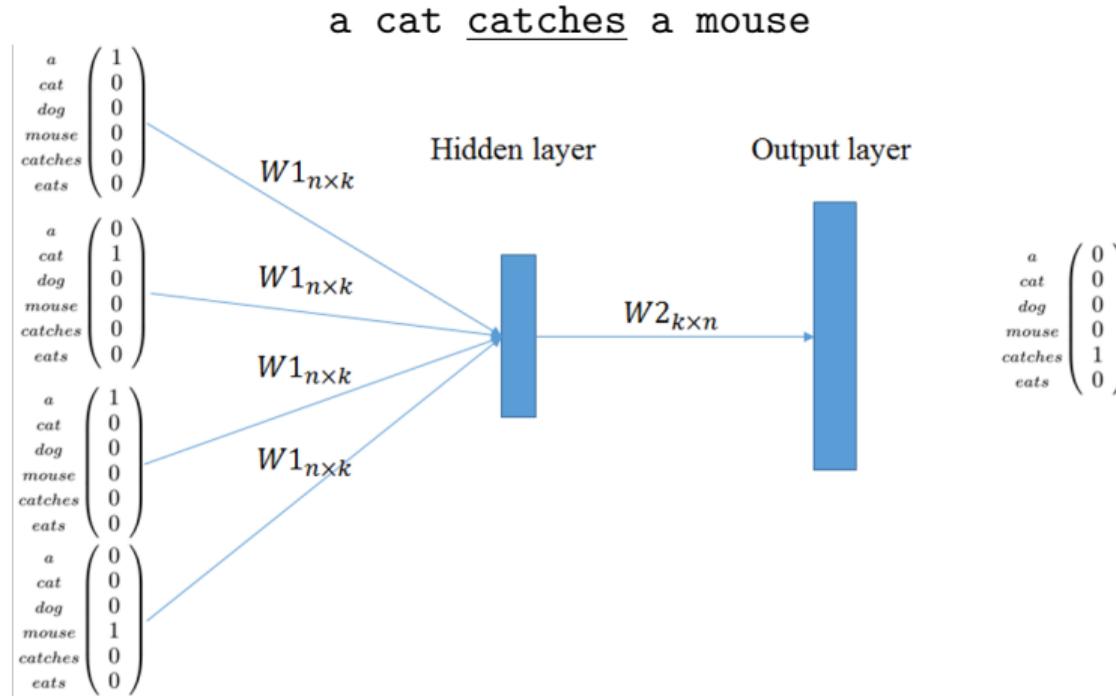


(Hamilton et al., 2016)



(<https://nlp.stanford.edu/~johnhew/structural-probe.html>)

Modèle word2vec



Credit: Ferrone et al., 2017

Plan

Introduction

Vecteurs des Mots

L'Algèbre Derrière les Vecteurs des Mots

Exemple: Wikipedia

La Structure...

...Computationalle...

...du Langage

Conclusion

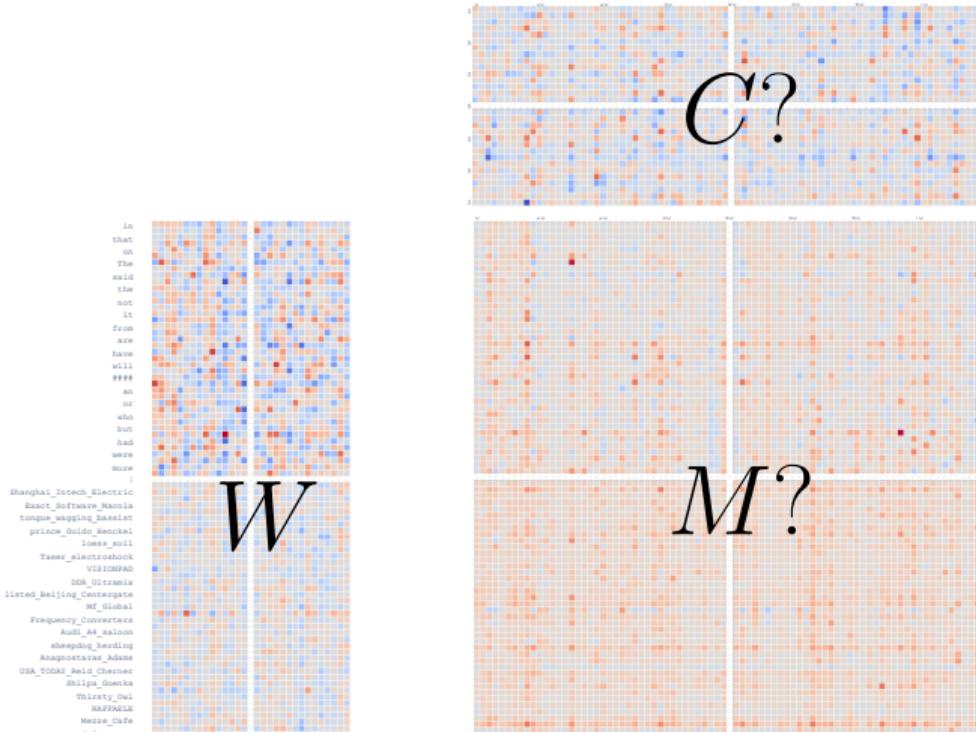
word2vec Comme Factorisation Implicit de Matrice

(Levy and Goldberg, 2014)



word2vec Comme Factorisation Implicit de Matrice

(Levy and Goldberg, 2014)



$$W \times C \approx M$$

word2vec Expliqué

(Levy and Goldberg, 2014)

$$\ell = \sum_{w \in V_w} \sum_{c \in V_c} \#(w, c) (\log \sigma(\vec{w} \cdot \vec{c}) + k \cdot \mathbb{E}_{c_N \sim P_D} [\log \sigma(-\vec{w} \cdot \vec{c}_N)])$$

word2vec Expliqué (Levy and Goldberg, 2014)

$$\ell = \sum_{w \in V_w} \sum_{c \in V_c} \#(w, c) (\log \sigma(\vec{w} \cdot \vec{c}) + k \cdot \mathbb{E}_{c_N \sim P_D} [\log \sigma(-\vec{w} \cdot \vec{c}_N)])$$

$$\frac{\partial \ell}{\partial (\vec{w} \cdot \vec{c})} = 0 \quad \text{when} \quad \vec{w} \cdot \vec{c} = \log \left(\frac{\#(w, c) \cdot |D|}{\#(w) \cdot \#(c)} \right) - \log k$$

word2vec Expliqué (Levy and Goldberg, 2014)

$$\ell = \sum_{w \in V_w} \sum_{c \in V_c} \#(w, c) (\log \sigma(\vec{w} \cdot \vec{c}) + k \cdot \mathbb{E}_{c_N \sim P_D} [\log \sigma(-\vec{w} \cdot \vec{c}_N)])$$

$$\frac{\partial \ell}{\partial (\vec{w} \cdot \vec{c})} = 0 \quad \text{when} \quad \vec{w} \cdot \vec{c} = \log \left(\frac{\#(w, c) \cdot |D|}{\#(w) \cdot \#(c)} \right) - \log k$$

Trois résultats:

- ◊ $M = PMI(w, c) - \log k$ (Information Mutuelle Ponctuelle)

word2vec Expliqué

(Levy and Goldberg, 2014)

$$\ell = \sum_{w \in V_w} \sum_{c \in V_c} \#(w, c) (\log \sigma(\vec{w} \cdot \vec{c}) + k \cdot \mathbb{E}_{c_N \sim P_D} [\log \sigma(-\vec{w} \cdot \vec{c}_N)])$$

$$\frac{\partial \ell}{\partial (\vec{w} \cdot \vec{c})} = 0 \quad \text{when} \quad \vec{w} \cdot \vec{c} = \log \left(\frac{\#(w, c) \cdot |D|}{\#(w) \cdot \#(c)} \right) - \log k$$

Trois résultats:

- ◊ $M = PMI(w, c) - \log k$ (Information Mutuelle Ponctuelle)
- ◊ W est de **basse dimension**

word2vec Expliqué (Levy and Goldberg, 2014)

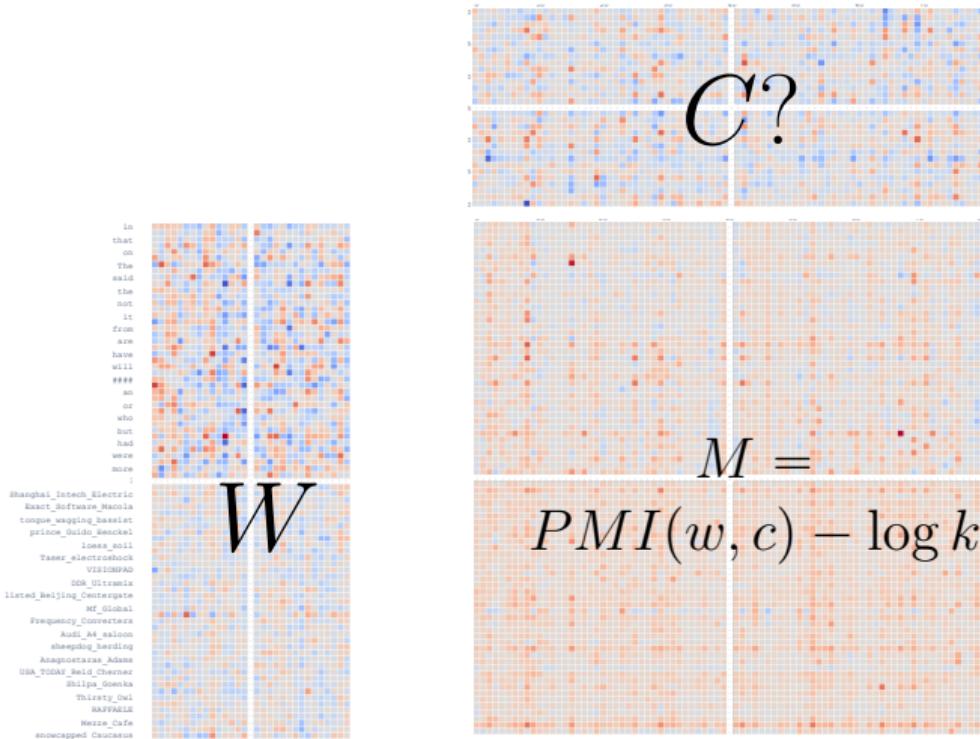
$$\ell = \sum_{w \in V_w} \sum_{c \in V_c} \#(w, c) (\log \sigma(\vec{w} \cdot \vec{c}) + k \cdot \mathbb{E}_{c_N \sim P_D} [\log \sigma(-\vec{w} \cdot \vec{c}_N)])$$

$$\frac{\partial \ell}{\partial (\vec{w} \cdot \vec{c})} = 0 \quad \text{when} \quad \vec{w} \cdot \vec{c} = \log \left(\frac{\#(w, c) \cdot |D|}{\#(w) \cdot \#(c)} \right) - \log k$$

Trois résultats:

- ◊ $M = PMI(w, c) - \log k$ (Information Mutuelle Ponctuelle)
- ◊ W est de **basse dimension**
- ◊ La **Décomposition en Valeurs Singulières (SVD)** donne une **solution exacte** pour trouver W

Information Mutuelle Ponctuelle (PMI)



$$PMI(w, c) = \log \frac{p(w, c)}{p(w)p(c)}$$

C?

M =

$PMI(w, c) - \log k$

Décomposition en Valeurs Singulières (SVD)

$$M = U\Sigma V^*$$

Où:

M = Matrice $m \times n$ (réelle ou complexe)

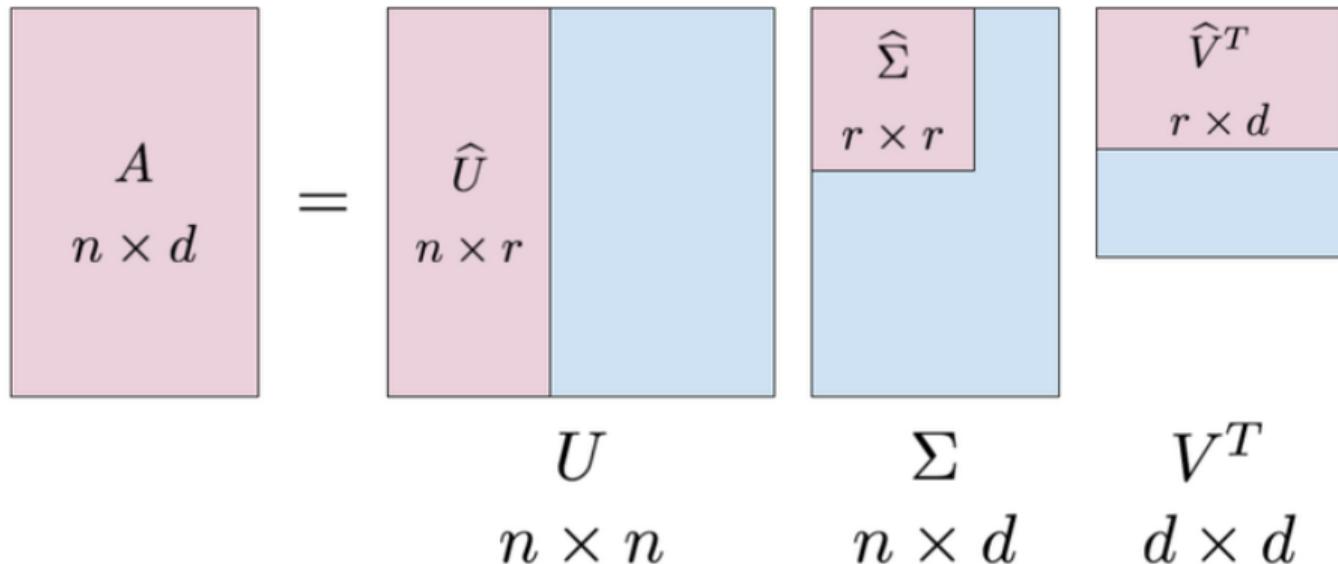
U = Matrice $m \times m$ unitaire

Σ = Matrice $m \times n$ diagonale rectangulaire réelle non-négative

V^* = Matrice $n \times n$ unitaire; transposée conjuguée de V

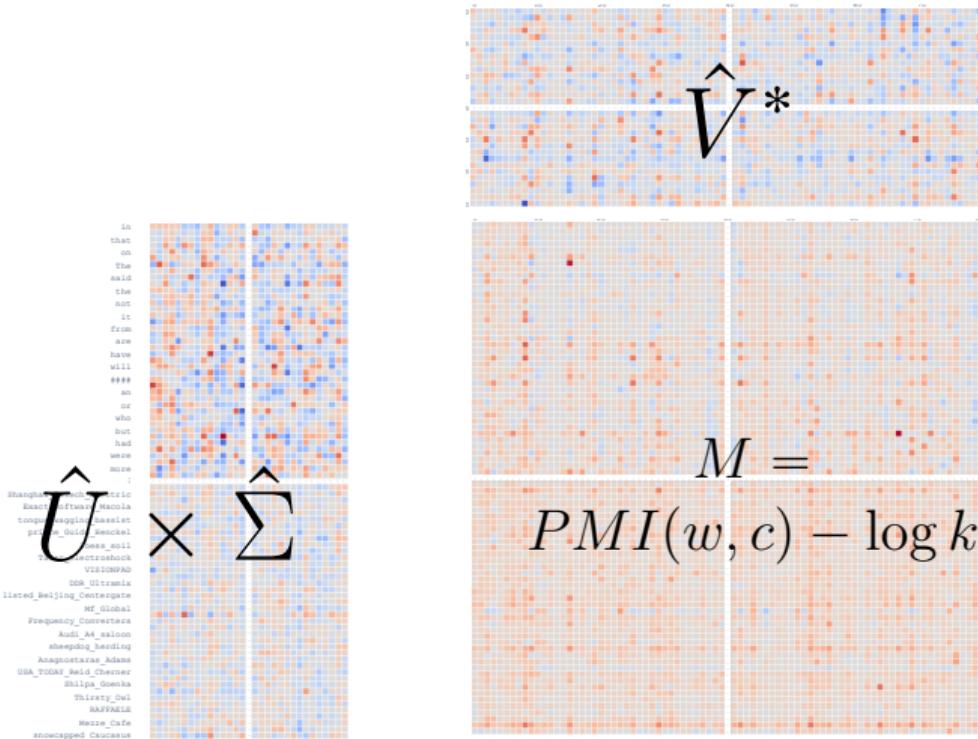
SVD Tronquée

$$M = U\Sigma V^*$$



Credit: Angela Ju

Vecteurs des Mots comme SVD Tronquée



$$M \approx \hat{U} \times \hat{\Sigma} \times \hat{V}^*$$

$$PMI(w, c) - \log k$$

Plan

Introduction

Vecteurs des Mots

L'Algèbre Derrière les Vecteurs des Mots

Exemple: Wikipedia

La Structure...

...Computationalle...

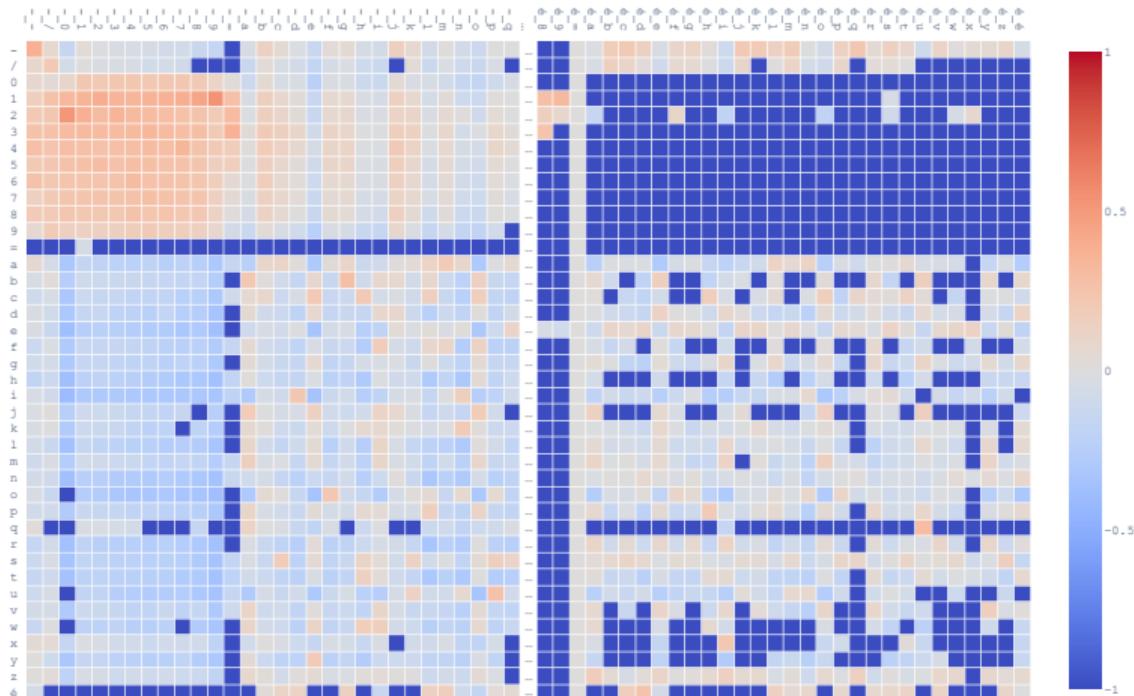
...du Langage

Conclusion

Exemple: Characters dans Wikipedia

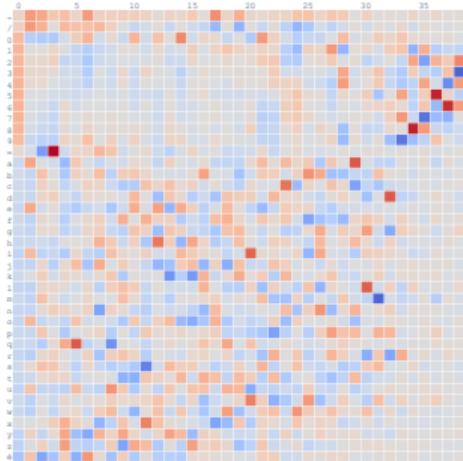
$$PMI(w, c) =$$

$$\log \frac{p(w,c)}{p(w)p(c)}$$

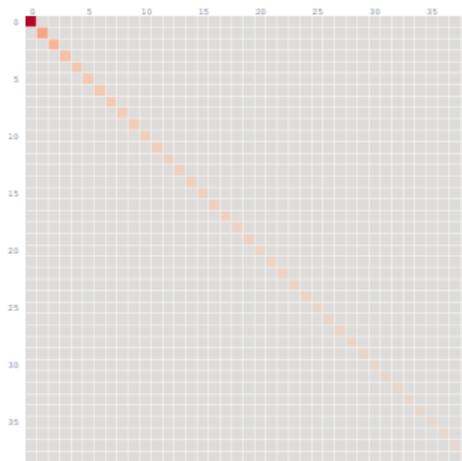


SVD d'une Matrice PMI des Characters de Wikipedia

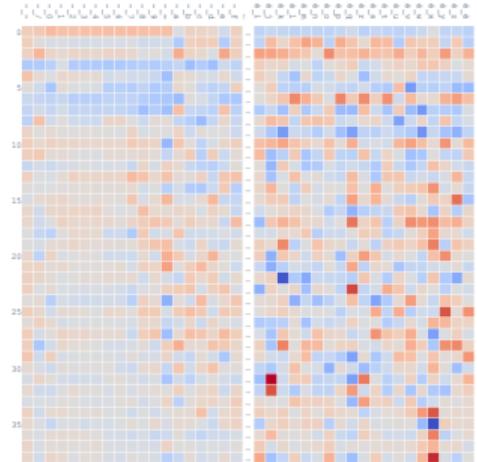
U



Σ

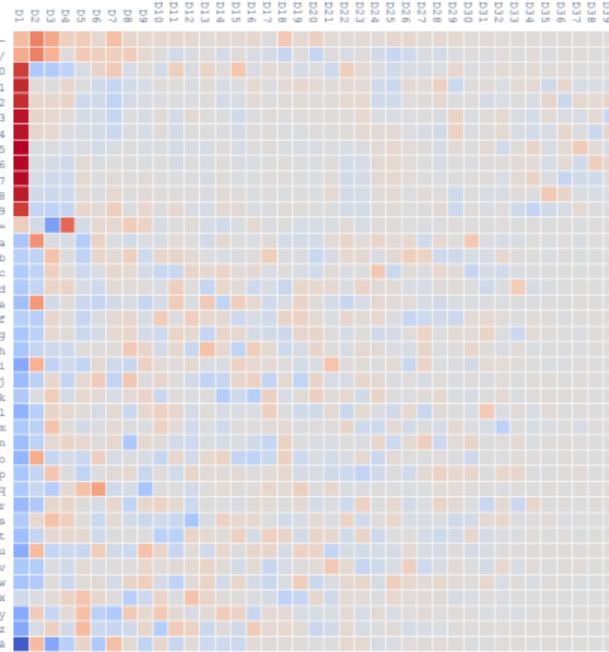


V^*



Tronquer et Plonger

$U \times \Sigma$



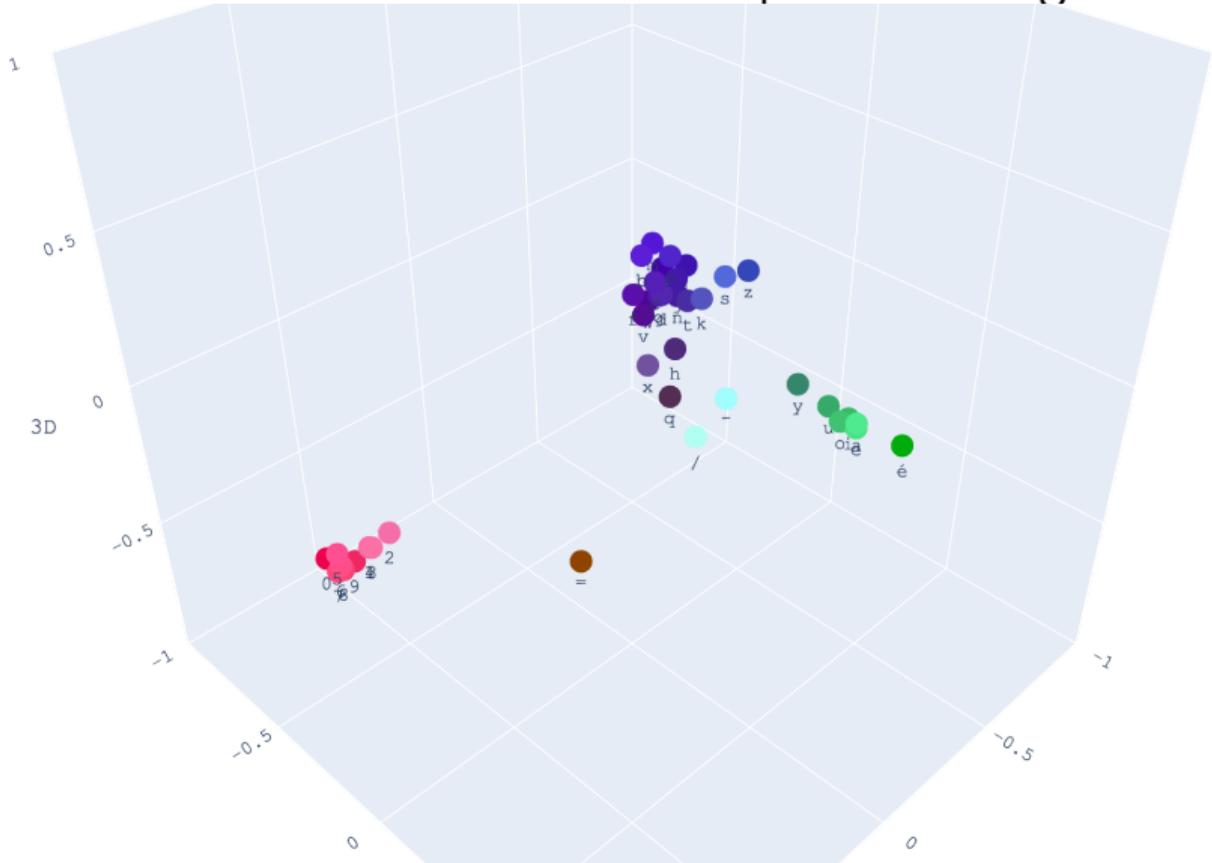
Tronquer et Plonger

$\hat{U} \times \hat{\Sigma}$



Tronquer et Plonger

$$\hat{U} \times \hat{\Sigma}$$



4 Why does this produce good word representations?

Good question. We don't really know.

The distributional hypothesis states that words in similar contexts have similar meanings. The objective above clearly tries to increase the quantity $v_w \cdot v_c$ for good word-context pairs, and decrease it for bad ones. Intuitively, this means that words that share many contexts will be similar to each other (note also that contexts sharing many words will also be similar to each other). This is, however, very hand-wavy.

Can we make this intuition more precise? We'd really like to see something more formal.

(Goldberg and Levy, 2014)

Plan

Introduction

Vecteurs des Mots

L'Algèbre Derrière les Vecteurs des Mots

Exemple: Wikipedia

La Structure...

...Computationalle...

...du Langage

Conclusion

Décomposition en Valeurs Singulières (SVD)

$$M = U\Sigma V^*$$

Où:

M = Matrice $m \times n$ (réelle ou complexe)

U = Matrice $m \times m$ unitaire

Σ = Matrice $m \times n$ diagonale rectangulaire réelle non-négative

V^* = Matrice $n \times n$ unitaire; transposée conjuguée de V

Décomposition en Valeurs Singulières (SVD)

$$M = U\Sigma V^*$$

Où:

M = Matrice $m \times n$ (réelle ou complexe)

U = Matrice $m \times m$ unitaire

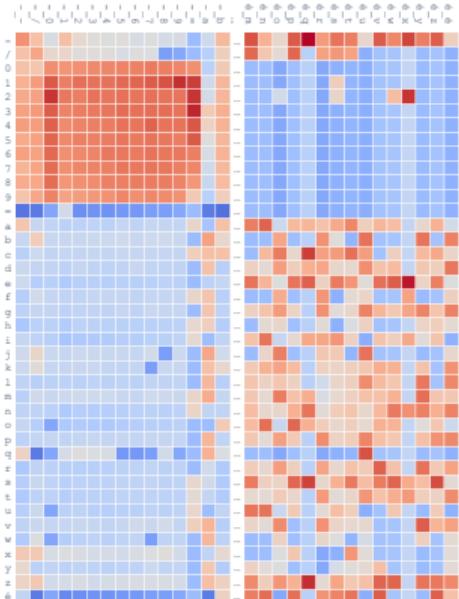
Σ = Matrice $m \times n$ diagonale rectangulaire réelle non-négative

V^* = Matrice $n \times n$ unitaire; transposée conjuguée de V

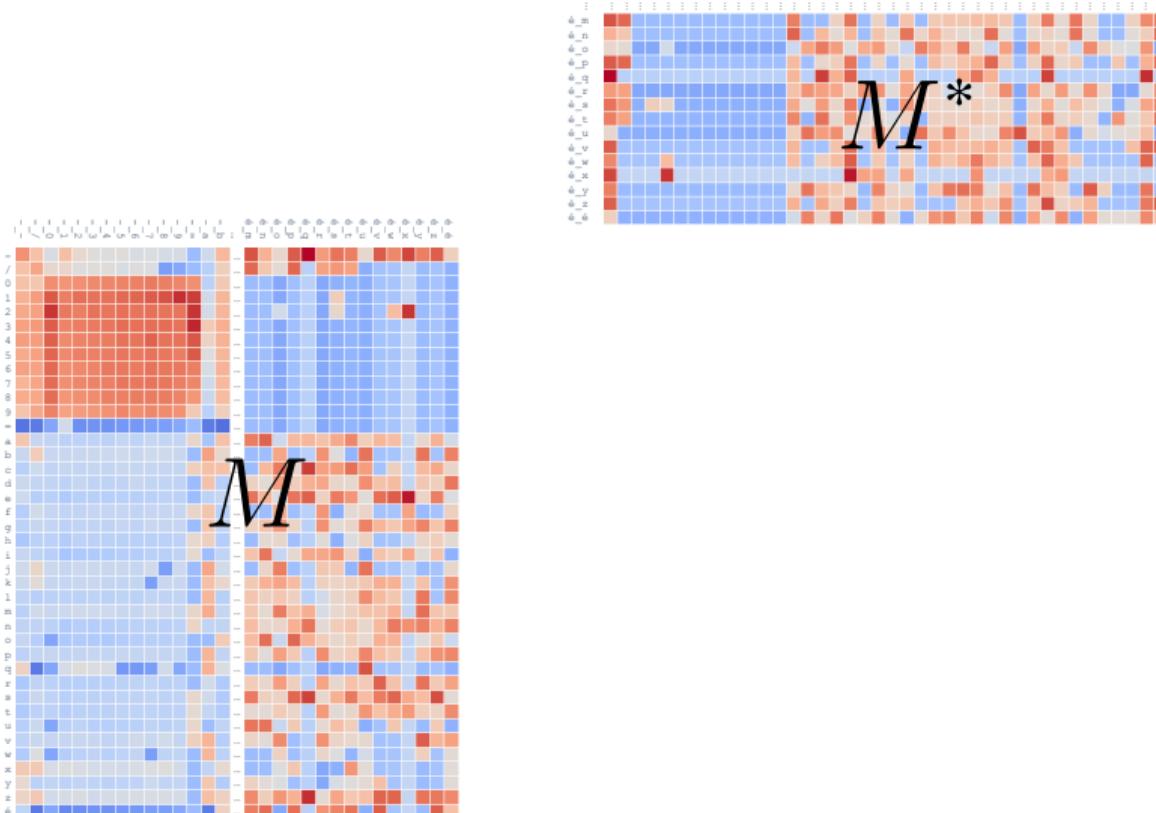
En particulier:

- ◊ Les colonnes de U sont des **vecteurs propres de MM^***
- ◊ Les lignes de V^* sont des **vecteurs propres de M^*M**
- ◊ Les éléments non nuls de Σ sont les racines carrées des **valeurs propres non nulles de MM^* ou M^*M**

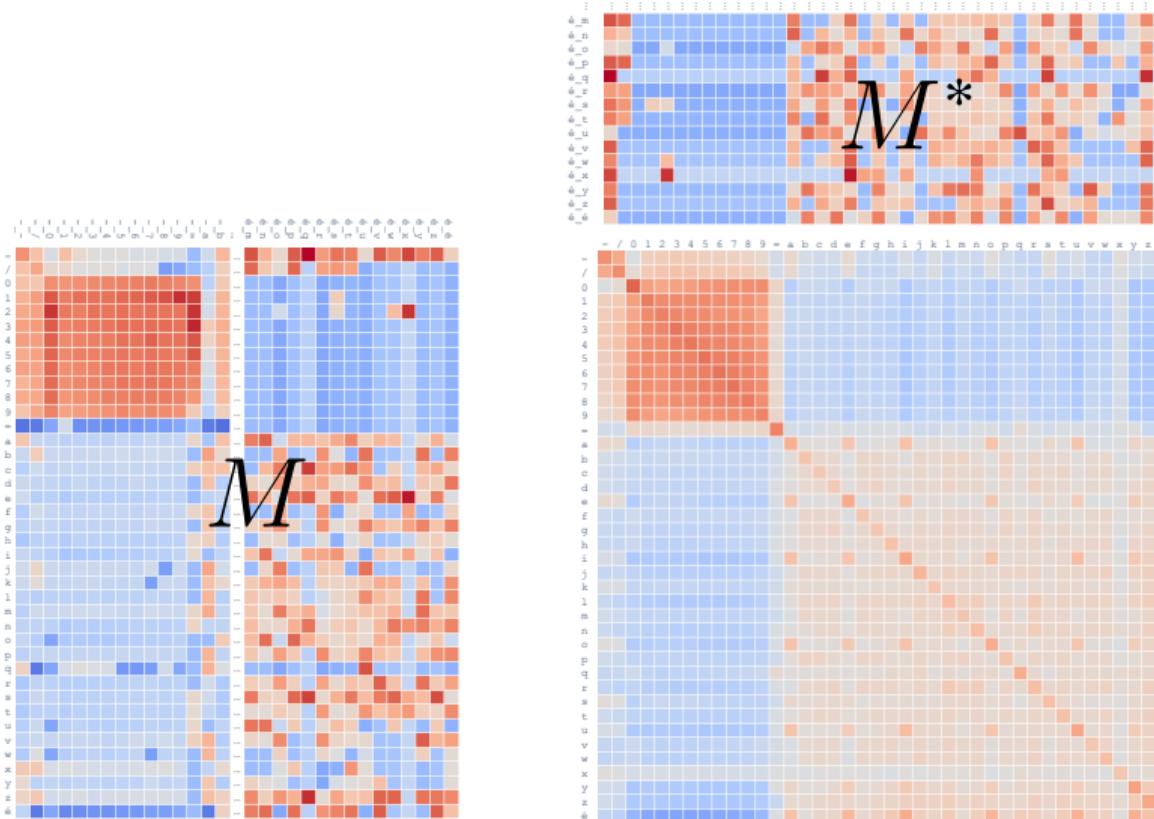
$M \times M^*$ Comme Matrice de Covariance



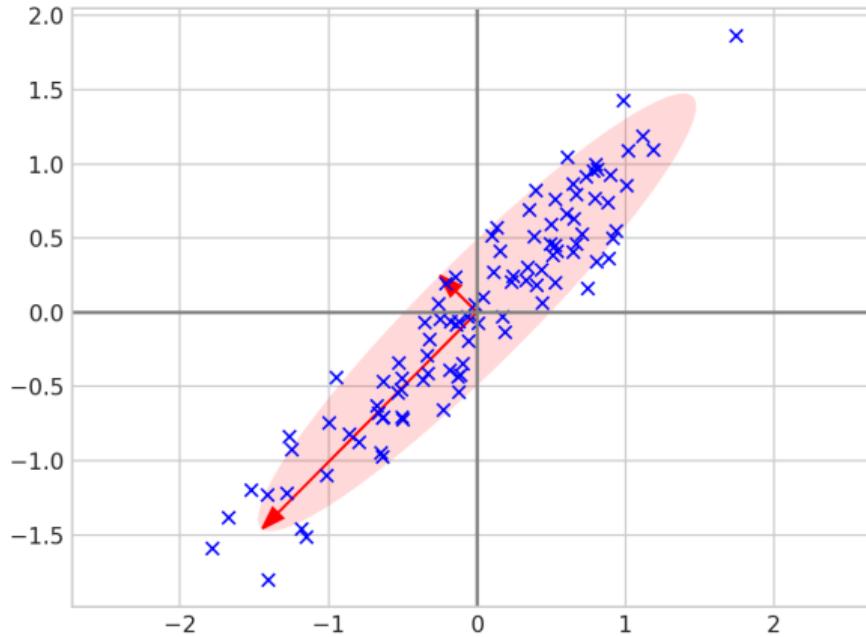
$M \times M^*$ Comme Matrice de Covariance



$M \times M^*$ Comme Matrice de Covariance



Vecteurs et Valeurs Propres



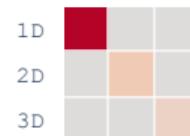
Credit: Joel Laity

Dimensions Structurelles

Eigenvectors of $M \times M^*$:



Eigenvalues of $M \times M^*$:



Eigenvectors of $M^* \times M$:

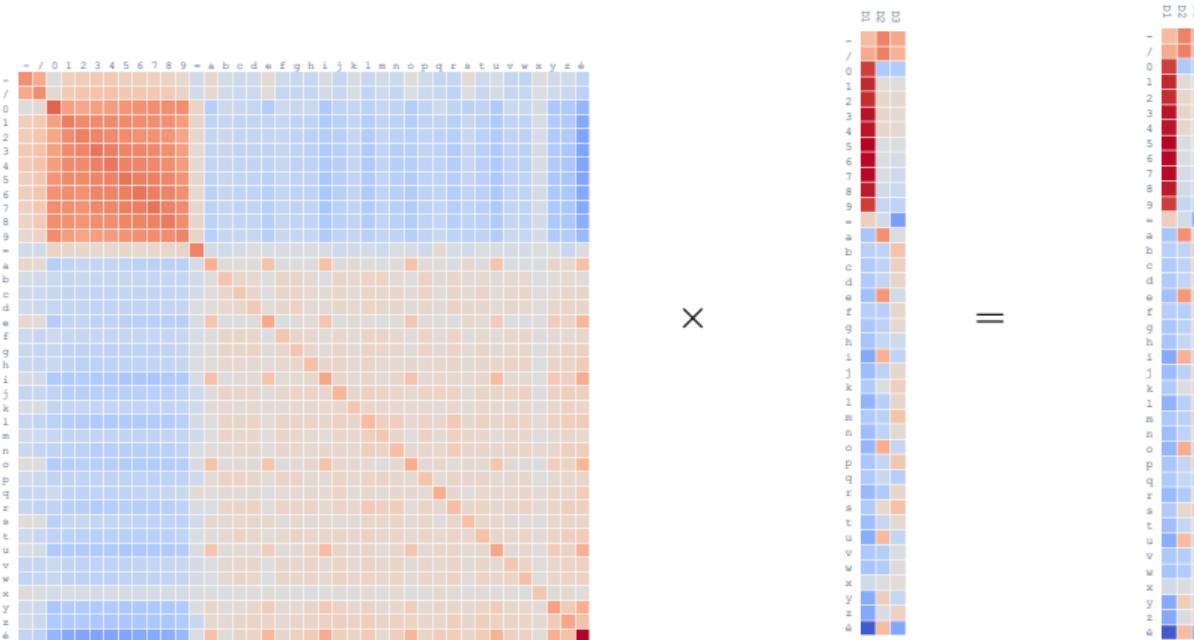


Vecteurs Propres comme Points Fixes

$$(M \times M^*)\textcolor{red}{v} = \lambda \textcolor{red}{v}$$

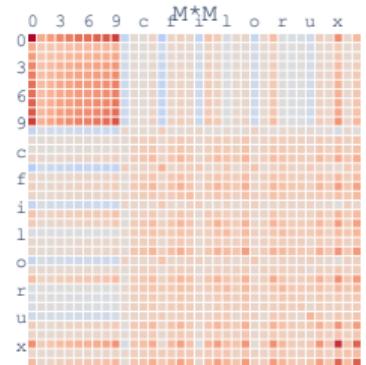
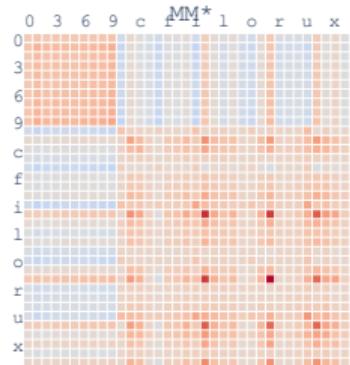
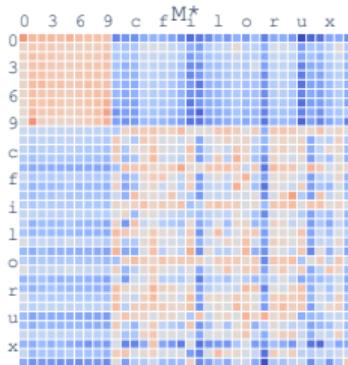
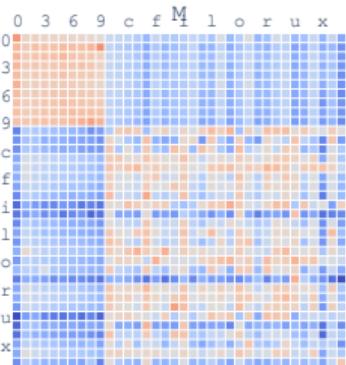
Vecteurs Propres comme Points Fixes

$$(M \times M^*)v = \lambda v$$



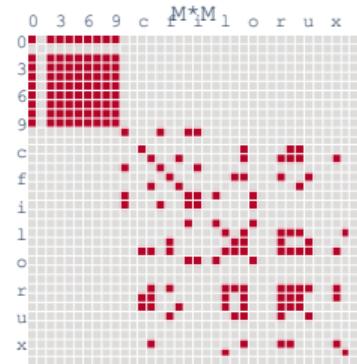
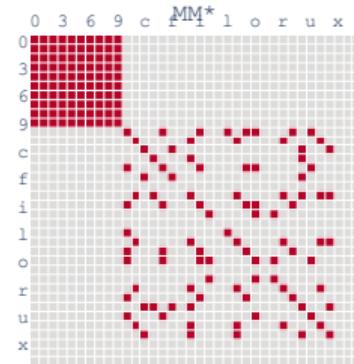
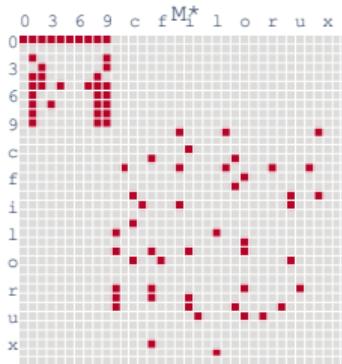
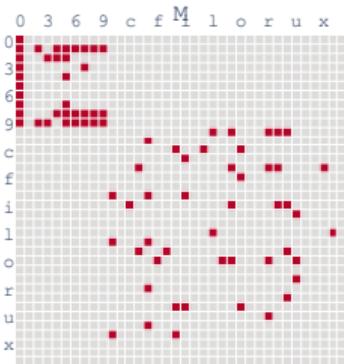
Matrices Binaires

$$(M_t \star M_t^*) \star v = v$$

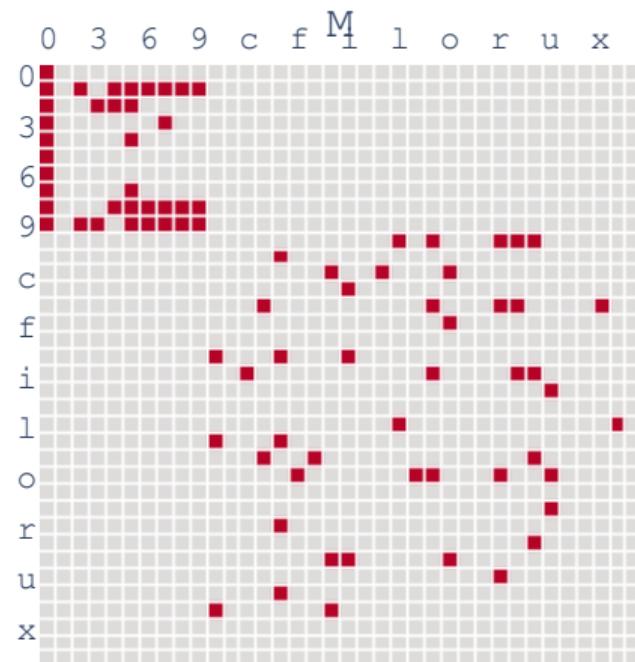


Matrices Binaires

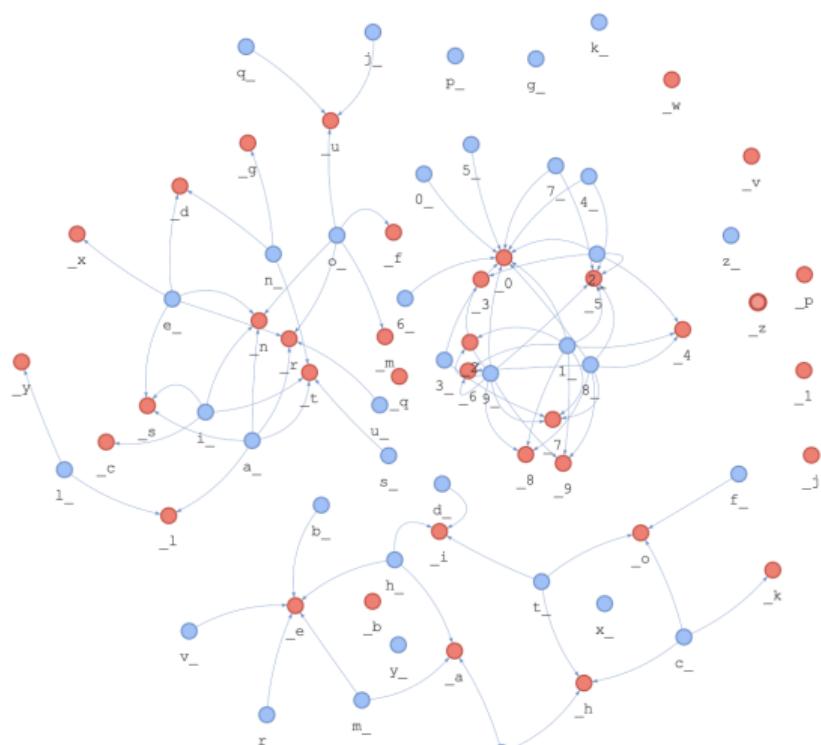
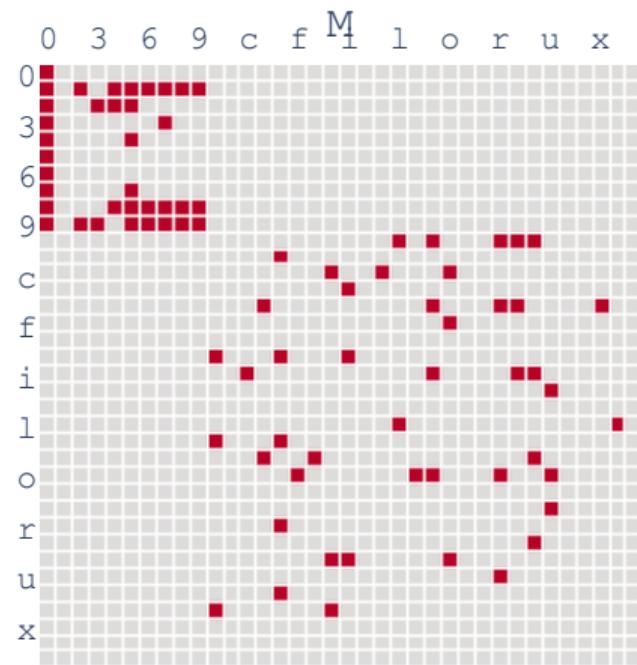
$$(M_t \star M_t^*) \star v = v$$



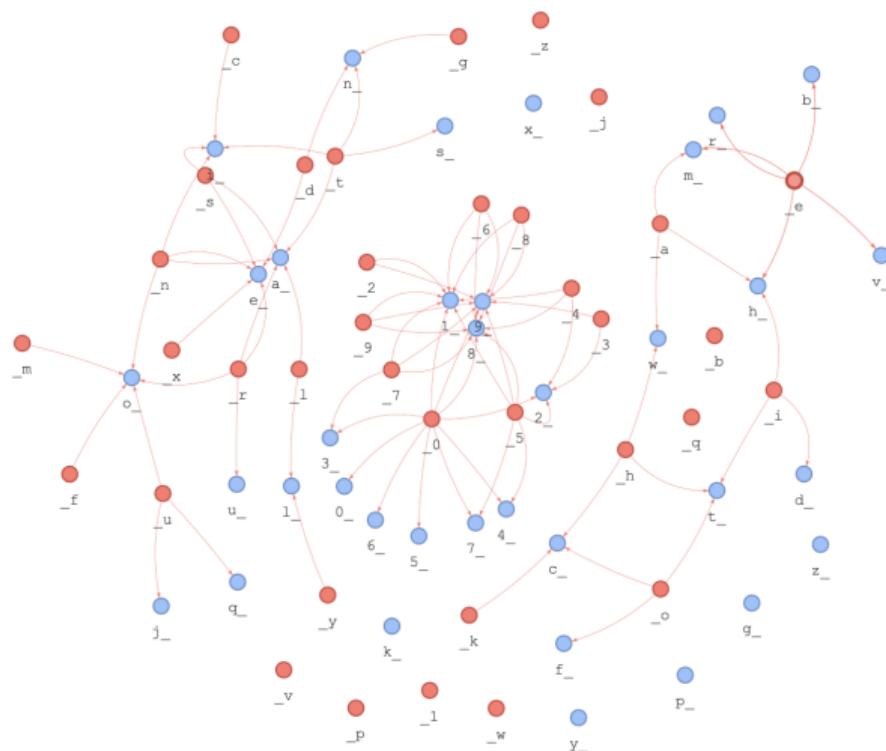
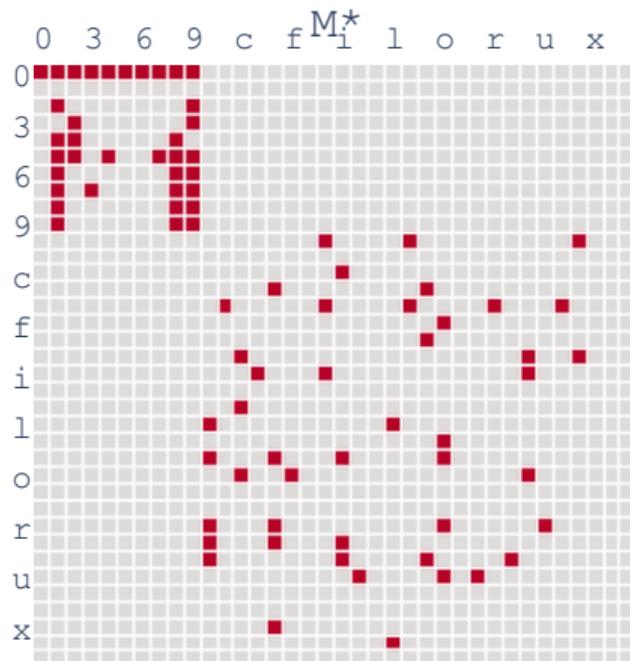
M



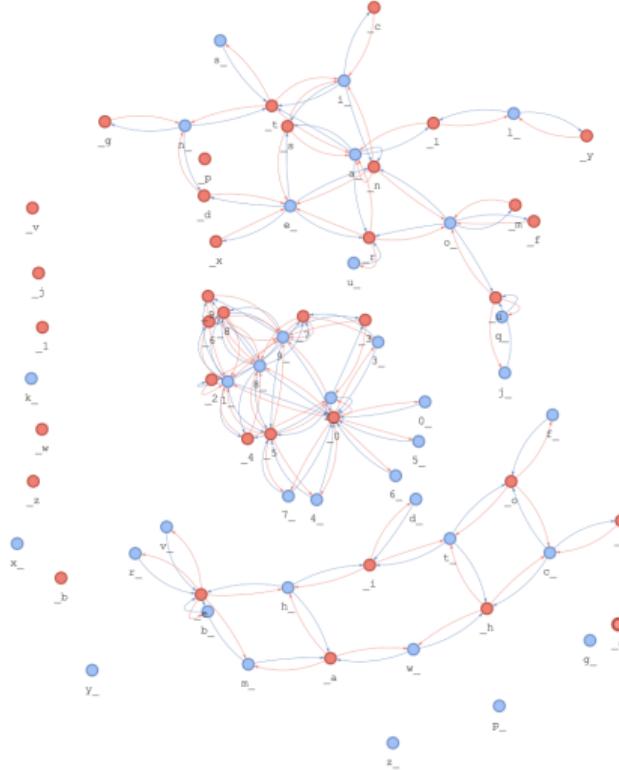
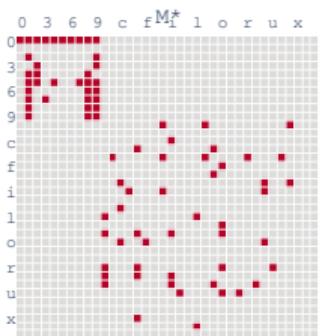
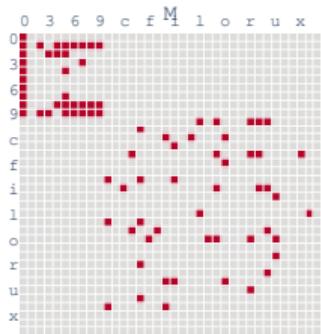
M



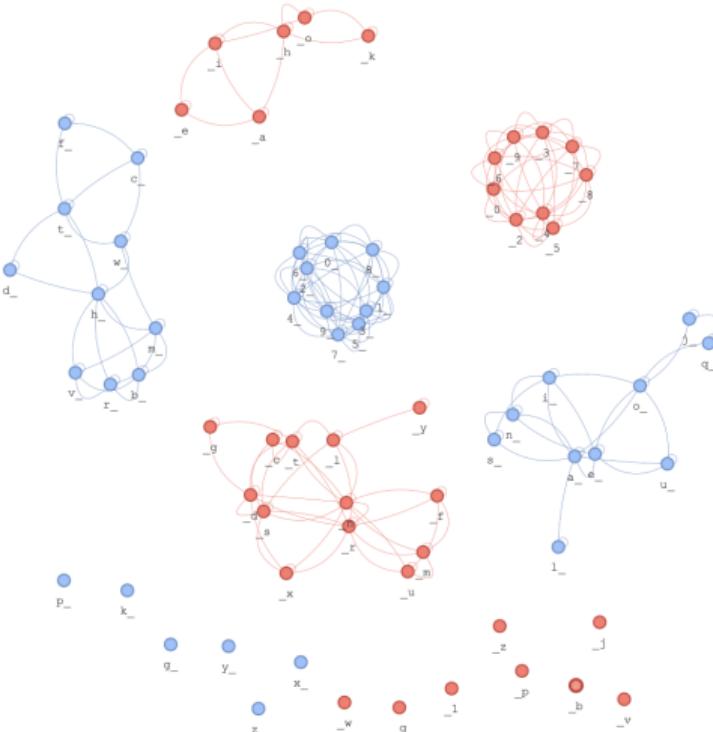
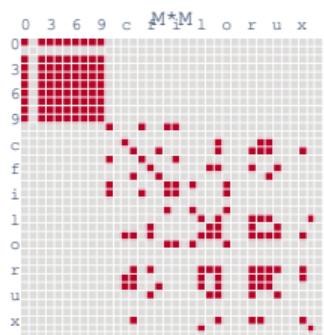
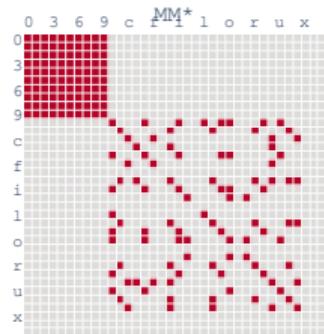
M^*



M et M^*



MM^* et M^*M



Quelle Structure?

Profoncteur

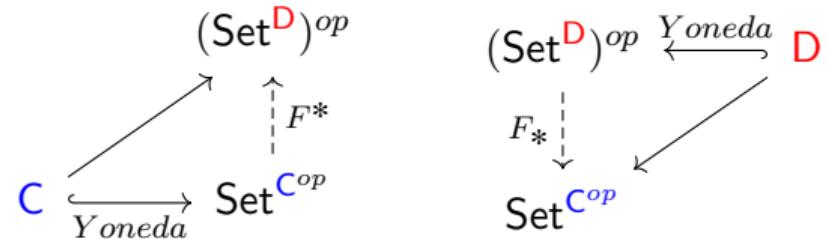
$$f: \mathbf{C}^{\text{op}} \times \mathbf{D} \rightarrow \mathbf{Set}$$

$$\begin{aligned} \mathbf{C} &\rightarrow (\mathbf{Set}^{\mathbf{D}})^{\text{op}} \\ \mathbf{D} &\rightarrow \mathbf{Set}^{\mathbf{C}^{\text{op}}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F^*: \mathbf{Set}^{\mathbf{C}^{\text{op}}} &\rightarrow (\mathbf{Set}^{\mathbf{D}})^{\text{op}} \\ F_*: (\mathbf{Set}^{\mathbf{D}})^{\text{op}} &\rightarrow \mathbf{Set}^{\mathbf{C}^{\text{op}}} \end{aligned}$$

Isbell adjunction

$$F^*: \mathbf{Set}^{\mathbf{C}^{\text{op}}} \rightleftarrows (\mathbf{Set}^{\mathbf{D}})^{\text{op}}: F_*$$



$$F^*c_i \cong d_i \text{ and } F_*d_i \cong c_i.$$

(Bradley et al., 2024)

Plan

Introduction

Vecteurs des Mots

L'Algèbre Derrière les Vecteurs des Mots

Exemple: Wikipedia

La Structure...

...Computationalle...

...du Langage

Conclusion

Théorie de Types Computationnels

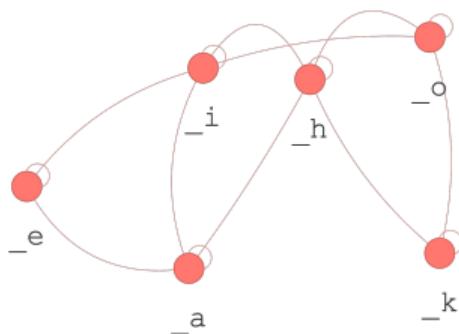
Definition (Espaces cohérents – Girard, 2006)

On appelle espace cohérent X la donnée :

Trame : Un ensemble sous-jacent, sa trame $|X|$.

Cohérence : Une relation réflexive et symétrique, sa cohérence $x \circ_X y$.

On appelle clique de X , notation $a \sqsubset X$, un sous-ensemble de $|X|$ dont les points sont deux à deux cohérents.



Théorie de Types Computationnels

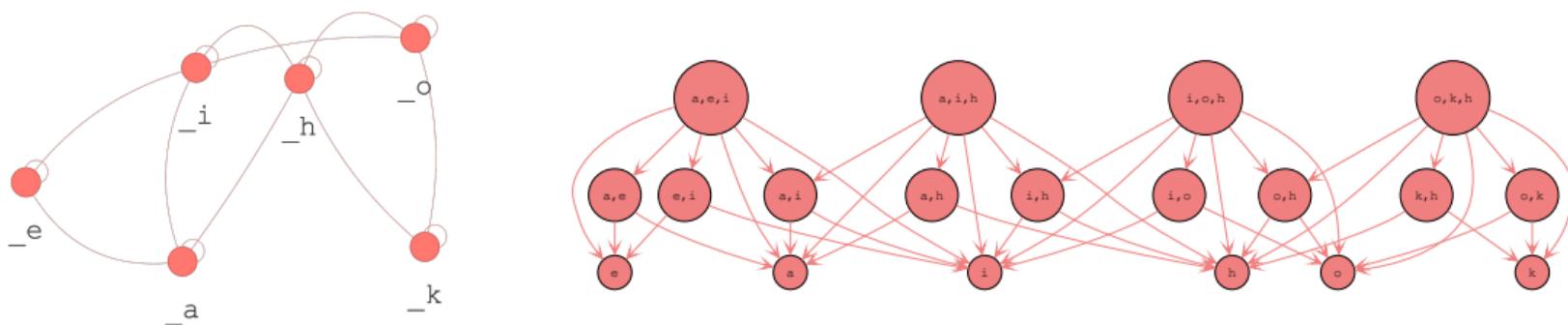
Definition (Espaces cohérents – Girard, 2006)

On appelle espace cohérent X la donnée :

Trame : Un ensemble sous-jacent, sa trame $|X|$.

Cohérence : Une relation réflexive et symétrique, sa cohérence $x \circ_X y$.

On appelle clique de X , notation $a \sqsubset X$, un sous-ensemble de $|X|$ dont les points sont deux à deux cohérents.



Théorie de Types Computationnels

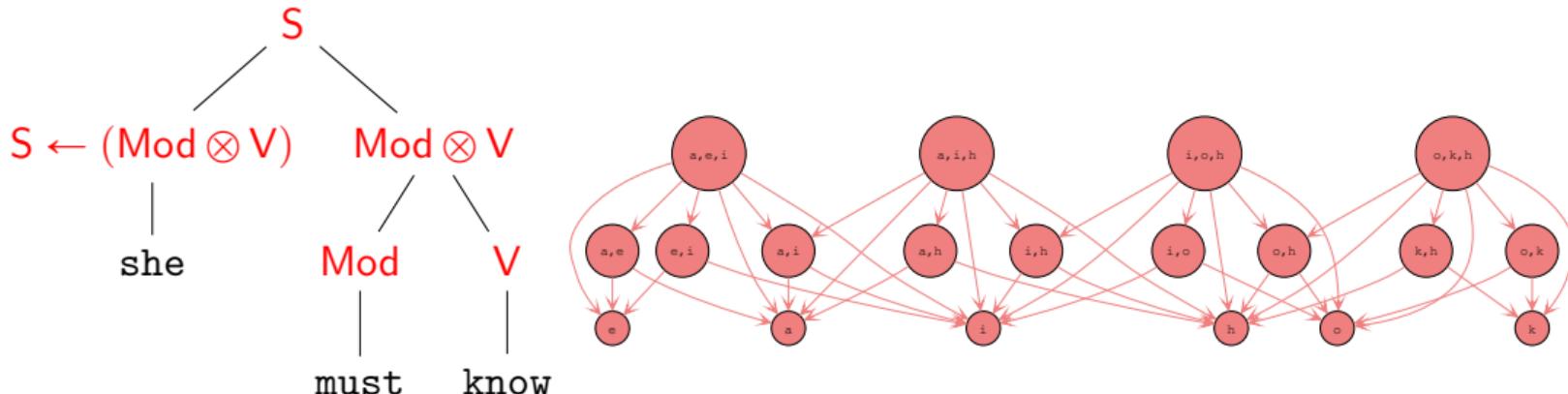
Definition (Espaces cohérents – Girard, 2006)

On appelle espace cohérent X la donnée :

Trame : Un ensemble sous-jacent, sa trame $|X|$.

Cohérence : Une relation réflexive et symétrique, sa cohérence $x \circ_X y$.

On appelle clique de X , notation $a \sqsubset X$, un sous-ensemble de $|X|$ dont les points sont deux à deux cohérents.



Plan

Introduction

Vecteurs des Mots

L'Algèbre Derrière les Vecteurs des Mots

Exemple: Wikipedia

La Structure...

...Computationalle...

...du Langage

Conclusion

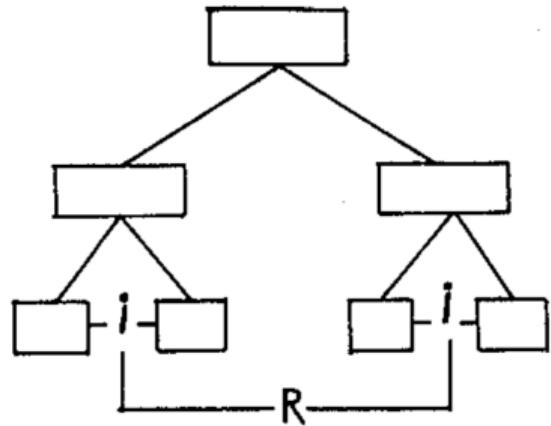
Semiotique Structurale

Une **sémiotique** [...] est une hiérarchie dont chacune des composantes admet une analyse ultérieure en classes définies par relation mutuelle, de telle sorte que chacune de ces classes admette une analyse en dérivés définis par mutation mutuelle.

Hjelmslev, 1975, Df. 24

Une **mutation** [...] est une fonction existant entre des dérivés du premier degré d'une seule et même classe, une fonction qui a une relation à une fonction entre d'autres dérivés de premier degré d'une seule et même classe et appartenant au même rang.

Hjelmslev, 1975, Df. 23



Syntagmatique et Texte

Une **syntagmatique** ou procès de signes [...] est un procès sémiotique.

Hjelmslev, 1975, Df. 33

Un **texte** [...] est la syntagmatique d'une sémiotique dénotative dont les chaînes sont manifestés par toutes les matières.

Hjelmslev, 1975, Df. 39

Syntagmatique et Texte (Vecteurs)

D 1	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	...
	é	z	i	y	u	l	o	r	j	n	

D 1	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	...
	x_é	l_é	n_é	f_é	s_é	é_e	i_é	-_é	w_q	z_u	

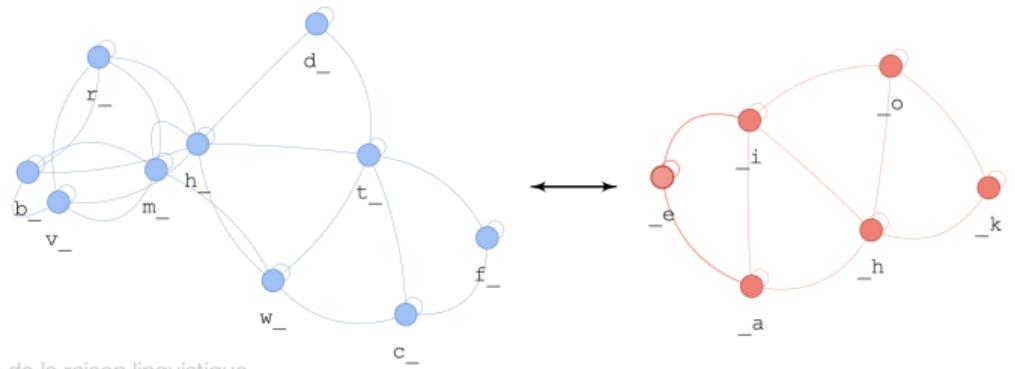
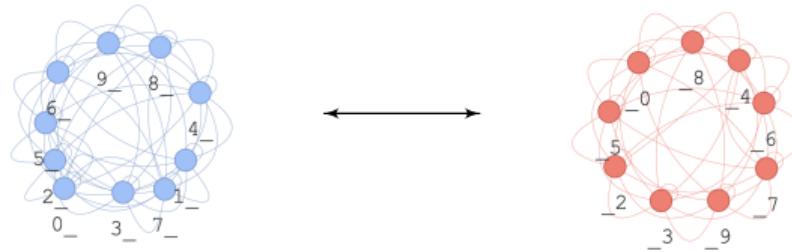
...	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	...
	0	9	2	1	8	4	3	7	6	5	

...	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	...
	=_9	=_6	7_9	9_9	=_5	9_5	9_7	9_6	9_8	9_0	

D 2	0	r	w	v	f	l	j	m	g	n	...
	0_é	5_é	8_é	-_é	2_é	u_é	=_o	9_é	4_é	7_é	

3	y	u	é	i	o	e	a	-	/	...	
	d_m	z_p	z_f	k_m	r_g	t_g	é_m	z_m	z_g	z_q	

Syntagmatique et Texte (Noyaux/Types)



Paradigmatique et Langue

Une **paradigmatique** ou système de signes [...] est un système sémiotique.

Hjelmslev, 1975, Df. 35

Une **langue** [...] est la paradigmatische d'une sémiotique dénotative dont les paradigmes sont manifestés par toutes les matières.

Hjelmslev, 1975, Df. 38

Paradigmatique et Langue (Vecteurs)

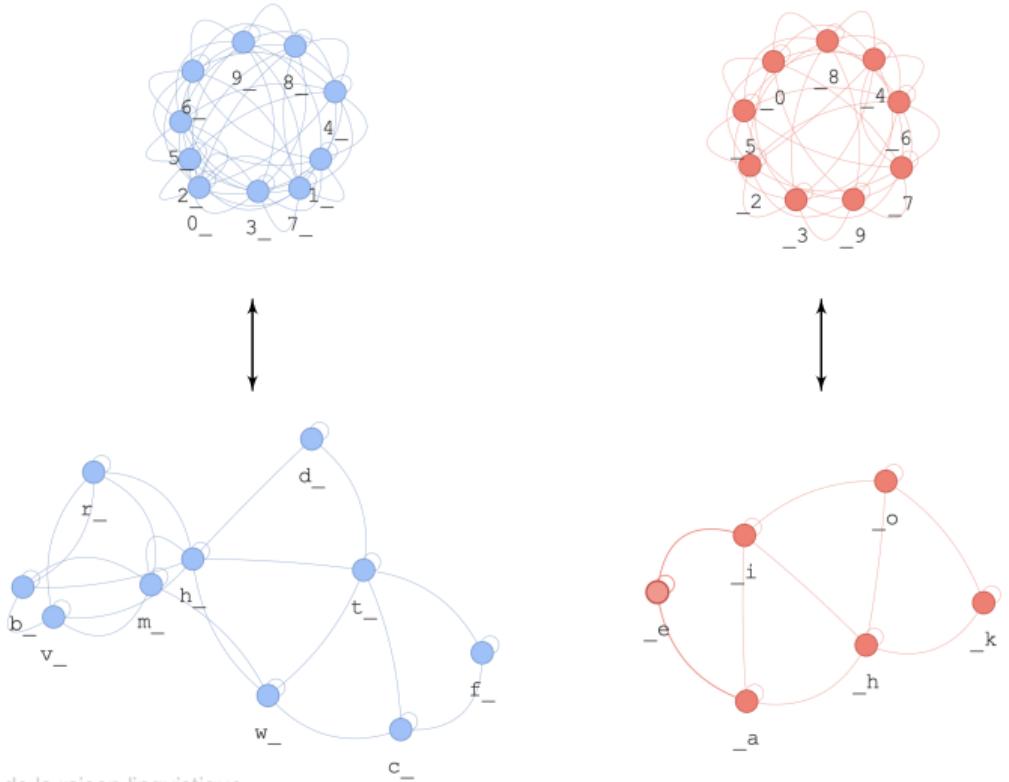
	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	...
D 1	é	z	i	y	u	l	o	r	j	n	
↔											
...	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	0	9	2	1	8	4	3	7	6	5	

	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	...
D 1	r_é	l_é	n_é	f_é	s_é	é_e	i_é	_é	w_q	z_u	
↔											
...	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	=_9	=_6	7_9	9_9	=_5	9_5	9_7	9_6	9_8	9_0	

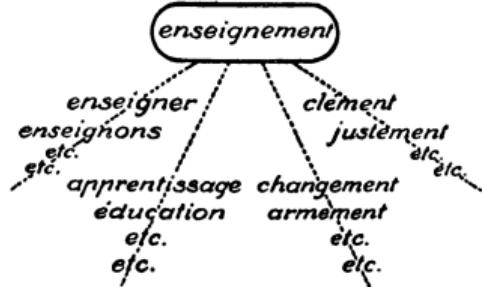
	0	r	w	v	f	l	j	m	g	n	
D 2	0	r	w	v	f	l	j	m	g	n	
↔											
	3	y	u	é	i	o	e	a	-	/	

0_é	5_é	8_é	-_é	2_é	u_é	=_o	9_é	4_é	7_é	
D 2	d_m	z_p	z_f	k_m	r_g	t_g	é_m	z_m	z_g	z_q
↔										
d_m	z_p	z_f	k_m	r_g	t_g	é_m	z_m	z_g	z_q	

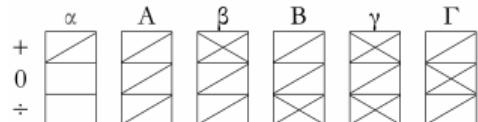
Paradigmatique et Langue (Noyaux/Types)



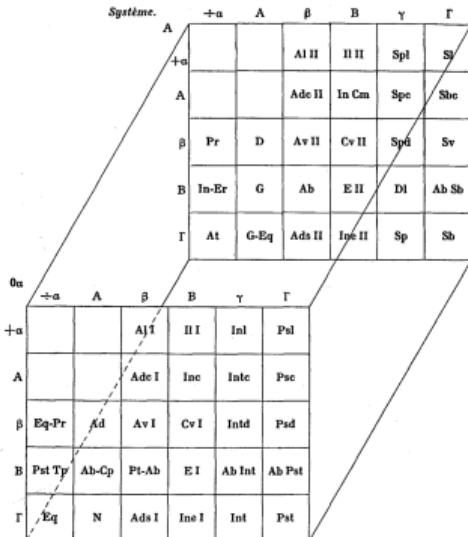
Structuralisme et Formalisme



(Saussure, 1980)



(Hjelmslev, 1975)



(Hjelmslev, 1935)

SEG-MENTS	ENVIRONMENTS									
	#-r	#-l	e-i	-Cæ-C	a-o-u	-Cs-e-i	s-a	s-a-o-u	...t	C³-
t	✓									
t		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
K						✓			✓	
k	✓	✓		✓			✓			
K				✓			✓			
G						✓				
g	✓	✓			✓					
G					✓					
r				✓	✓	✓				✓
Γ										✓

(Harris, 1960)

Structuralisme et Formalisme

	a	b	d	e	f	g	h	i
a	aa	ab	ad		af	ag	ah	
b	ba							bi
d	da			de				di
e		eb	ed			eg		
f				fe				gi
g								hi
h	ha							
i			id			ih	i	

Diagram 1.

	b	d	f	g	h	a	e	i
f						fa	fe	
h						ha	hi	
g						ga	ge	gi
b						ba	be	bi
d						da	de	di
a	ab	ad	af	ag	ah	aa		
e	eb	ed	ef	eg				
i	ib	id	ig	ih		i		

Diagram 3.

	I	II	III	IV
p	r	s	t	
r	-			
s		+	+	-
t	-			
i	+			
o	+			
u	+			
III	y	-	+	+
IV	&	-		+

Diagram 2.

(SpangHanssen1959)

Structuralisme et Formlisme

Table 8.
Vowel × binary final cluster (cf. sect. 84).

	ft	gt	ks	ds	vn	vl	dr!	mp	nk	ng	nd	nt	ns	lk	ld	lt	rk	rd	rt	rn	S	T	jC	
a	5	10	6	3	9	8	6	8	16	20	14	9	6	9	8	11	7	1	9	3	168	281	3	a
e	-	-	3	1	3	2	2	1	-	4	7	5	6	-	3	5	-	1	3	3	49	95	33	e
i	7	6	9	5	-	1	2	4	13	11	20	8	3	2	11	6	6	1	1	-	116	171	-	i
o	3	2	2	5	4	2	1	1	1	2	3	2	-	4	13	3	6	9	10	4	77	120	-	o
u	2	9	5	4	-	-	6	12	8	4	12	3	2	4	8	4	4	-	2	-	89	143	-	u
y	-	2	-	2	-	-	1	2	4	7	6	2	-	1	6	6	3	2	1	-	45	56	-	y
æ	4	11	1	-	4	4	2	2	9	11	8	1	3	2	11	4	6	6	6	4	99	145	-	æ
ø	5	2	-	-	1	4	-	-	-	-	1	2	3	-	-	-	3	-	1	6	28	47	10	ø
aa	-	-	-	1	-	-	1	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	2	-	1	9	11	-	aa
	26	42	26	21	21	21	21	30	51	59	75	32	23	22	60	39	35	22	33	21	680	1069	46	

(SpangHanssen1959)

Plan

Introduction

Vecteurs des Mots

L'Algèbre Derrière les Vecteurs des Mots

Exemple: Wikipedia

La Structure...

...Computationalle...

...du Langage

Conclusion

Conclusion

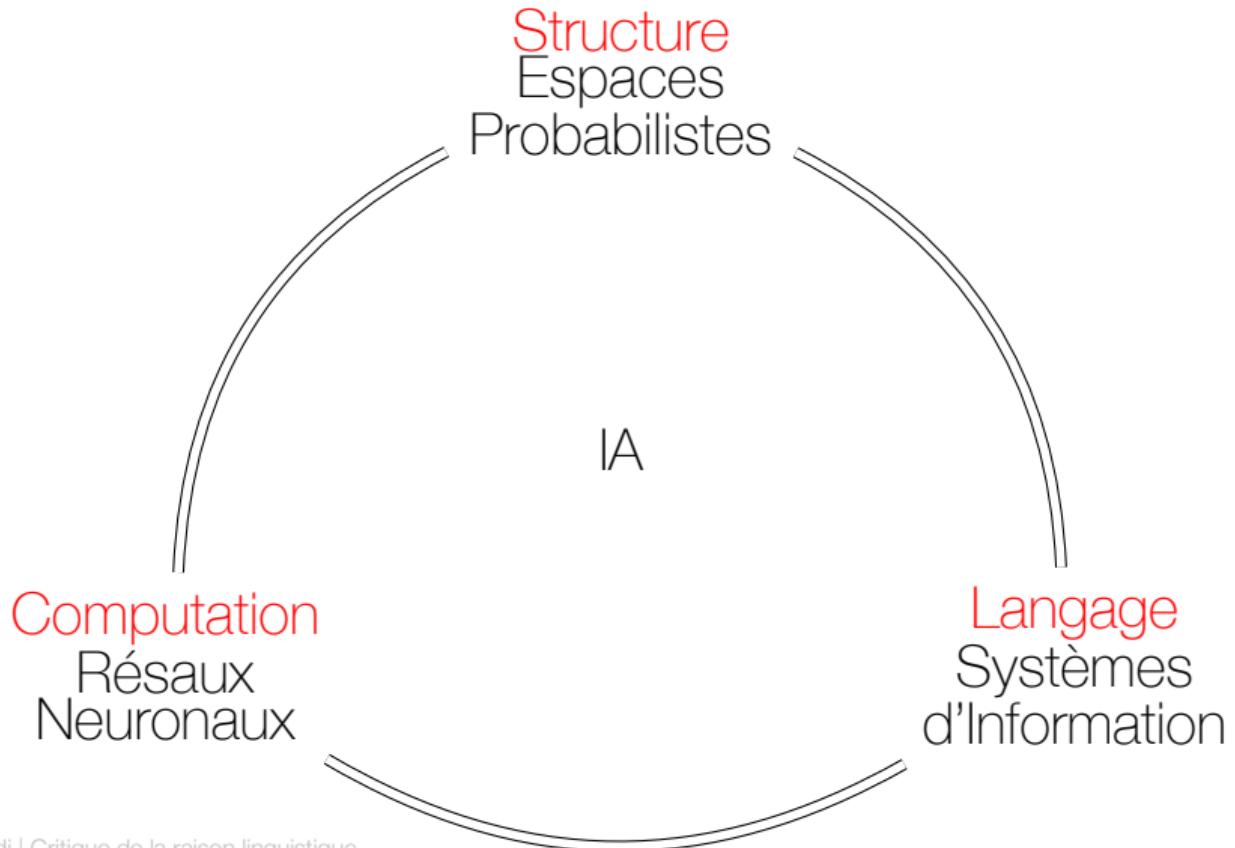
Structure
Langages
Fornels

Chomsky

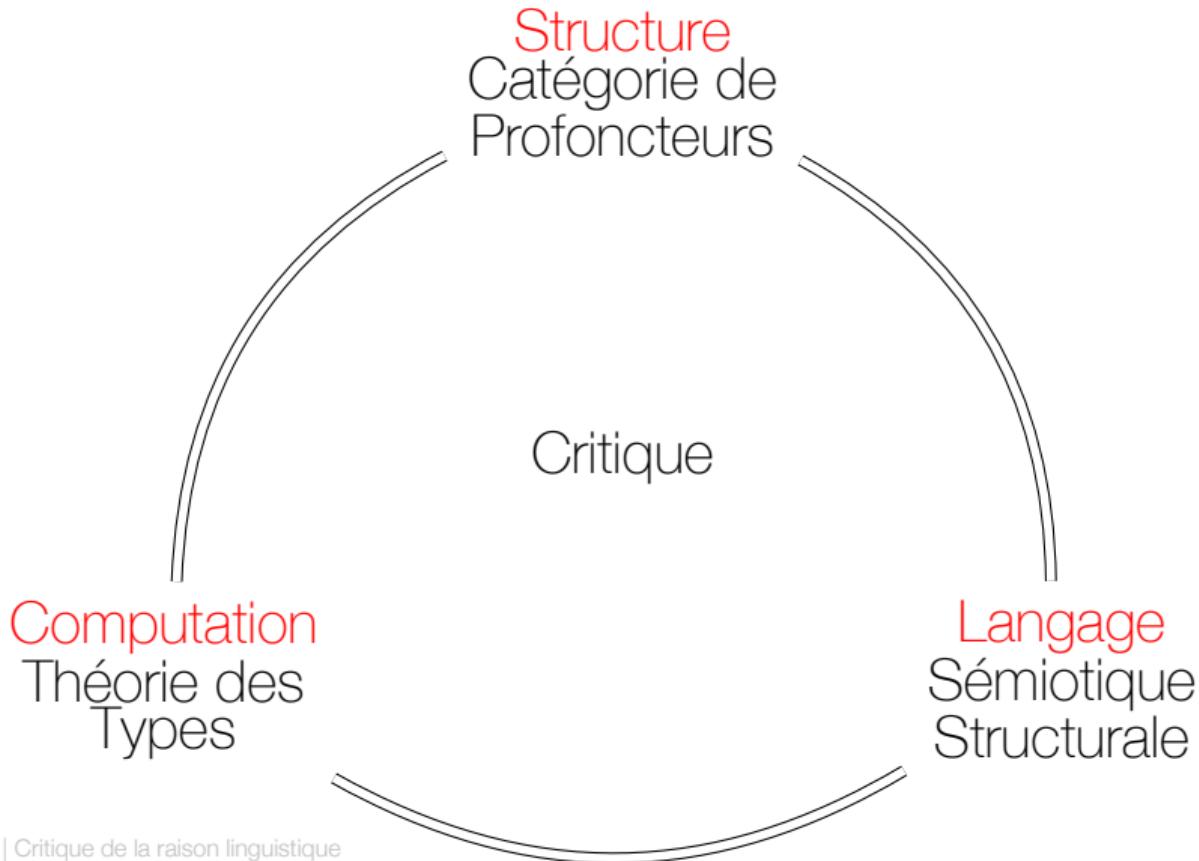
Computation
Théorie des
Automates

Langage
Grammaire
Générative

Conclusion



Conclusion



Collaborations



J. Terilla (CUNY), T.-D. Bradley (SandboxAQ), L. Pellissier (Paris-Est Créteil), Th. Seiller (CNRS), S. Jarvis (CUNY)

Articles de Référence

- ◊ Gastaldi, J. L. (2020). Why can computers understand natural language?: The structuralist image of language behind word embeddings. *Philosophy & Technology*
- ◊ Gastaldi, J. L., & Pellissier, L. (2021). The calculus of language: Explicit representation of emergent linguistic structure through type-theoretical paradigms. *Interdisciplinary Science Reviews*.
<https://doi.org/10.1080/03080188.2021.1890484>
- ◊ Bradley, T.-D., Gastaldi, J. L., & Terilla, J. (2024). The structure of meaning in language: Parallel narratives in linear algebra and category theory. *Notices of the American Mathematical Society*.
<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:263613625>

References |

- Bradley, T.-D., Gastaldi, J. L., & Terilla, J. (2024). The structure of meaning in language: Parallel narratives in linear algebra and category theory. *Notices of the American Mathematical Society*.
<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:263613625>
- Gastaldi, J. L. (2020). Why can computers understand natural language?: The structuralist image of language behind word embeddings. *Philosophy & Technology*.
- Gastaldi, J. L., & Pellissier, L. (2021). The calculus of language: Explicit representation of emergent linguistic structure through type-theoretical paradigms. *Interdisciplinary Science Reviews*.
<https://doi.org/10.1080/03080188.2021.1890484>
- Girard, J.-Y. (2006). *Le point aveugle: Cours de logique. vers la perfection*. Editions Hermann.
- Goldberg, Y., & Levy, O. (2014). Word2vec explained: Deriving mikolov et al.'s negative-sampling word-embedding method. *CoRR*, abs/1402.3722.
- Hamilton, W. L., Leskovec, J., & Jurafsky, D. (2016). Diachronic word embeddings reveal statistical laws of semantic change. *CoRR*, abs/1605.09096.
- Harris, Z. (1960). *Structural linguistics*. University of Chicago Press.
- Hjelmslev, L. (1935). *La catégorie des cas*. Wilhelm Fink Verlag.
- Hjelmslev, L. (1975). *Résumé of a Theory of Language*. Nordisk Sprog-og Kulturforlag.
- Levy, O., & Goldberg, Y. (2014). Neural word embedding as implicit matrix factorization. *Proceedings of the 27th International Conference on Neural Information Processing Systems - Volume 2*, 2177–2185.
- Mikolov, T., Sutskever, I., Chen, K., Corrado, G., Dean, J., Le, Q., & Strohmann, T. (2013). *Learning representations of text using neural networks. NIPS deep learning workshop 2013 slides*.

References II

- Mikolov, T., Sutskever, I., Chen, K., Corrado, G., & Dean, J. (2013). Distributed representations of words and phrases and their compositionality. *CoRR, abs/1310.4546*.
- Saussure. (1980). *Cours de linguistique générale*. Payot.
- Sennrich, R., Haddow, B., & Birch, A. (2016). Neural machine translation of rare words with subword units. *Proceedings of the 54th Annual Meeting of the ACL*, 1715–1725.
- Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A. N., Kaiser, Ł., & Polosukhin, I. (2017). Attention is all you need. In I. Guyon, U. V. Luxburg, S. Bengio, H. Wallach, R. Fergus, S. Vishwanathan, & R. Garnett (Eds.), *Advances in neural information processing systems* (Vol. 30). Curran Associates, Inc. https://proceedings.neurips.cc/paper_files/paper/2017/file/3f5ee243547dee91fb053c1c4a845aa-Paper.pdf

Critique de l'Intelligence Artificielle
Enjeux philosophiques, politiques et culturels de l'automatisation numérique
LLCP, Université Paris 8
Paris, France

Critique de la raison linguistique

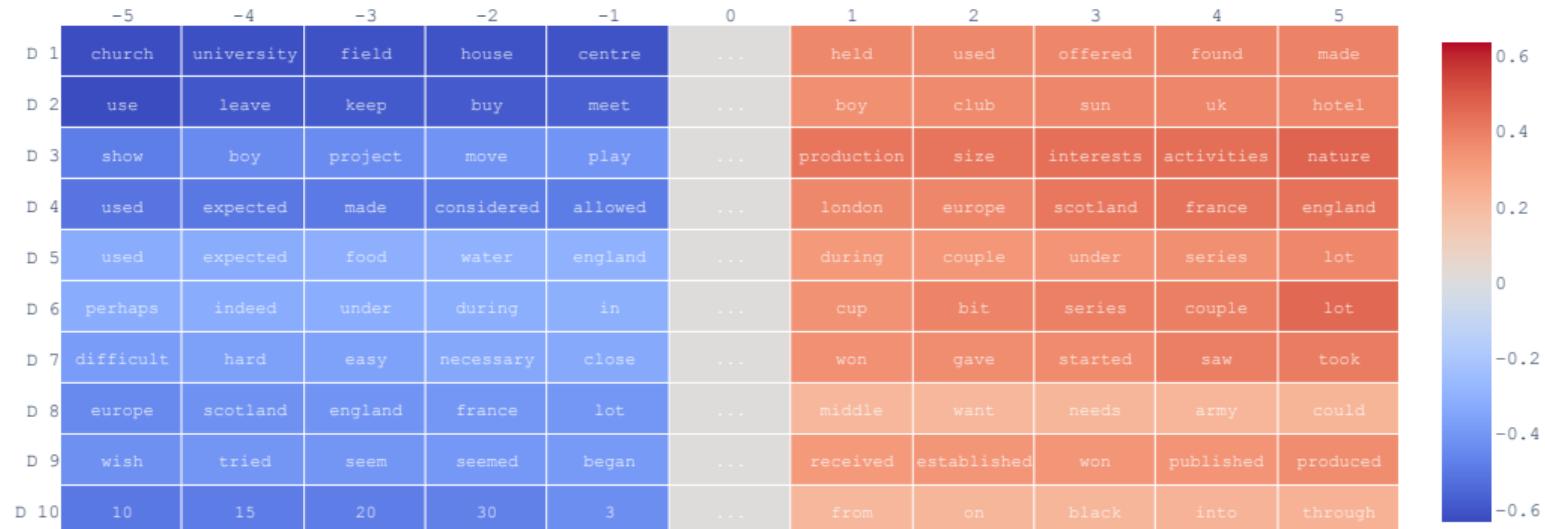
De quoi les modèles neuronaux de langage sont-ils le modèle?

Juan Luis Gastaldi

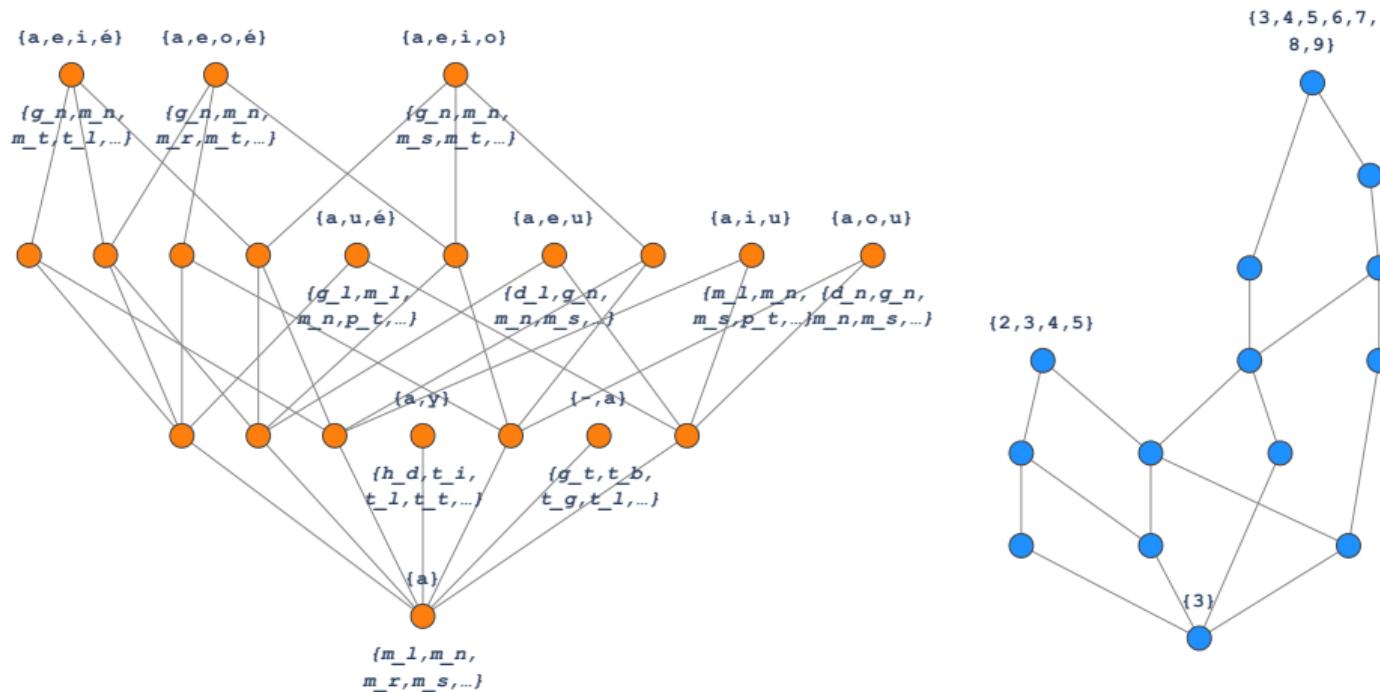


28 Mai, 2024

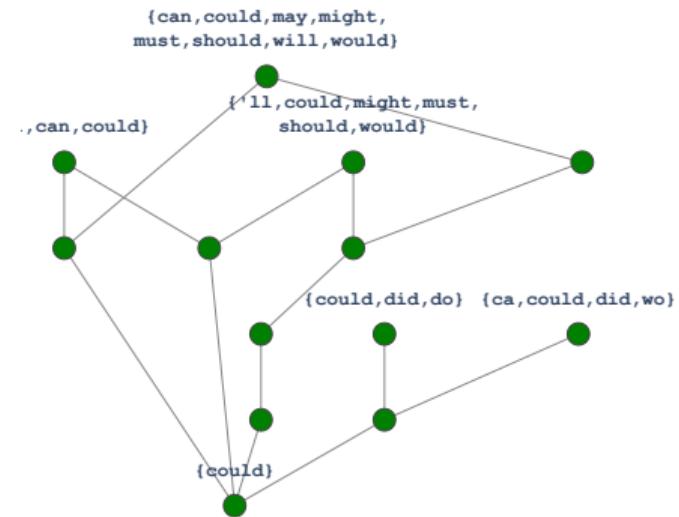
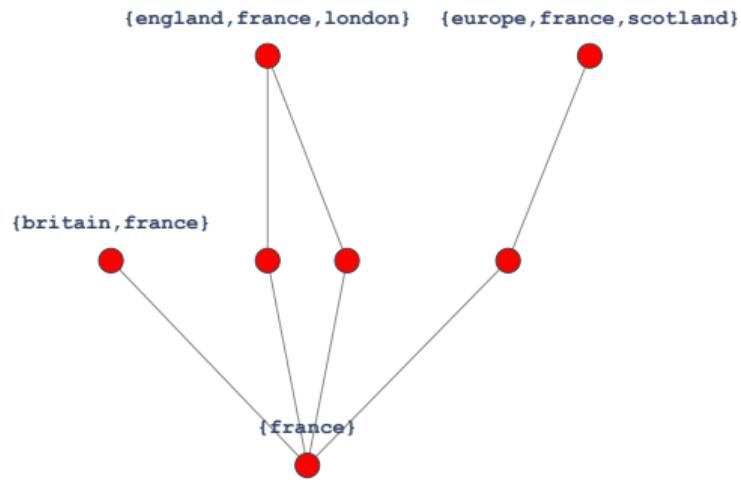
Mots



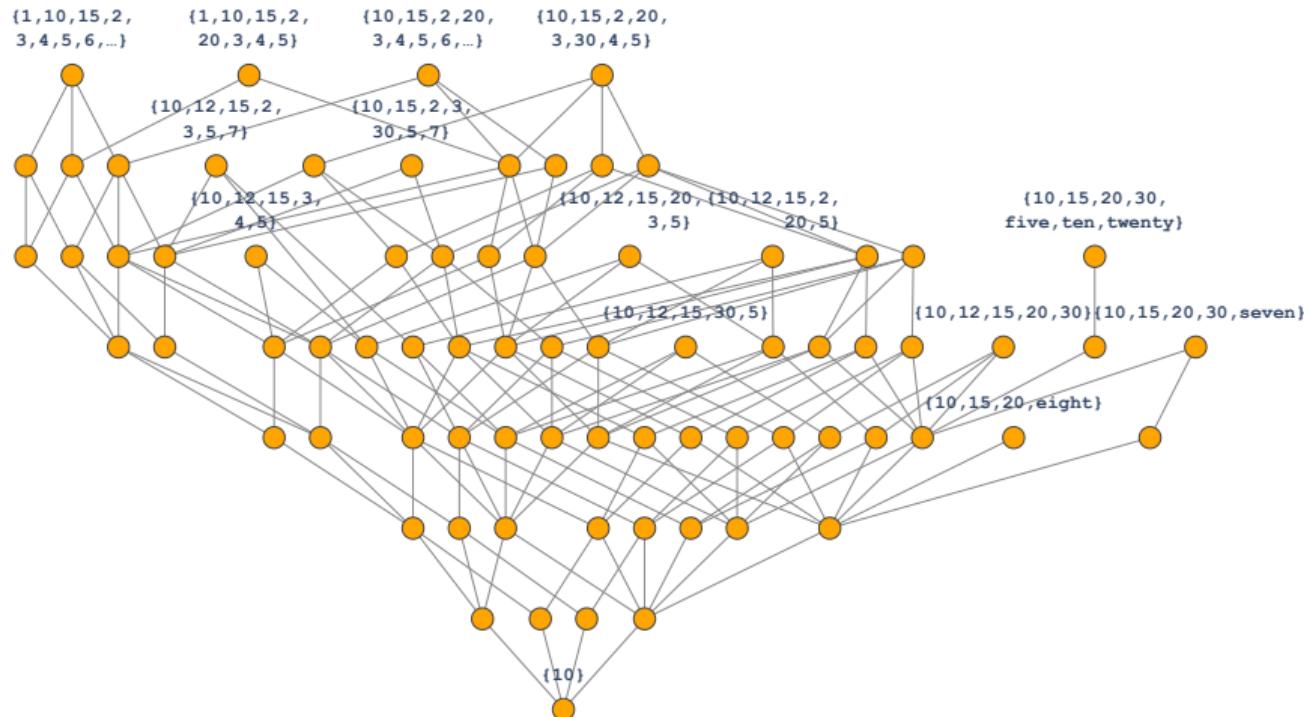
Formal Concepts



Formal Concepts (words)



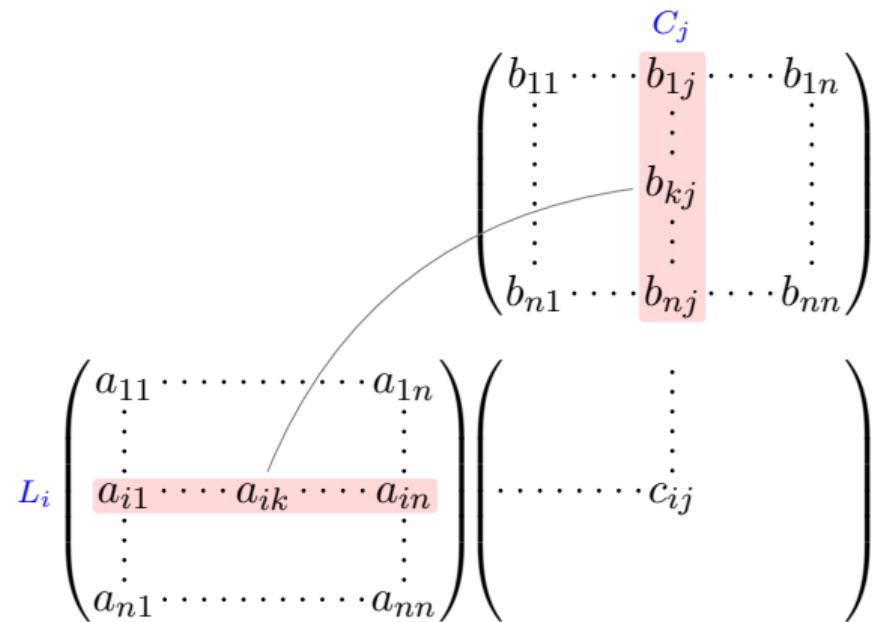
Formal Concepts (words)



Produit de Matrices

$$L_i \begin{pmatrix} a_{11} & \cdots & \cdots & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & & & & \vdots \\ a_{i1} & \cdots & a_{ik} & \cdots & a_{in} \\ \vdots & & & & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & \cdots & \cdots & a_{nn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} & & & & c_{ij} \\ & & & & \vdots \end{pmatrix}$$

C_j



Produit de Matrices

$$\begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 3 & 4 \\ 5 & 6 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 4 & 5 & 6 \end{pmatrix}$$

Produit de Matrices

$$\begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 3 & 4 \\ 5 & 6 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 4 & 5 & 6 \end{pmatrix} = 19$$

Produit de Matrices

$$\begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 3 & 4 \\ 5 & 6 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 4 & 5 & 6 \end{pmatrix} = 19$$

Produit de Matrices

$$\begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 3 & 4 \\ 5 & 6 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 4 & 5 & 6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 19 & 40 \end{pmatrix}$$

Produit de Matrices

$$\begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 4 & 5 & 6 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 3 & 4 \\ 5 & 6 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 9 & 12 & 15 \\ 19 & 26 & 33 \\ 29 & 40 & 51 \end{pmatrix}$$