

Prospective en sciences des données, IA et biologie
Mercredi 2 décembre 2020

Science des données et intelligence artificielle : apports en neurosciences

Valentin Wyart

Inserm | Ecole Normale Supérieure
Université PSL, Paris, France

valentin.wyart@ens.fr

 [@valentinwyart](https://twitter.com/valentinwyart)



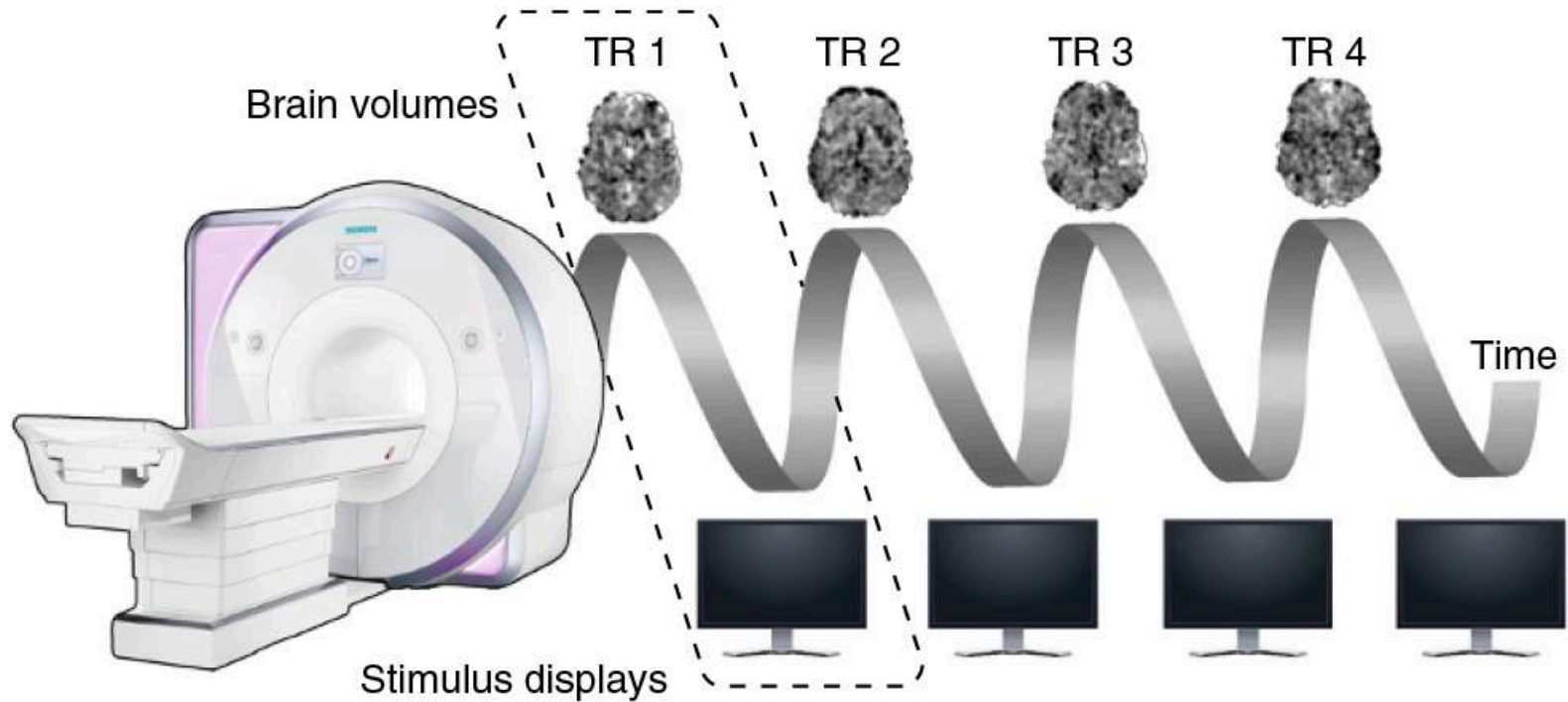
Introduction

Type de données analysées en neurosciences :

Introduction

Type de données analysées en neurosciences :

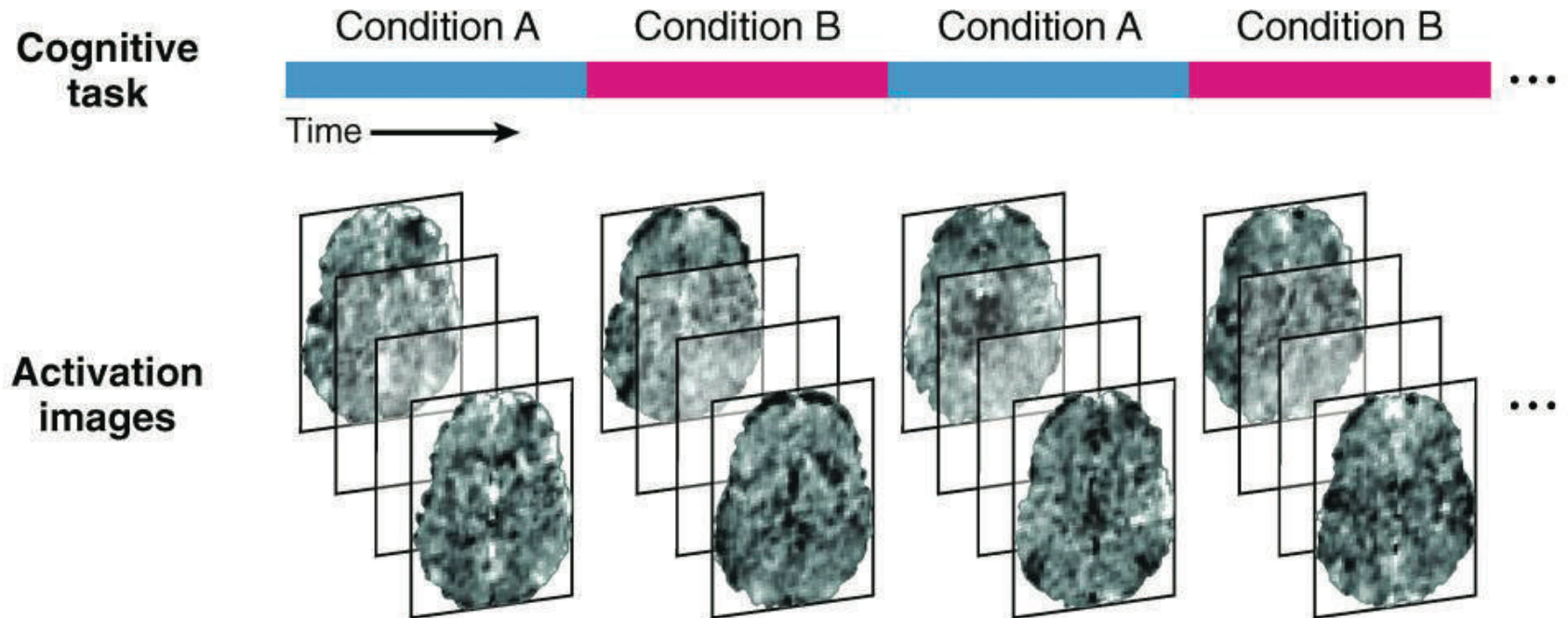
- grande quantité, données souvent multidimensionnelles



Introduction

Type de données analysées en neurosciences :

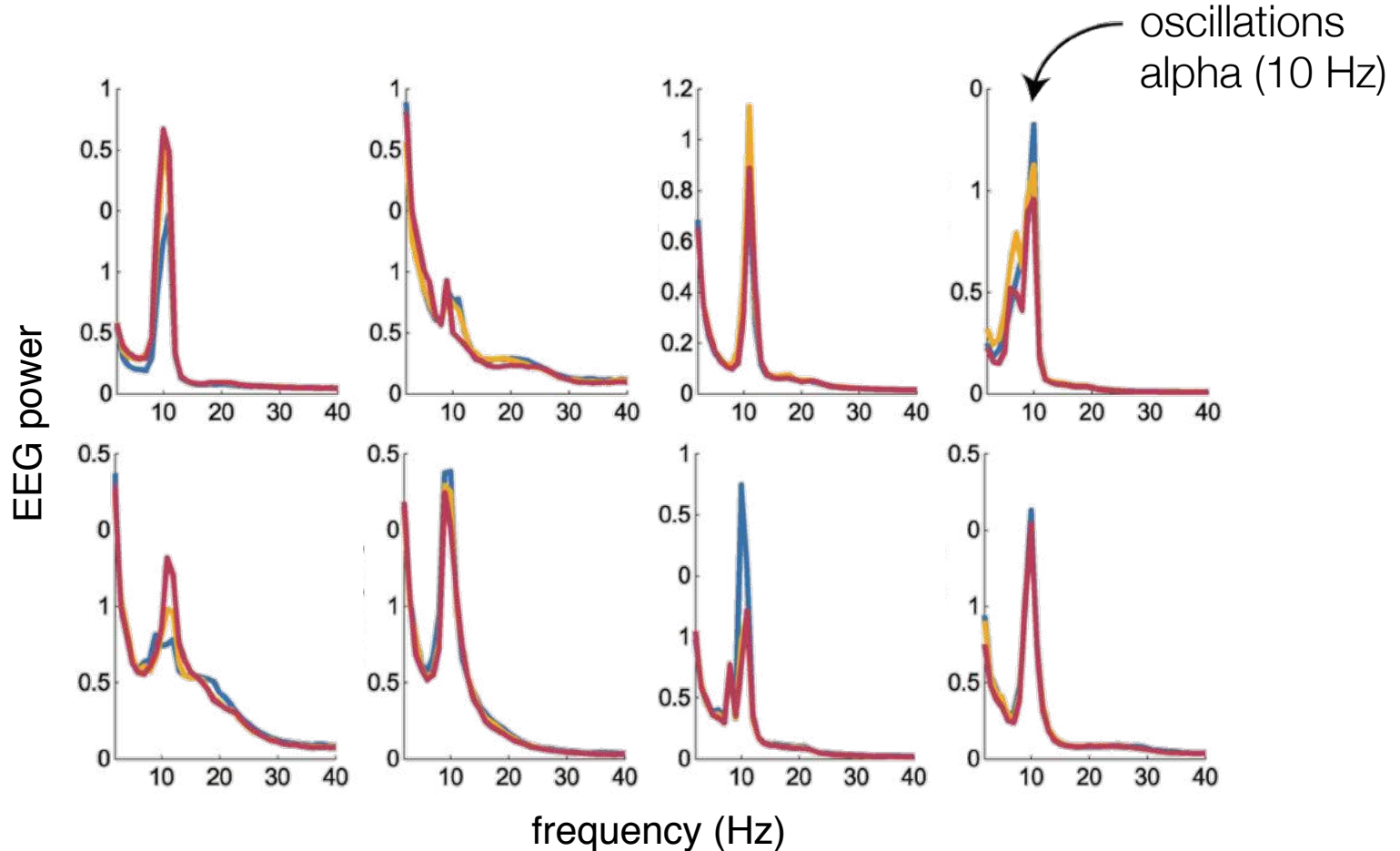
- grande quantité, données souvent multidimensionnelles
- grande variabilité intra- et interindividuelle



Introduction

Type de données analysées en neurosciences :

- grande quantité, données souvent multidimensionnelles
- grande variabilité intra- et interindividuelle



Introduction

Type de données analysées en neurosciences :

- grande quantité, données souvent multidimensionnelles
- grande variabilité intra- et interindividuelle

Deux types d'apports en neurosciences :

1. **apprentissage machine** comme outil méthodologique pour l'analyse de données expérimentales
2. **intelligence artificielle** comme outil conceptuel pour étudier le fonctionnement cérébral et la cognition

Apports méthodologiques en neurosciences

Apprentissage machine :

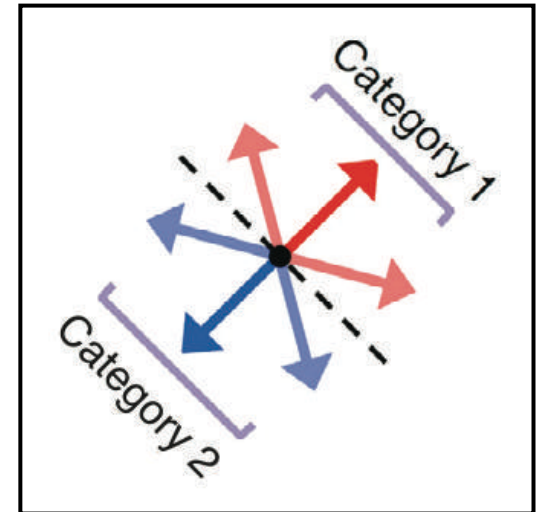
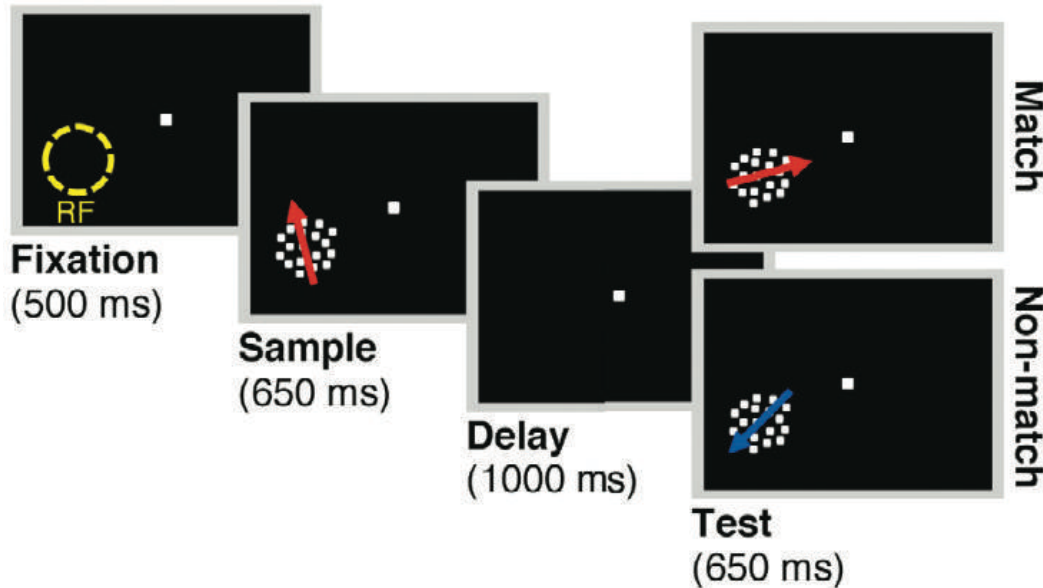
ensemble d'outils permettant d'identifier une structure latente (cachée) dans des données multidimensionnelles pour faire des prédictions sur des données nouvelles (classification, régression).

Apports méthodologiques en neurosciences

Apprentissage machine :

ensemble d'outils permettant d'identifier une structure latente (cachée) dans des données multidimensionnelles pour faire des prédictions sur des données nouvelles (classification, régression).

Delayed match-to-sample task



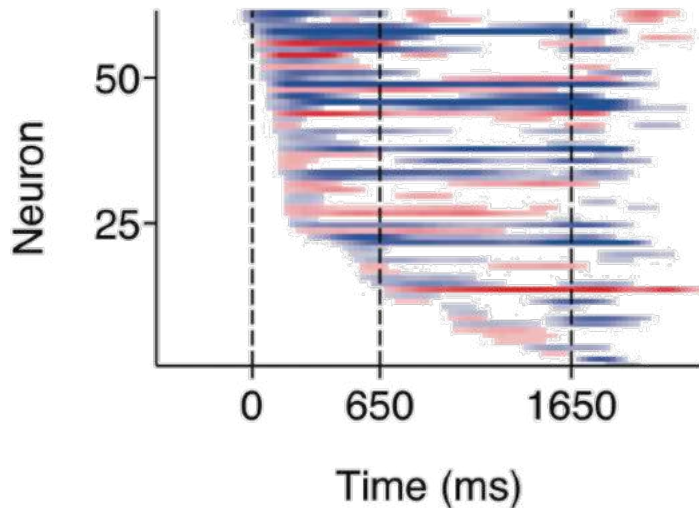
Chaisangmongkon et al. *Neuron* (2017)

Apports méthodologiques en neurosciences

Apprentissage machine :

ensemble d'outils permettant d'identifier une structure latente (cachée) dans des données multidimensionnelles pour faire des prédictions sur des données nouvelles (classification, régression).

enregistrements LIP

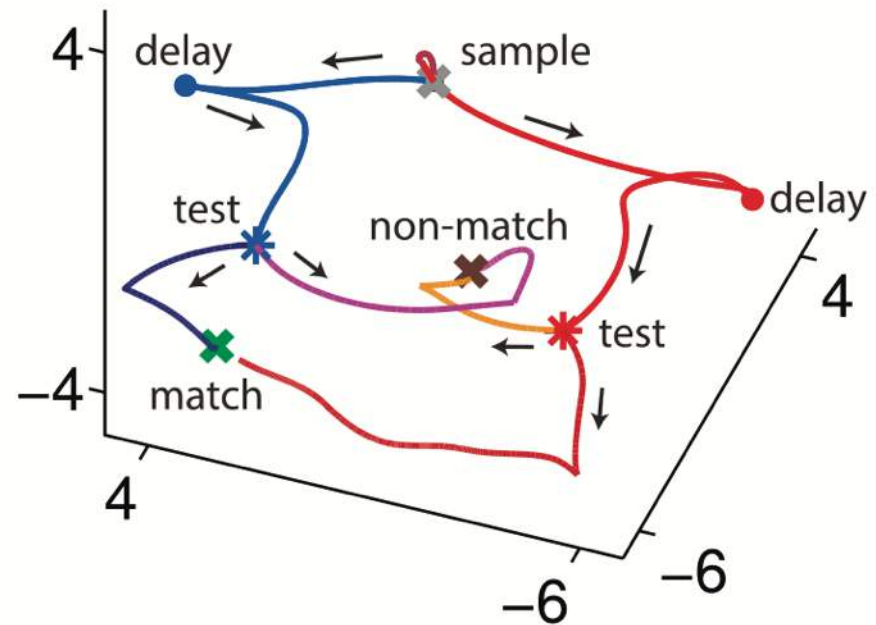
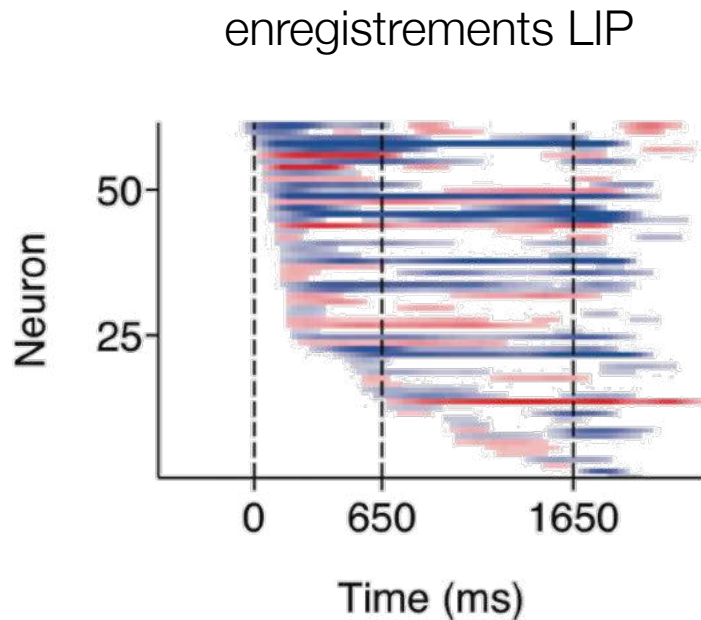


Chaisangmongkon et al. *Neuron* (2017)

Apports méthodologiques en neurosciences

Apprentissage machine :

ensemble d'outils permettant d'identifier une structure latente (cachée) dans des données multidimensionnelles pour faire des prédictions sur des données nouvelles (classification, régression).

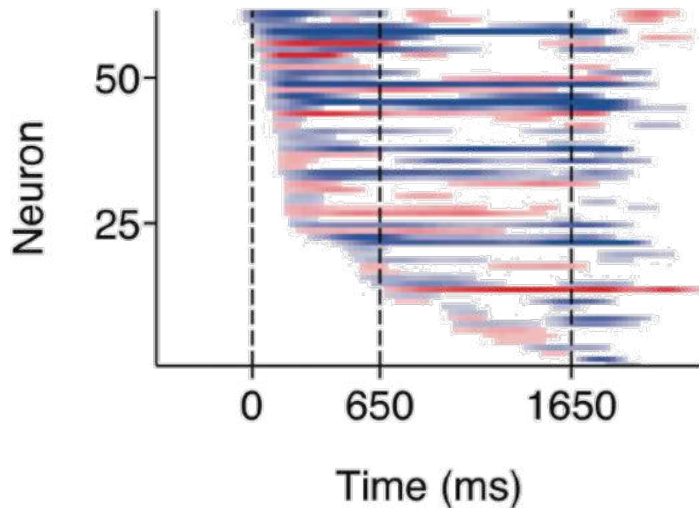


Apports méthodologiques en neurosciences

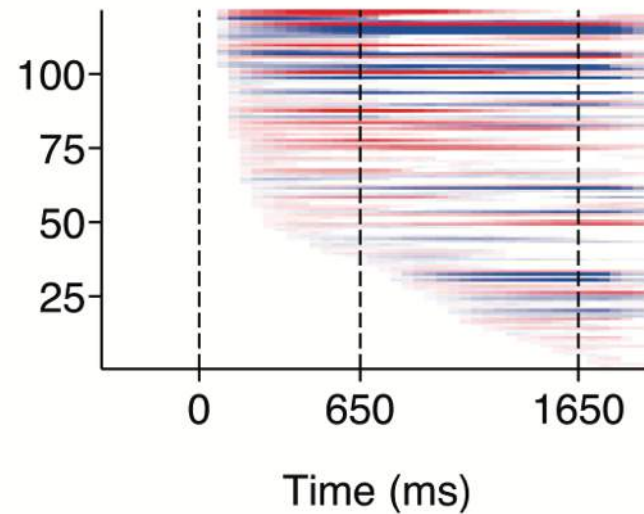
Apprentissage machine :

ensemble d'outils permettant d'identifier une structure latente (cachée) dans des données multidimensionnelles pour faire des prédictions sur des données nouvelles (classification, régression).

enregistrements LIP



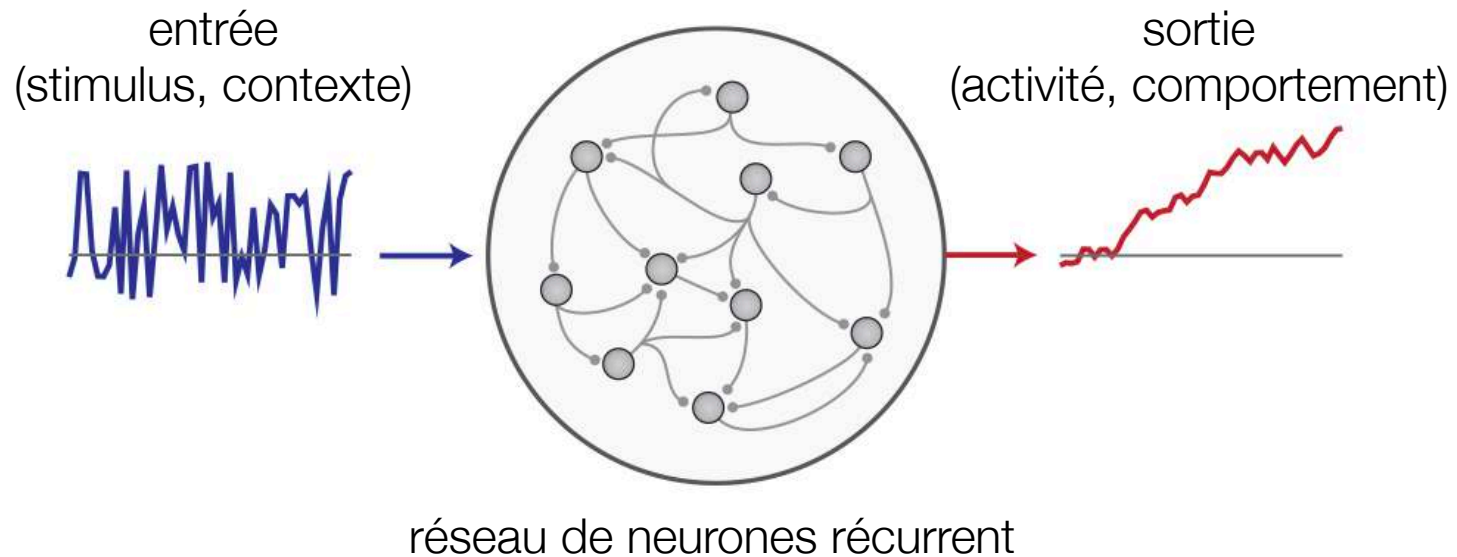
réseau de neurones récurrent



Apports méthodologiques en neurosciences

Apprentissage machine :

ensemble d'outils permettant d'identifier une structure latente (cachée) dans des données multidimensionnelles pour faire des prédictions sur des données nouvelles (classification, régression).



Apports méthodologiques en neurosciences

Apprentissage machine :

ensemble d'outils permettant d'identifier une structure latente (cachée) dans des données multidimensionnelles pour faire des prédictions sur des données nouvelles (classification, régression).

scikit-learn: machine learning in Python

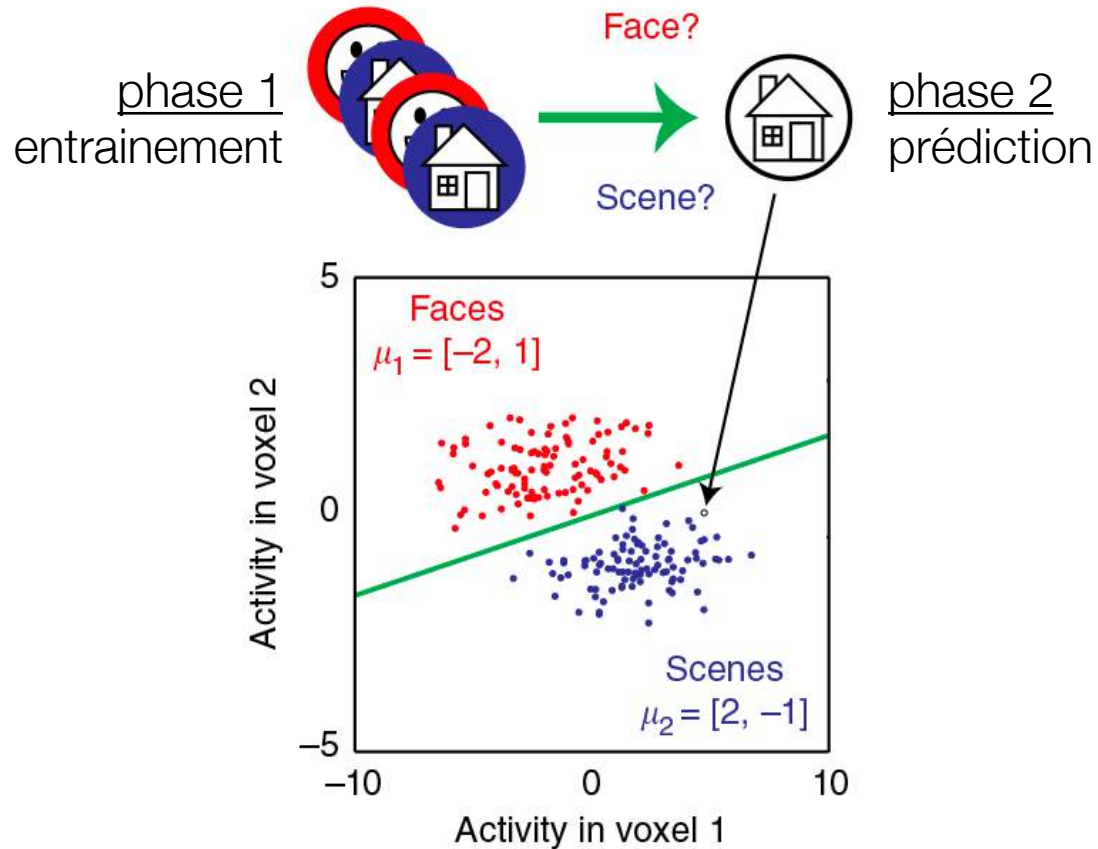
Pedregosa, Varoquaux, Gramfort et al. *JMLR* (2011)

Boîte à outils d'apprentissage machine en open source co-développée par des chercheurs français (classification, régression, clustering...)



Apports méthodologiques en neurosciences

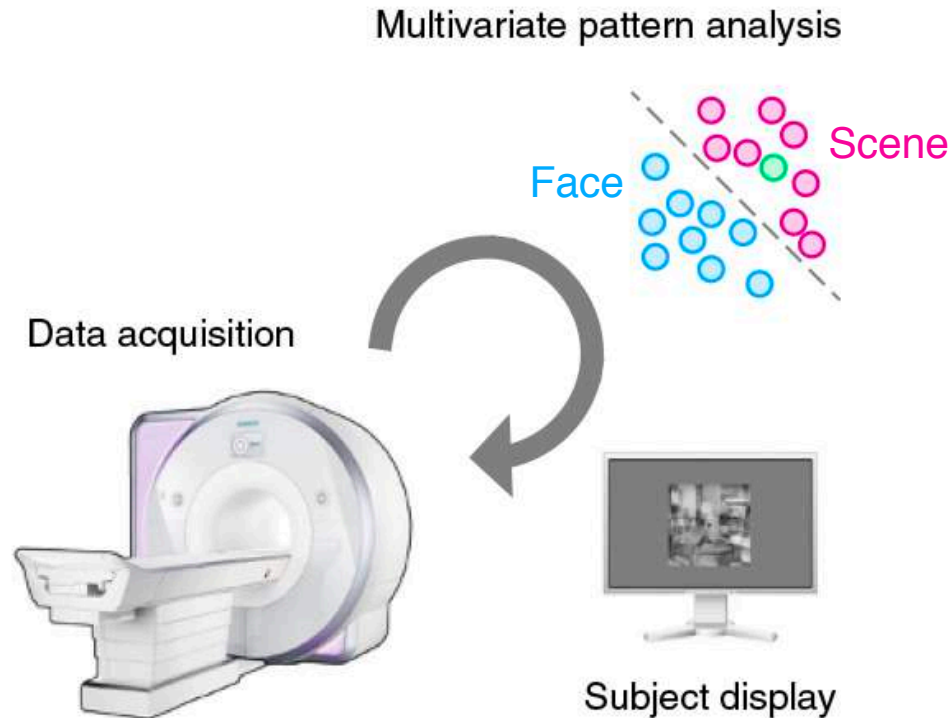
Exemple : décodage de représentations cérébrales



Revue : Cohen et al. *Nat. Neurosci.* (2017)

Apports méthodologiques en neurosciences

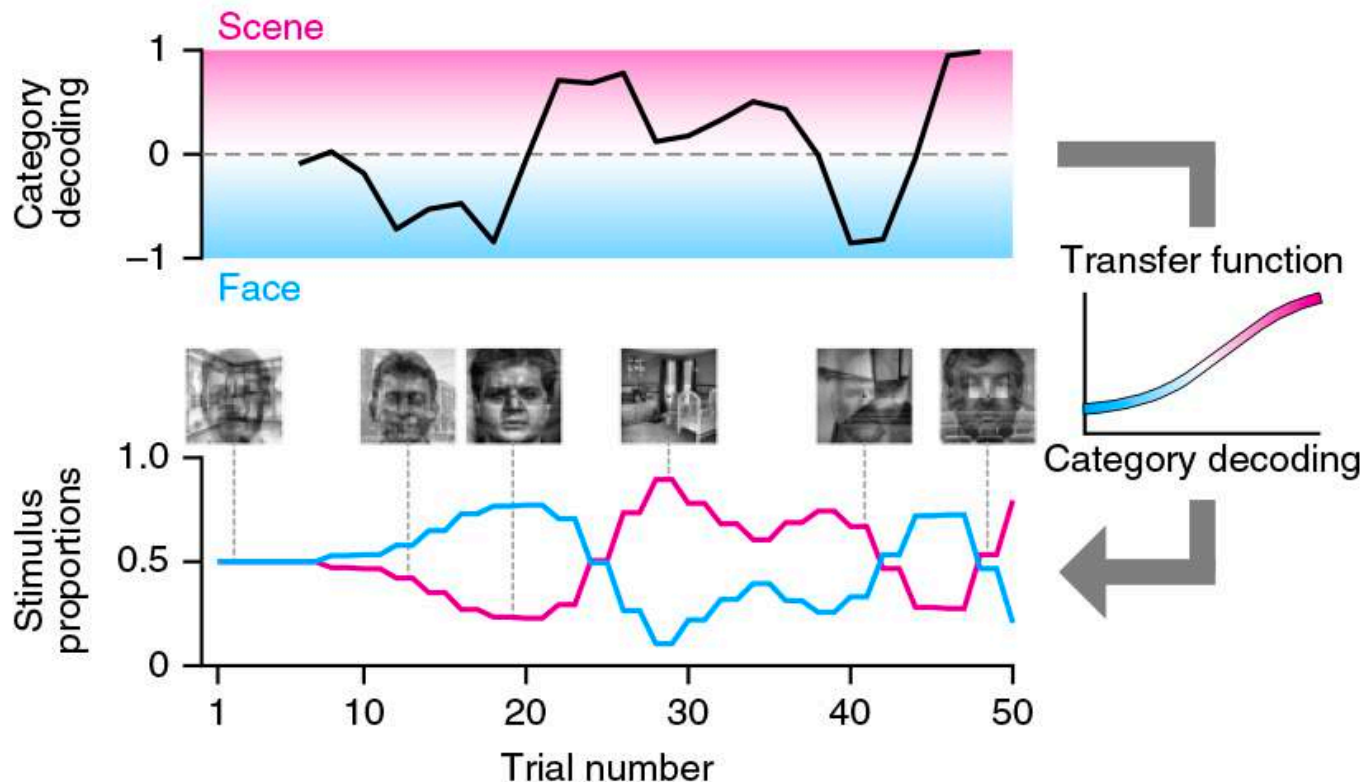
Exemple : décodage de représentations cérébrales
en temps réel (deBettencourt et al., 2015)



Revue : Cohen et al. *Nat. Neurosci.* (2017)

Apports méthodologiques en neurosciences

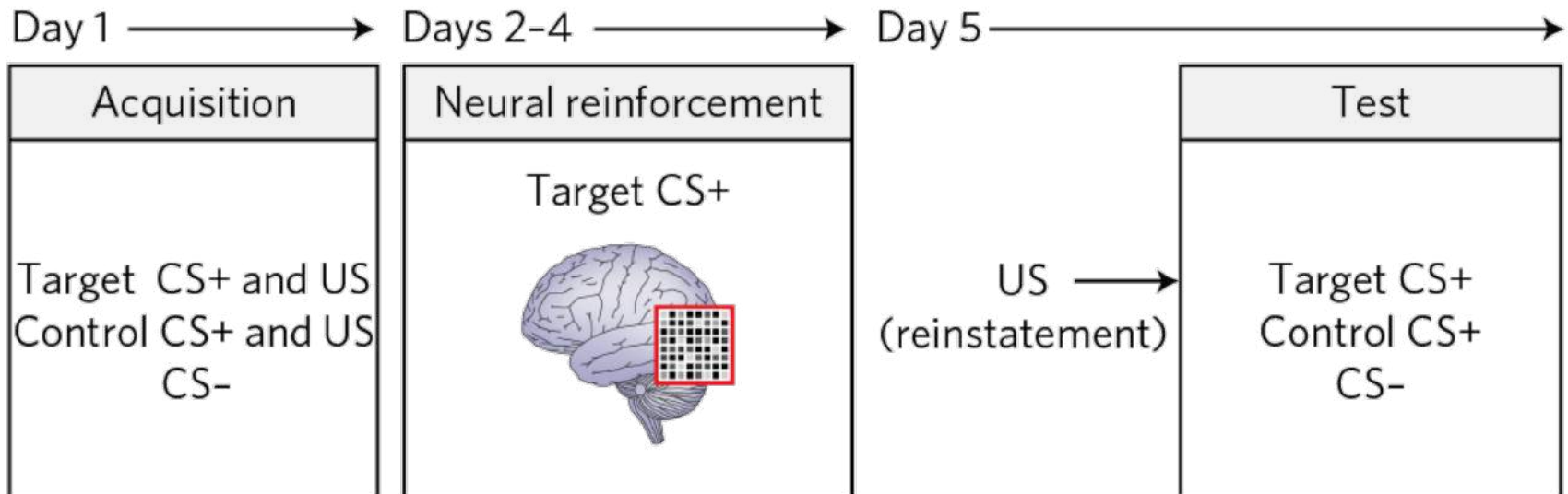
Exemple : décodage de représentations cérébrales
en temps réel (deBettencourt et al., 2015)



Revue : Cohen et al. *Nat. Neurosci.* (2017)

Apports méthodologiques en neurosciences

Exemple : décodage de représentations cérébrales
en temps réel (deBettencourt et al., 2015)
couplé à du neurofeedback (Koizumi et al., 2016)



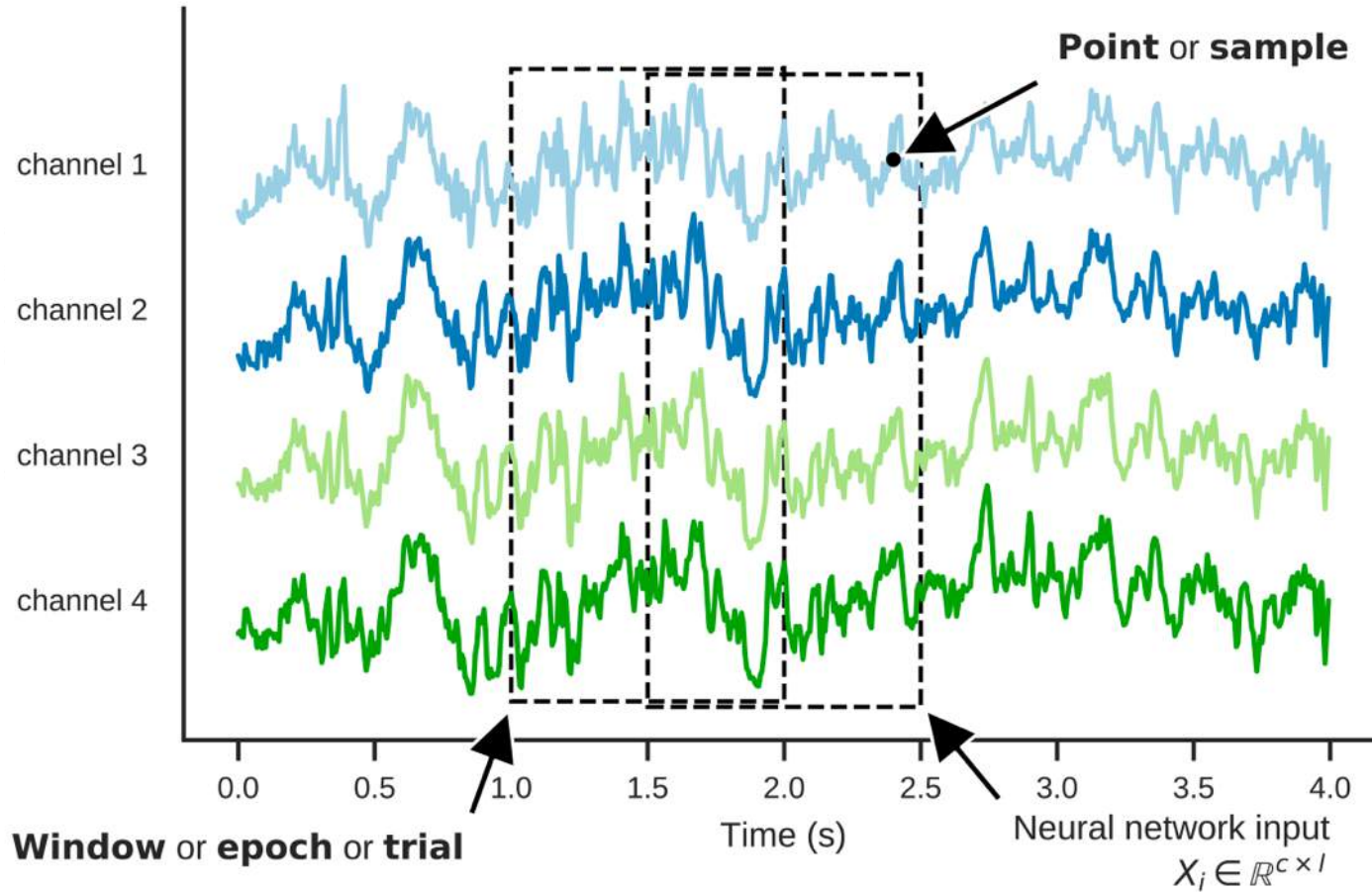
Revue : Cohen et al. *Nat. Neurosci.* (2017)

Apports méthodologiques en neurosciences

Exemple :

Apports méthodologiques en neurosciences

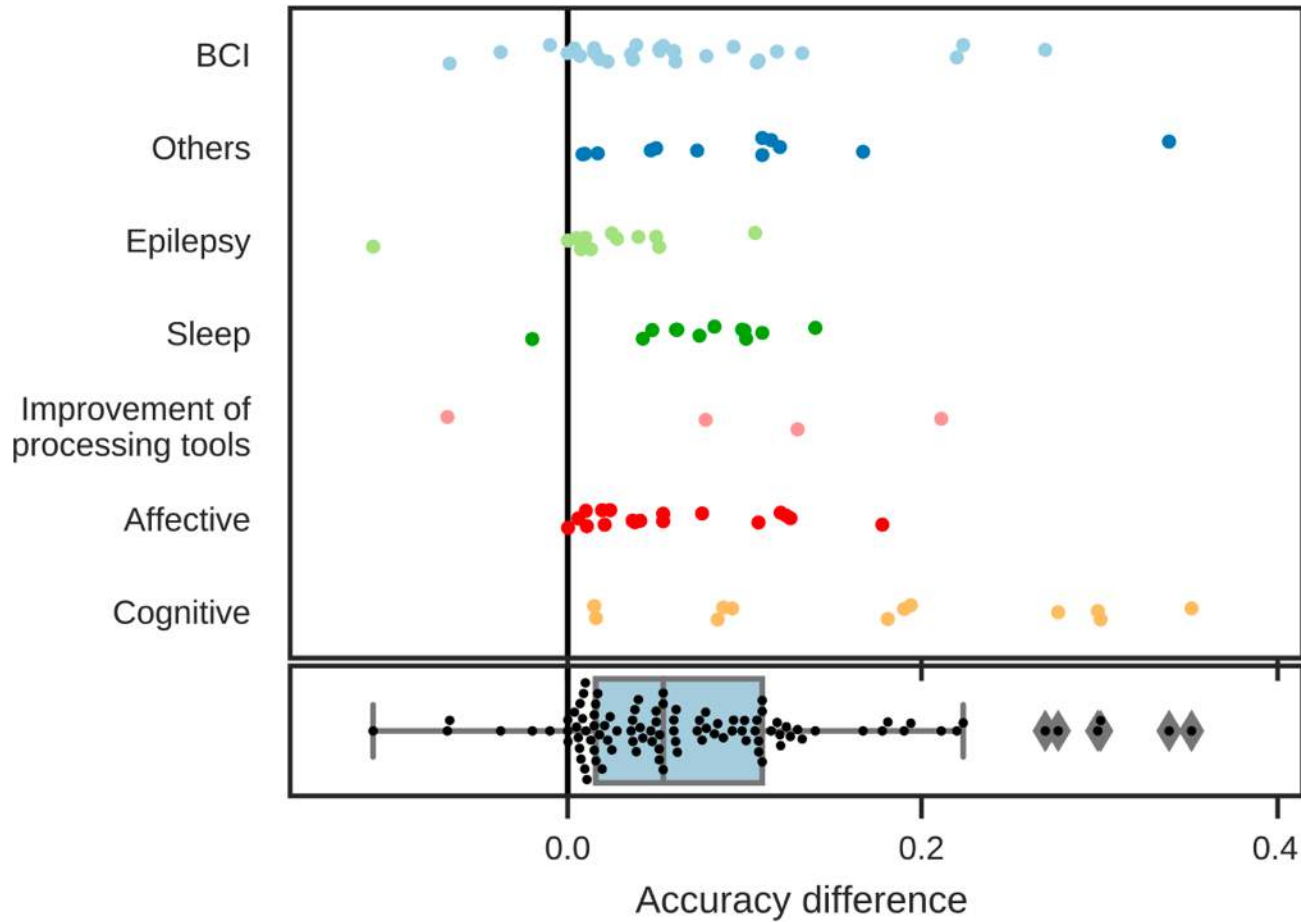
Exemple : détection de signaux dynamiques



Revue : Roy et al. *J. Neural Eng.* (2019)

Apports méthodologiques en neurosciences

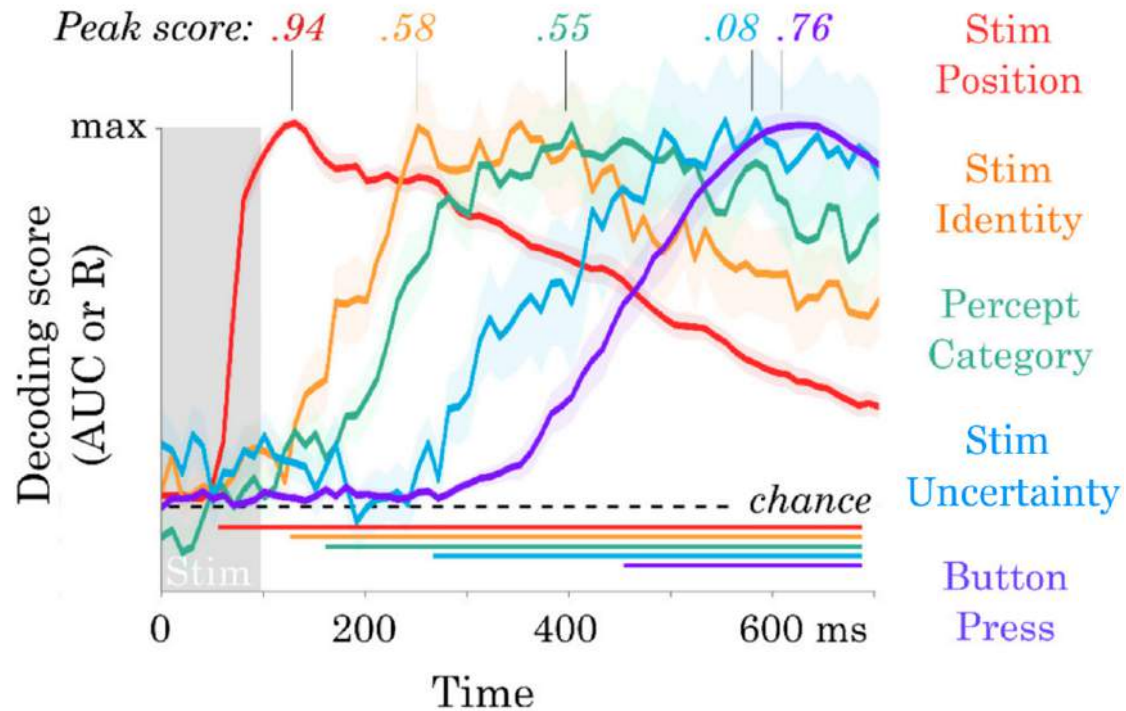
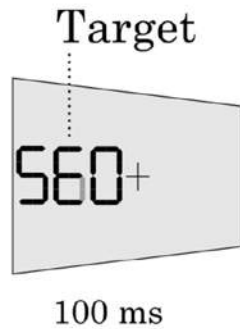
Exemple : détection de signaux dynamiques



Revue : Roy et al. *J. Neural Eng.* (2019)

Apports méthodologiques en neurosciences

Exemple : détection de signaux dynamiques + leur contenu (Gwilliams et King, 2020)

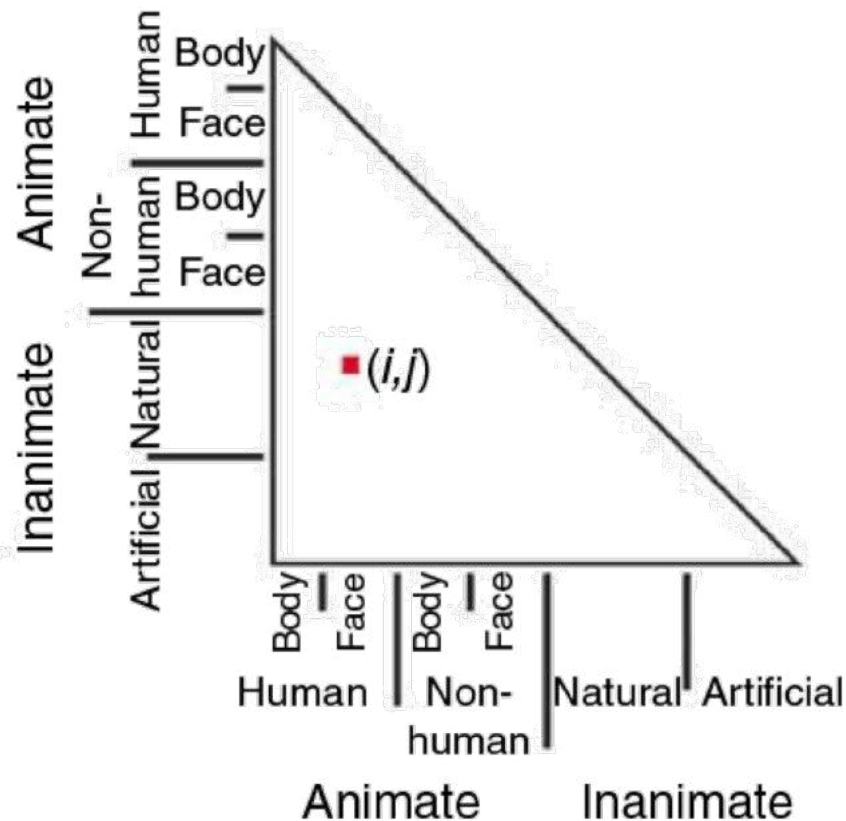


Apports méthodologiques en neurosciences

Exemple : détection de signaux dynamiques

+ leur contenu (Gwilliams et King, 2020)

+ leur structure de représentation (Cichy et al., 2014)



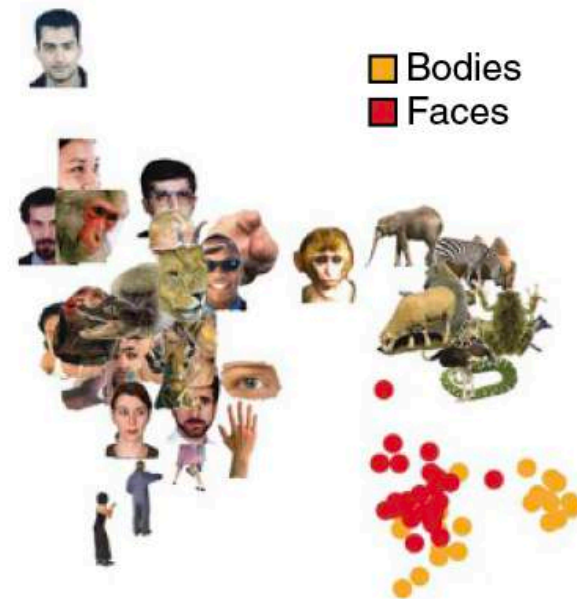
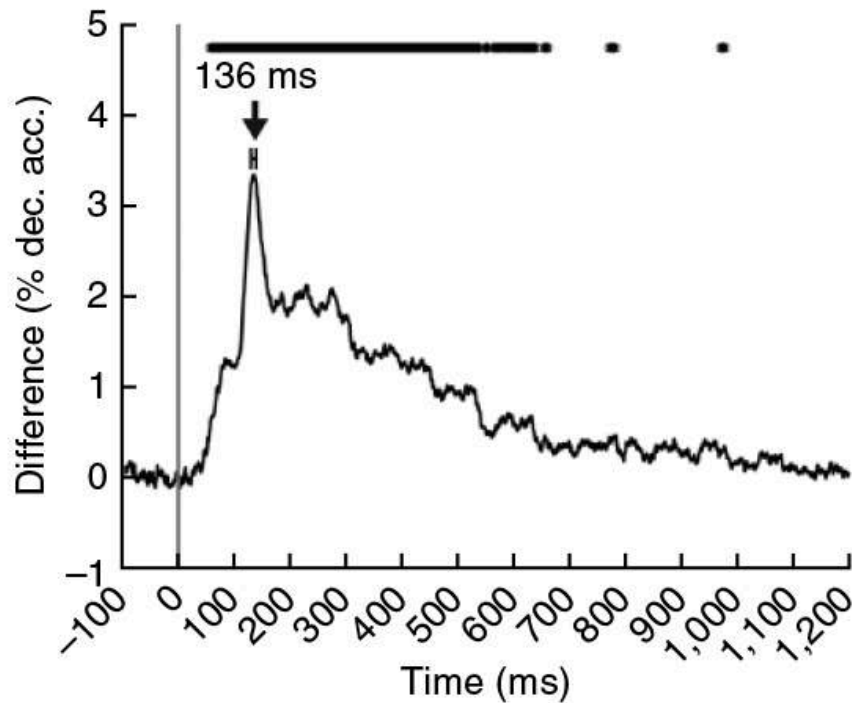
Apports méthodologiques en neurosciences

Exemple : détection de signaux dynamiques

+ leur contenu (Gwilliams et King, 2020)

+ leur structure de représentation (Cichy et al., 2014)

Bodies vs. Faces



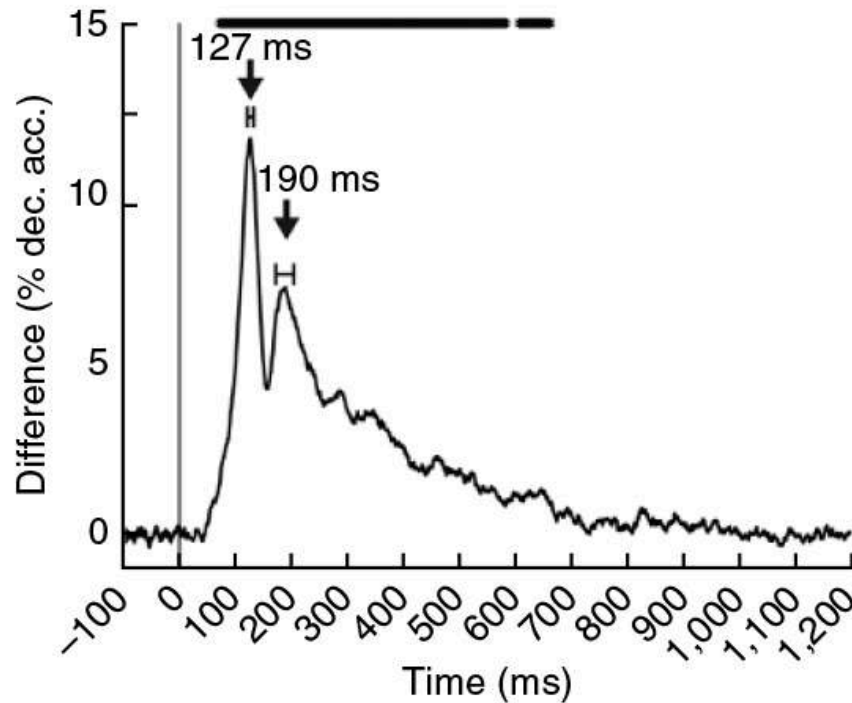
Apports méthodologiques en neurosciences

Exemple : détection de signaux dynamiques

+ leur contenu (Gwilliams et King, 2020)

+ leur structure de représentation (Cichy et al., 2014)

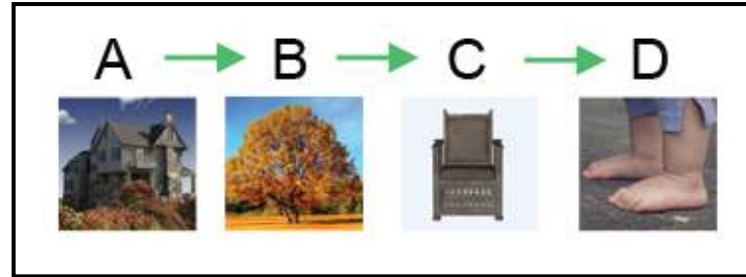
Human face vs. Nonhuman face



Apports méthodologiques en neurosciences

Succès : activité 'replay' chez l'Homme

séquence

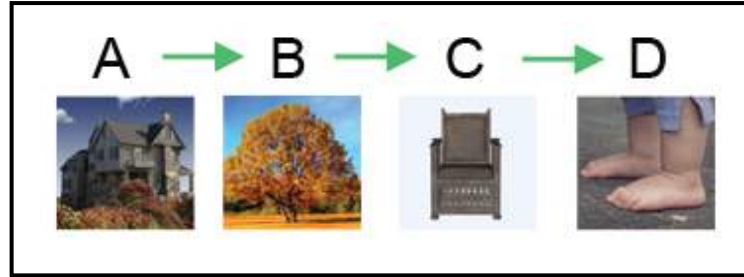


Article : Liu et al. (2019) *Cell*

Apports méthodologiques en neurosciences

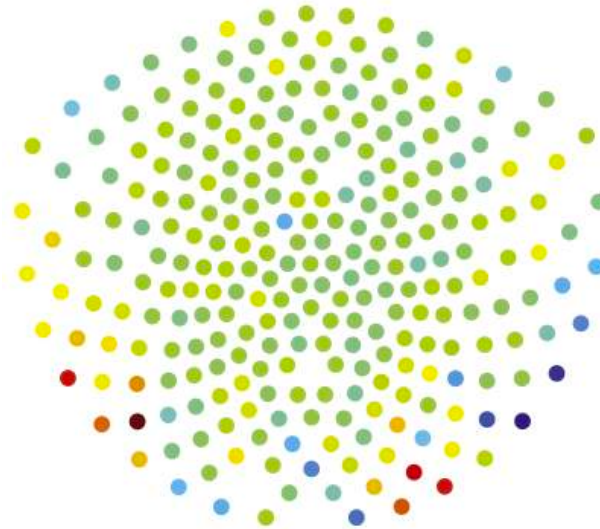
Succès : activité 'replay' chez l'Homme

séquence



Article : Liu et al. (2019) *Cell*

State A

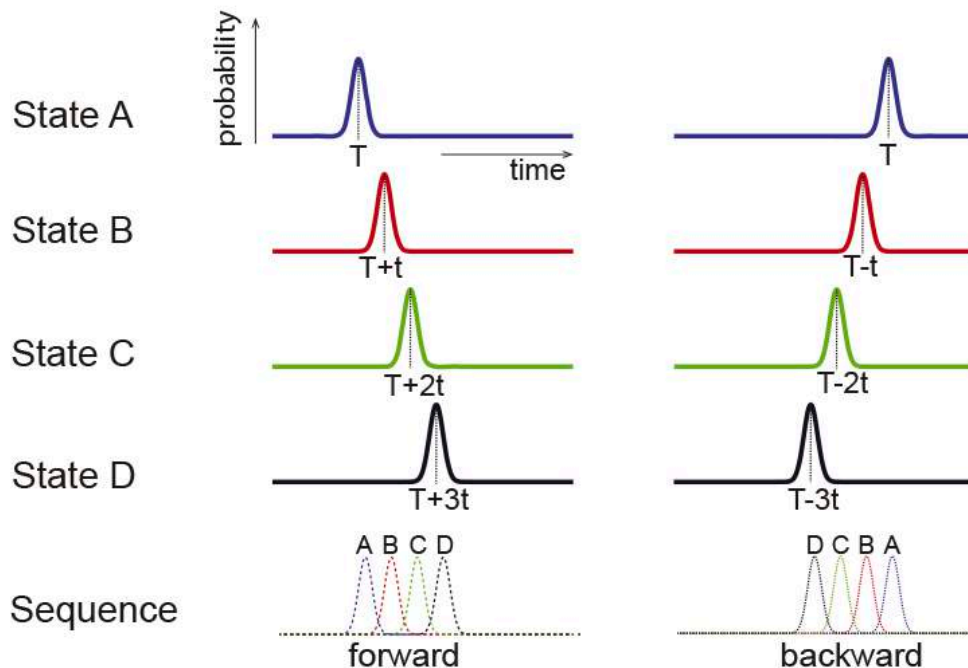
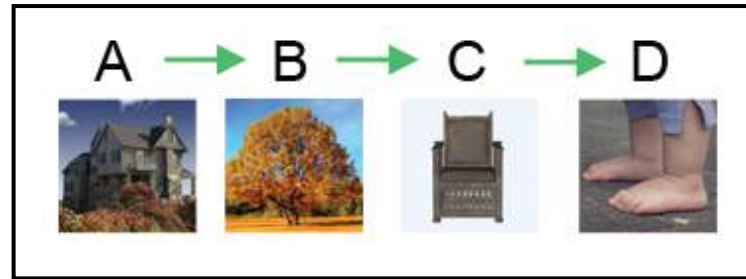


1. décodage
représentation
(présentation)

Apports méthodologiques en neurosciences

Succès : activité 'replay' chez l'Homme

séquence



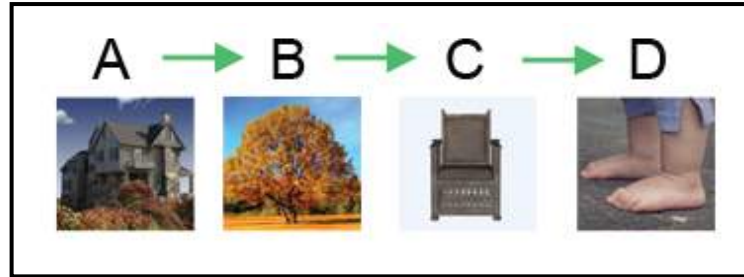
1. décodage
représentation
(présentation)

2. décodage
séquence de
représentations
(repos)

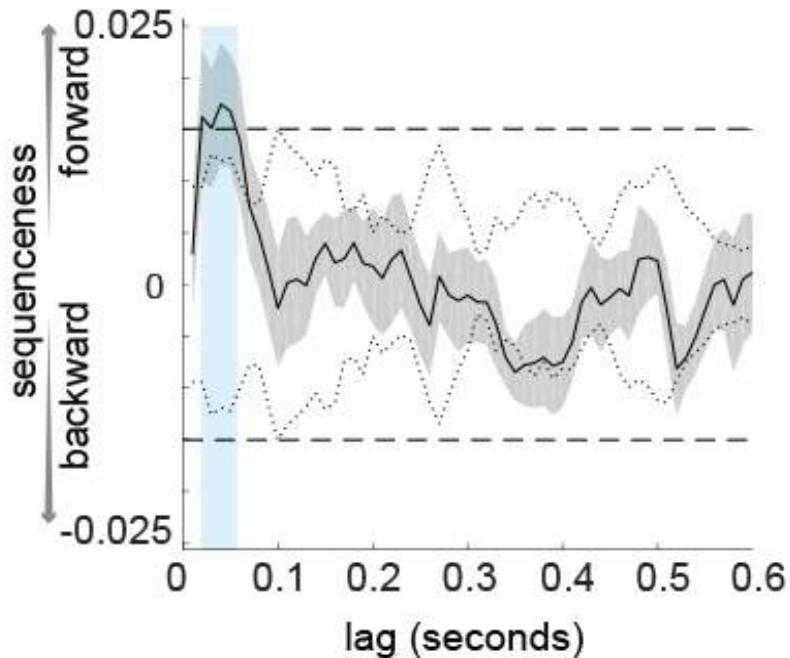
Apports méthodologiques en neurosciences

Succès : activité 'replay' chez l'Homme

séquence



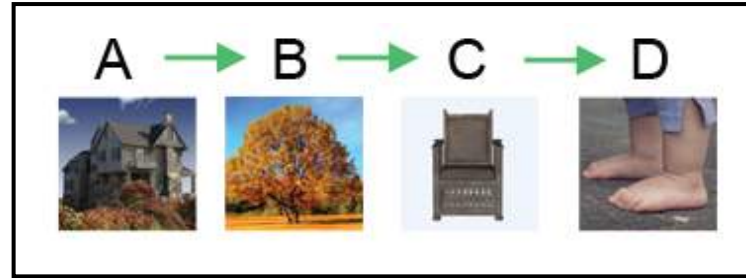
replay
A-B-C-D



Apports méthodologiques en neurosciences

Succès : activité 'replay' chez l'Homme

séquence

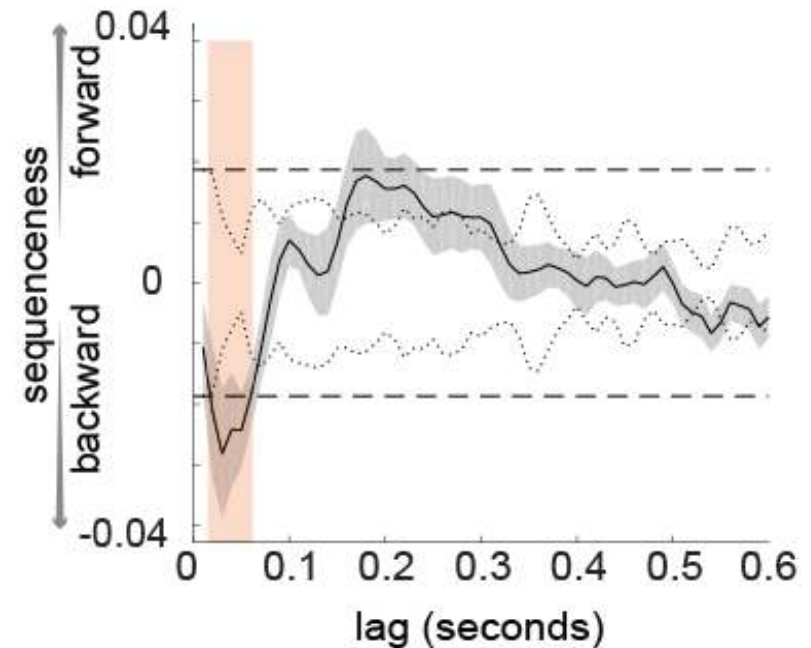
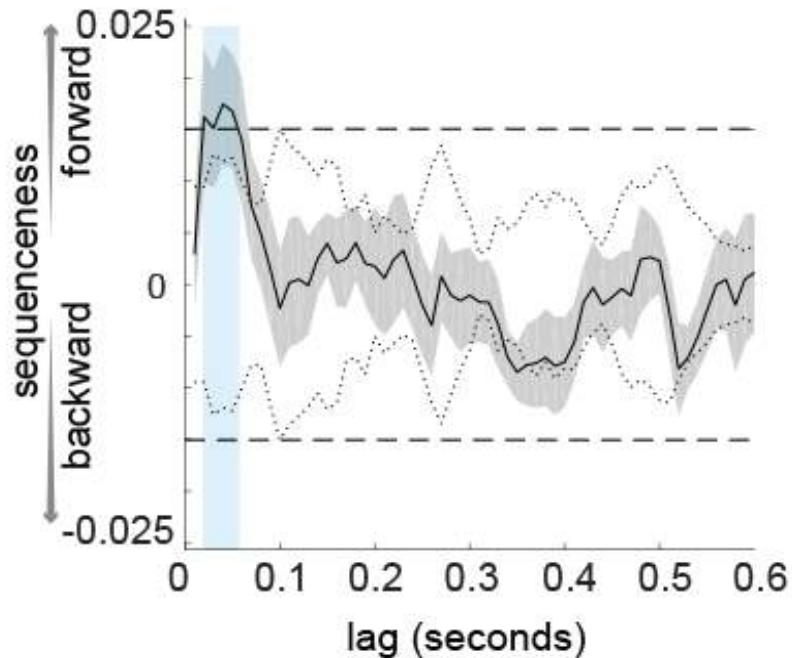


récompense



replay
A-B-C-D

replay
D-C-B-A



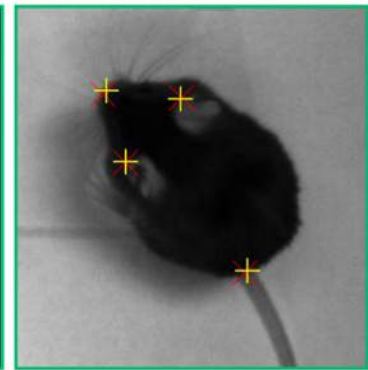
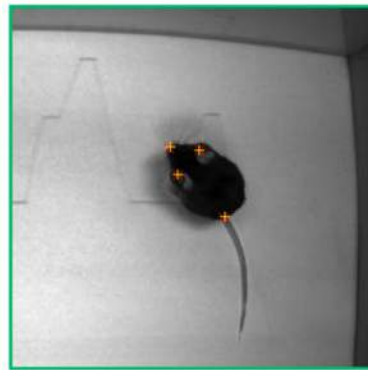
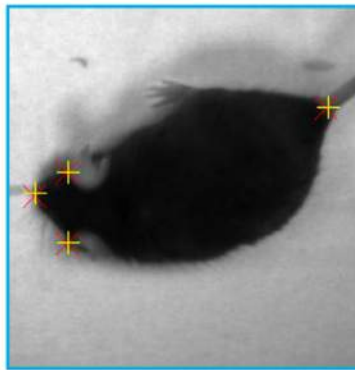
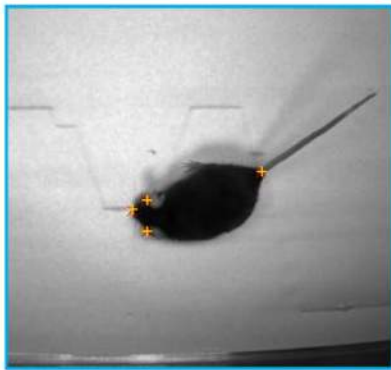
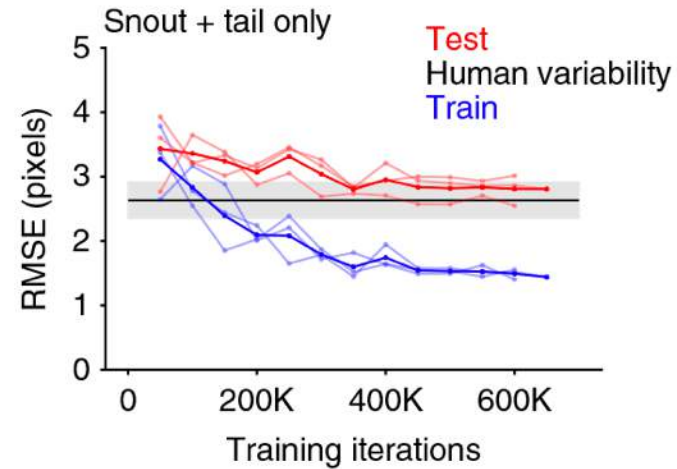
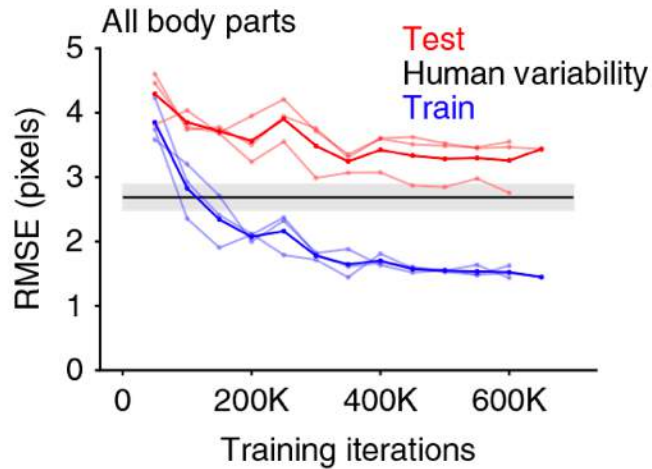
Apports méthodologiques en neurosciences

Estimation fine du **comportement** :

Apports méthodologiques en neurosciences

Estimation fine du **comportement** :

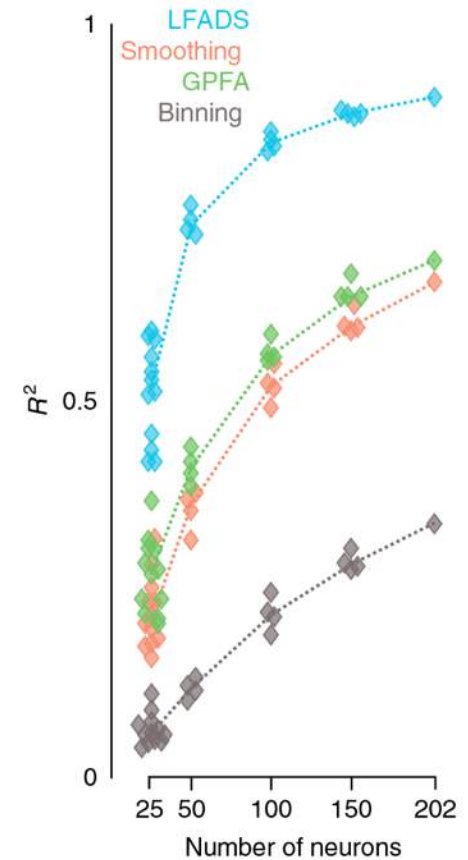
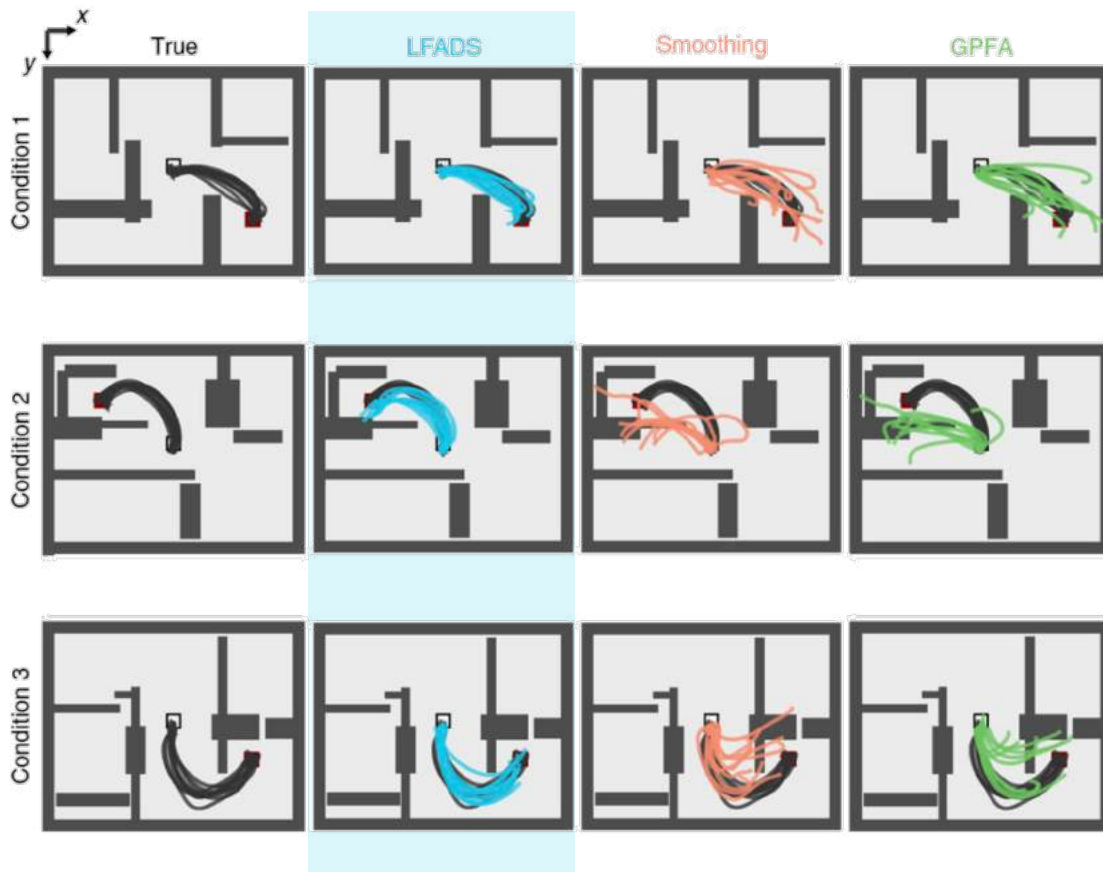
- à partir d'enregistrements vidéo (Mathis et al., 2018)



Apports méthodologiques en neurosciences

Estimation fine du **comportement** :

- à partir d'enregistrements vidéo (Mathis et al., 2018)
- à partir d'enregistrements cérébraux (Pandarinath et al., 2018)



Apports méthodologiques en neurosciences

Outil adapté pour la **psychiatrie** :

Apports méthodologiques en neurosciences

Outil adapté pour la **psychiatrie** :

- prédiction individuelle et multifactorielle possible

Revues récentes :

- Bzdok et Meyer-Lindenberg (2017) *Biol. Psych. CCNI*
- Durstewitz et al. (2019) *Mol. Psych.*
- Poldrack et al. (2019) *JAMA Psych.*
- Koppe et al. (2020) *Neuropsychopharmacology*

Apports méthodologiques en neurosciences

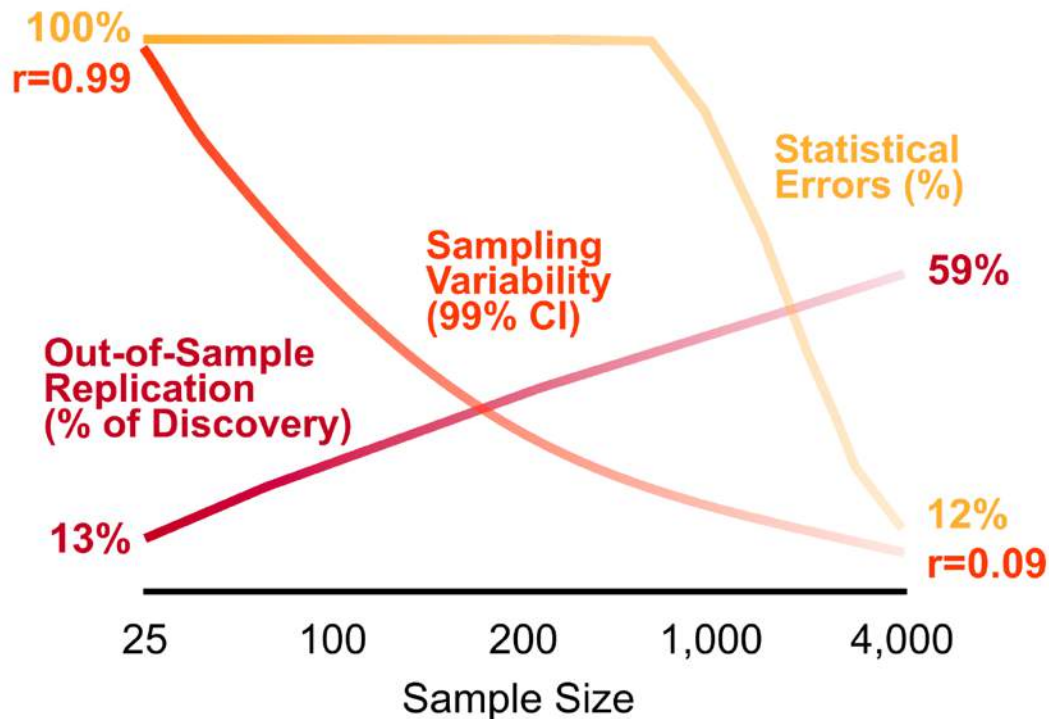
Outil adapté pour la **psychiatrie** :

- prédiction individuelle et multifactorielle possible
- seulement avec des bases de données de très grande taille

Apports méthodologiques en neurosciences

Outil adapté pour la **psychiatrie** :

- prédiction individuelle et multifactorielle possible
- seulement avec des bases de données de très grande taille



Article : Marek et al. (2020) *bioRxiv*

Towards reproducible brain-wide association studies

Apports conceptuels en neurosciences

Apports conceptuels en neurosciences

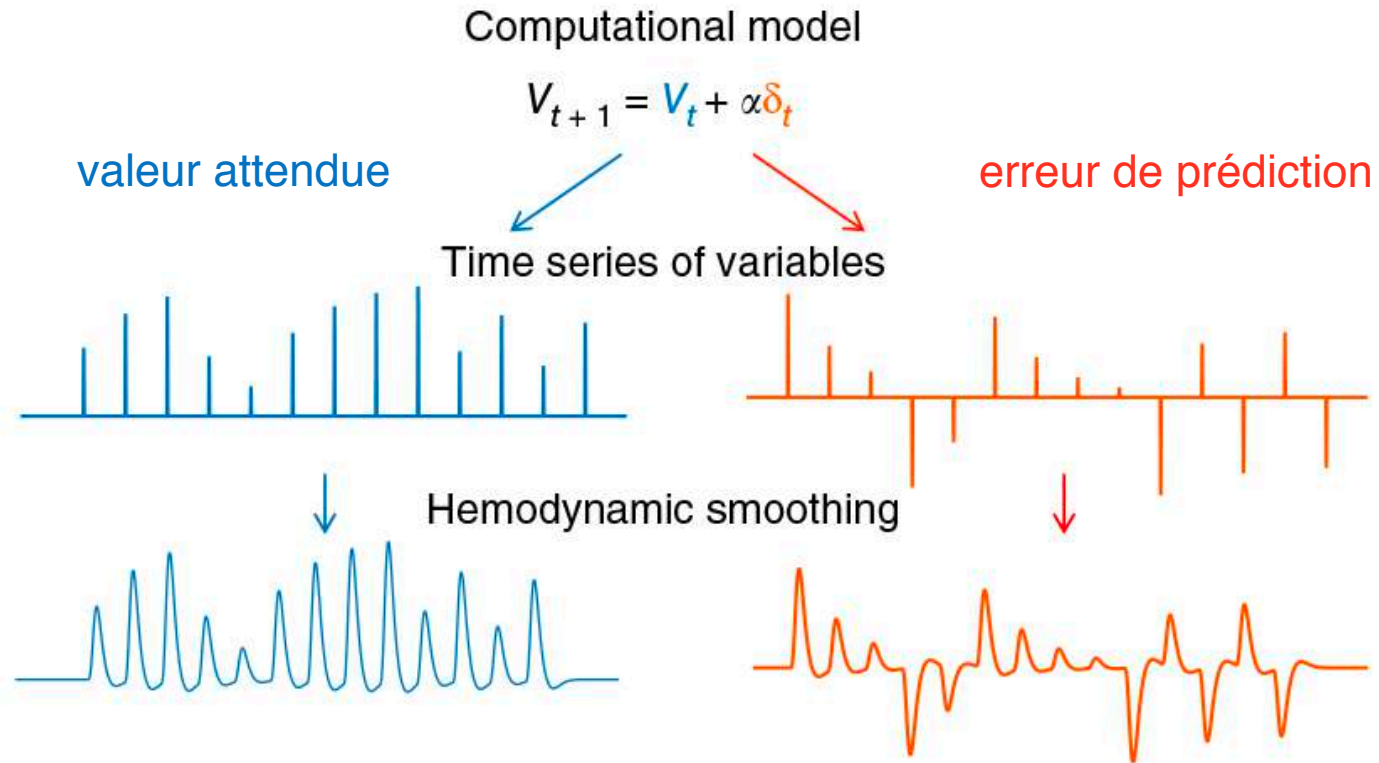
Modélisation computationnelle :

implémentation mathématique de théories cognitives (perception, mémoire, apprentissage, raisonnement) dont les variables latentes sont ajustées au comportement et corrélées à l'activité cérébrale

Apports conceptuels en neurosciences

Modélisation computationnelle :

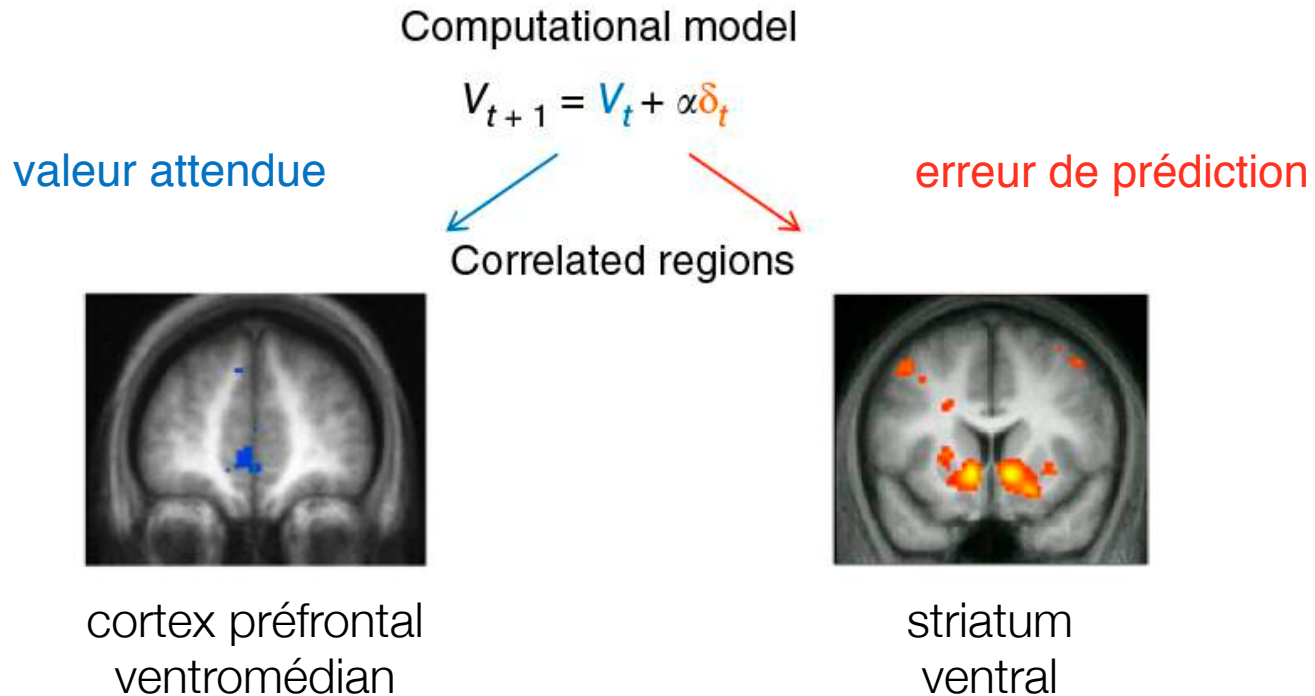
implémentation mathématique de théories cognitives (perception, mémoire, apprentissage, raisonnement) dont les variables latentes sont ajustées au comportement et corrélées à l'activité cérébrale



Apports conceptuels en neurosciences

Modélisation computationnelle :

implémentation mathématique de théories cognitives (perception, mémoire, apprentissage, raisonnement) dont les variables latentes sont ajustées au comportement et corrélées à l'activité cérébrale



Apports conceptuels en neurosciences

Modélisation computationnelle :

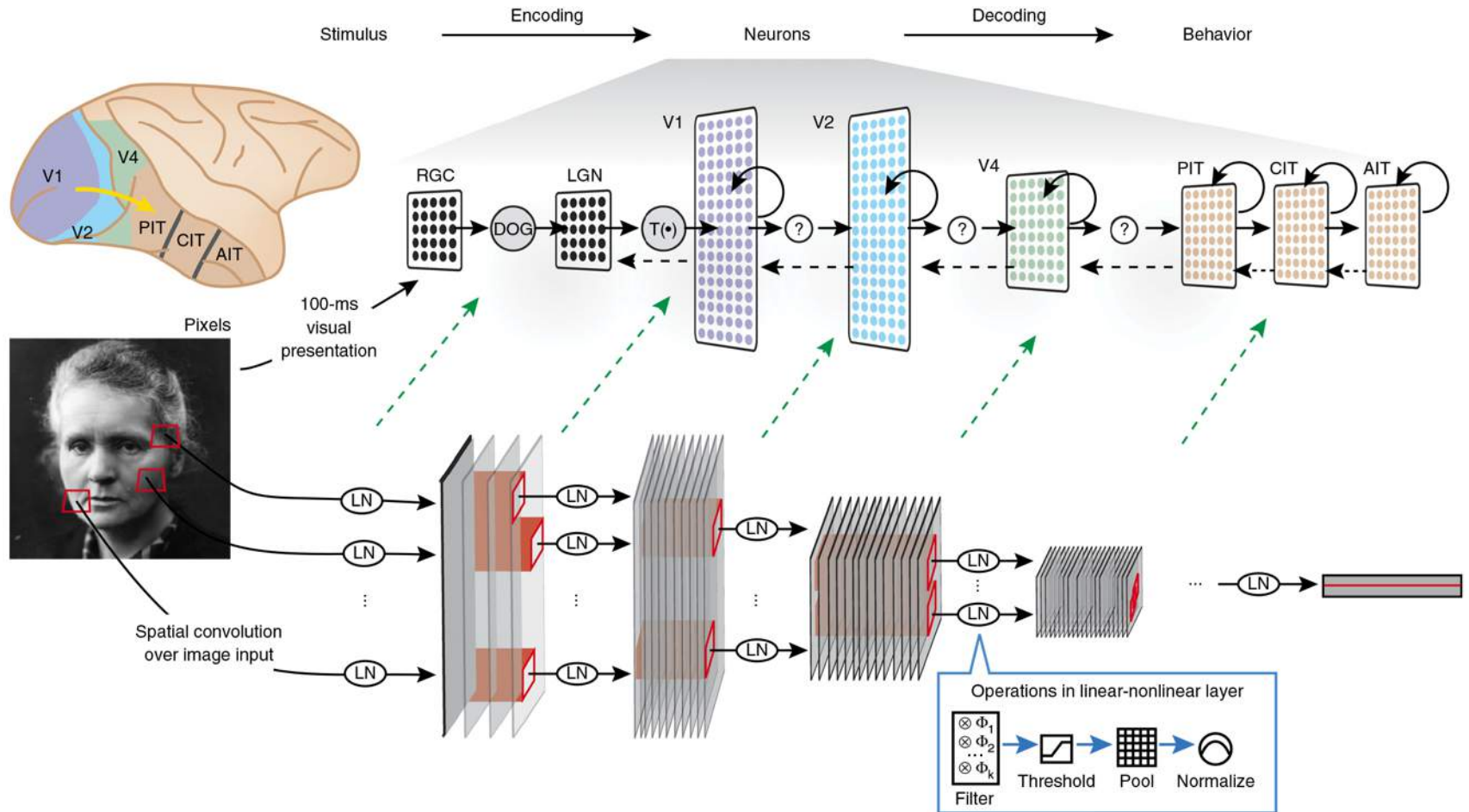
implémentation mathématique de théories cognitives (perception, mémoire, apprentissage, raisonnement) dont les variables latentes sont ajustées au comportement et corrélées à l'activité cérébrale

Réseaux de neurones artificiels comme :

- modèle computationnel du fonctionnement cérébral
Yamins et DiCarlo (2016) *Nat. Neurosci.*
- cadre de travail conceptuel pour les neurosciences
Richards et al. (2019) *Nat. Neurosci.*

Apports conceptuels en neurosciences

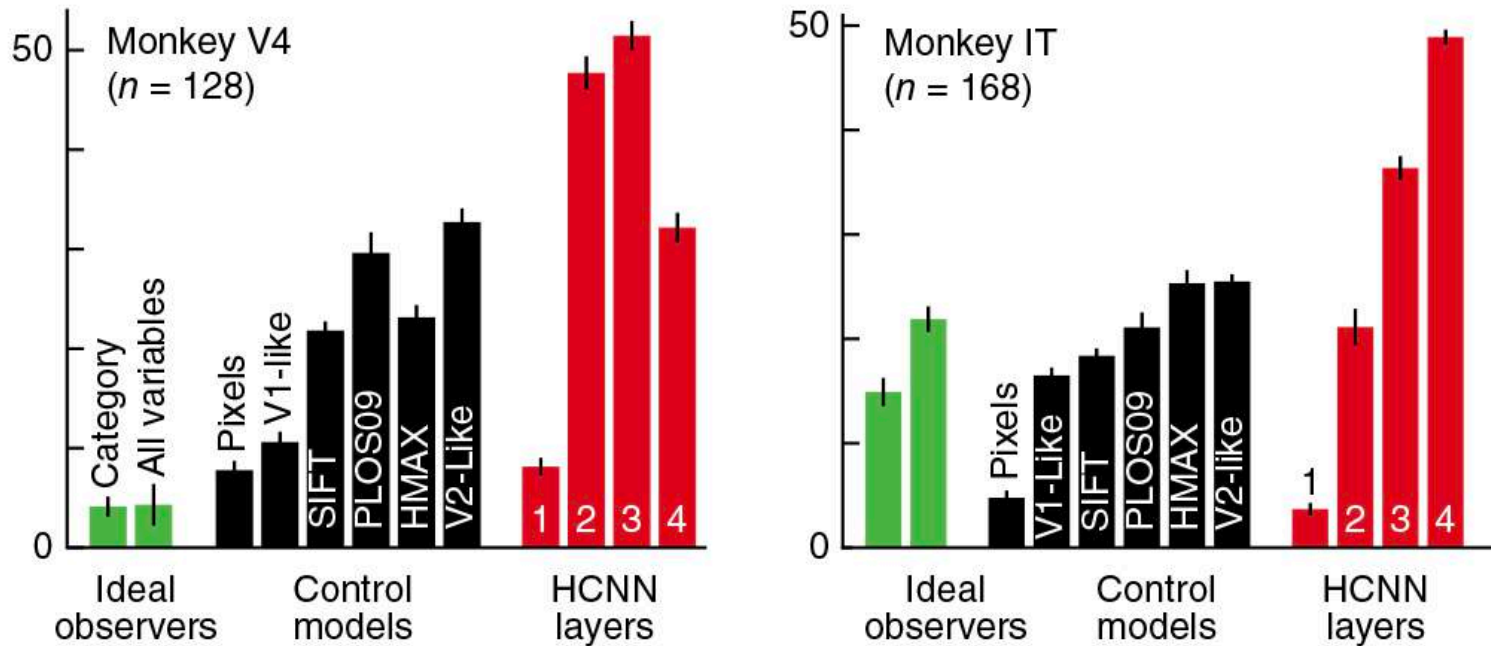
Succès : modélisation du cortex visuel (Yamins et al., 2014)



Apports conceptuels en neurosciences

Succès : modélisation du cortex visuel (Yamins et al., 2014)

variance neurale expliquée par chaque modèle



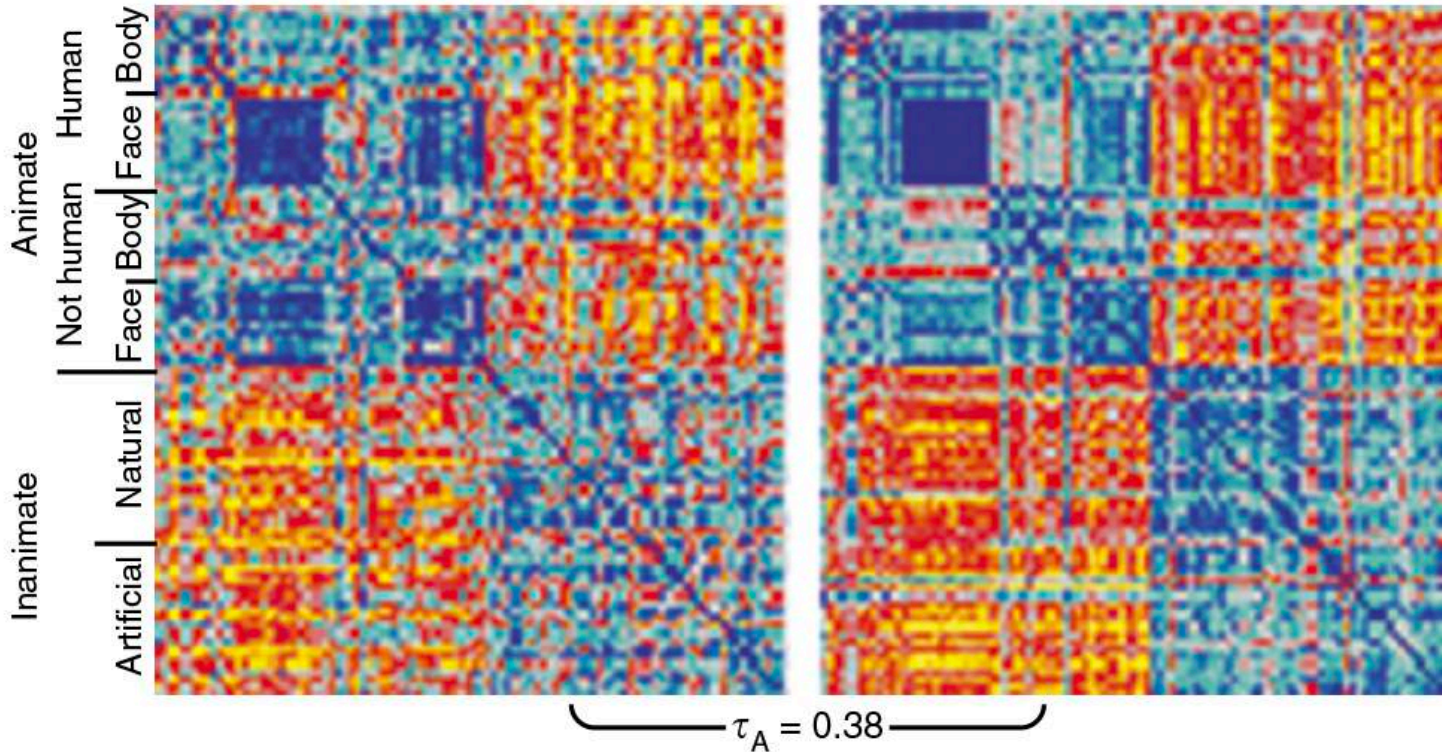
Apports conceptuels en neurosciences

Succès : modélisation du cortex visuel (Yamins et al., 2014)

matrices de dissimilarité représentationnelle

Human IT (fMRI)

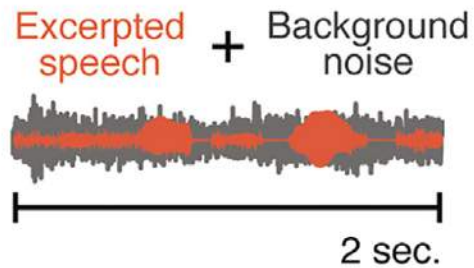
HCNN model



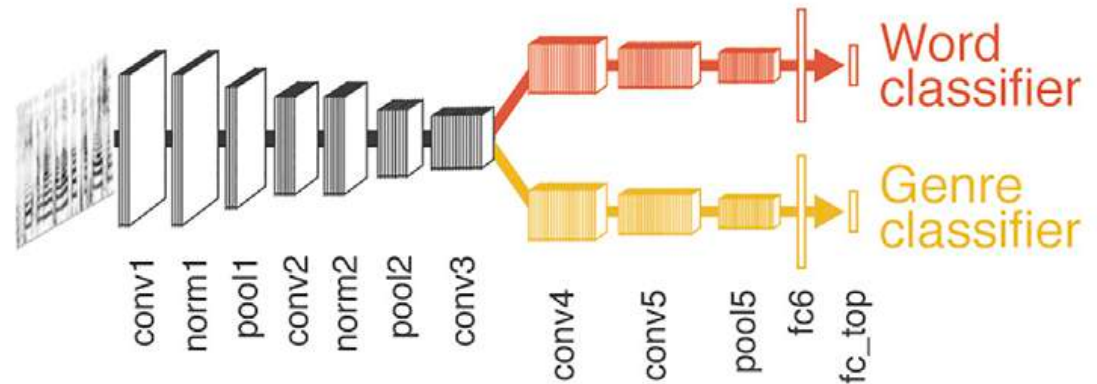
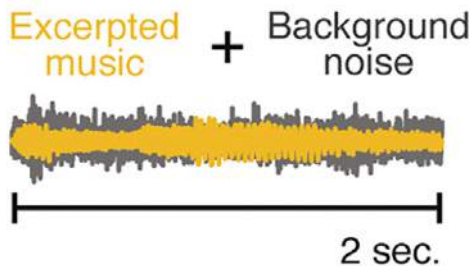
Apports conceptuels en neurosciences

Succès : modélisation du cortex visuel (Yamins et al., 2014)
cortex auditif (Kell et al., 2018)

Word recognition task
587-way AFC

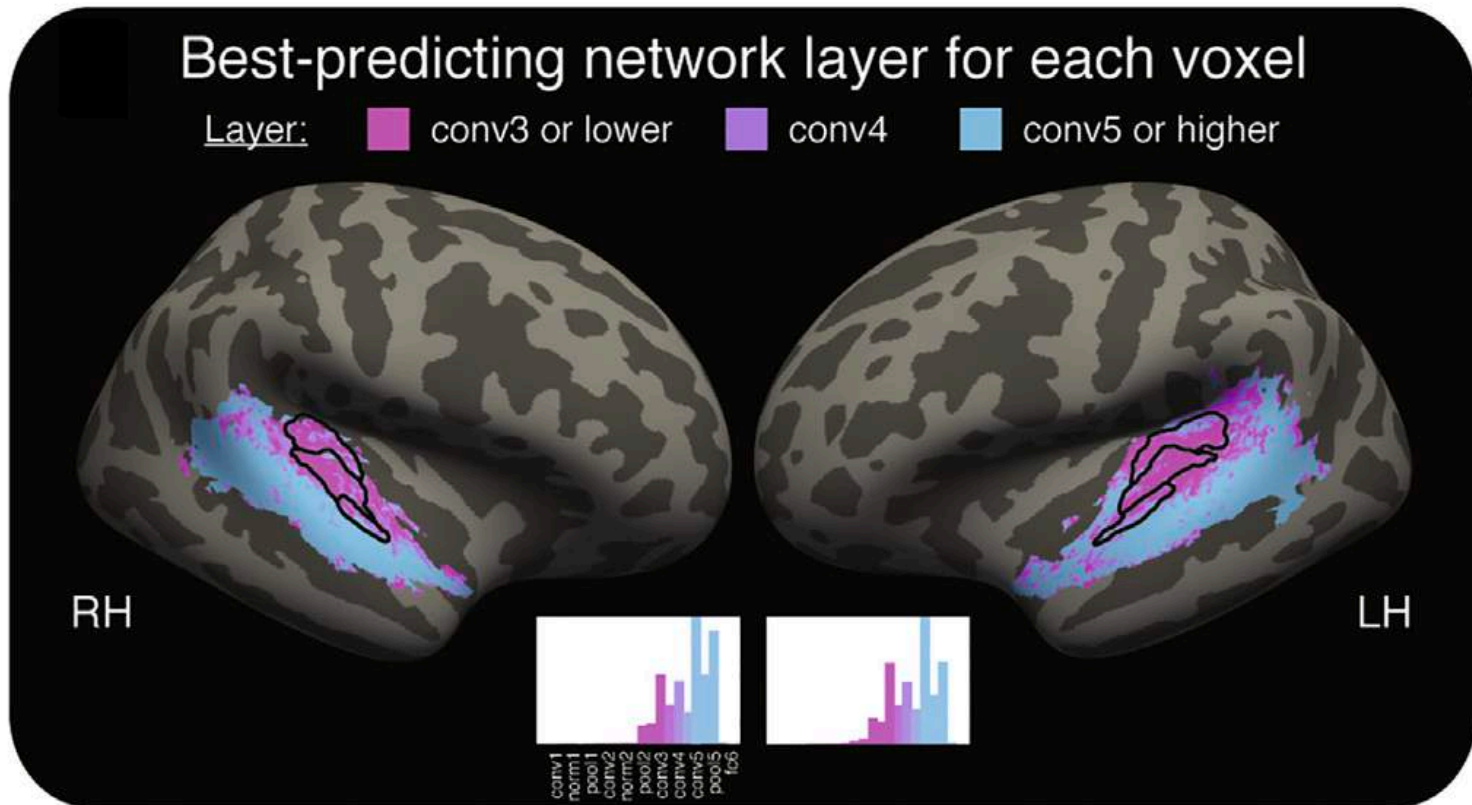


Musical genre task
41-way AFC



Apports conceptuels en neurosciences

Succès : modélisation du cortex visuel (Yamins et al., 2014)
cortex auditif (Kell et al., 2018)



Défis et verrous méthodologiques

Défis et verrous méthodologiques

Reproductibilité des résultats obtenus

Défis et verrous méthodologiques

Reproductibilité des résultats obtenus

Variabilité des méthodes d'analyse

en IRMf : NARPS (2020) *Nature*

en EEG : Roy et al. (2019) *J. Neural Eng.*

Solution : standardisation du rapport des analyses, code en ligne,
données libres d'accès (protection des données)

Défis et verrous méthodologiques

Reproductibilité des résultats obtenus

Variabilité des méthodes d'analyse

en IRMf : NARPS (2020) *Nature*

en EEG : Roy et al. (2019) *J. Neural Eng.*

Solution : standardisation du rapport des analyses, code en ligne, données libres d'accès (protection des données)

Puissance statistique insuffisante

Marek et al. (2020) *bioRxiv*

Solution : techniques de réduction de dimensionnalité, bases de données de très grande taille libres d'accès

Défis et verrous méthodologiques

Interprétabilité des résultats obtenus

Défis et verrous méthodologiques

Interprétabilité des résultats obtenus



Analyses circulaires

Présélection de données non-indépendante

Défis et verrous méthodologiques

Interprétabilité des résultats obtenus



Analyses circulaires

Présélection de données non-indépendante



Confusion entre prédiction et causalité

Méthodes sujettes aux biais de confusion classiques

Défis et verrous méthodologiques

Interprétabilité des résultats obtenus



Analyses circulaires

Présélection de données non-indépendante



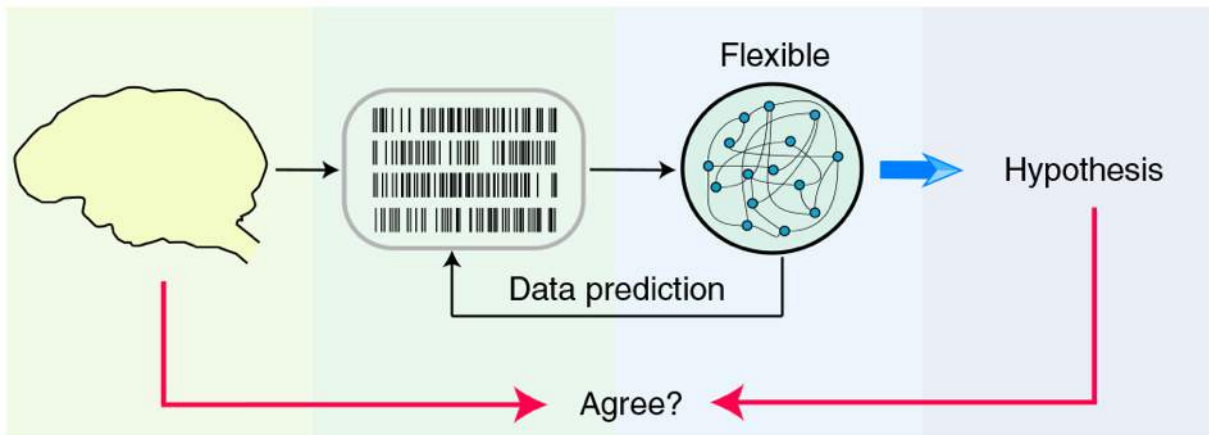
Confusion entre prédiction et causalité

Méthodes sujettes aux biais de confusion classiques



Prédictions correctes, interprétation erronée

Handicap des modèles flexibles (Genkin et al., 2020)



Défis et verrous méthodologiques

Interprétabilité des résultats obtenus



Analyses circulaires

Présélection de données non-indépendante



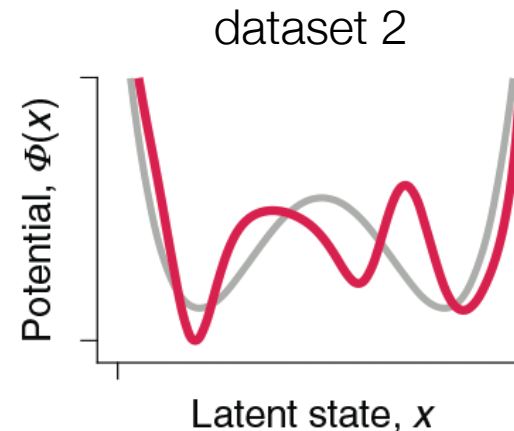
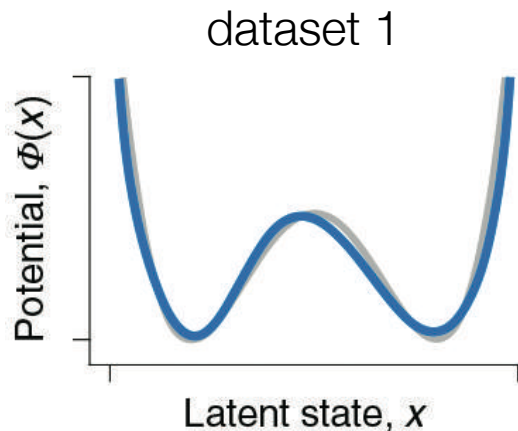
Confusion entre prédiction et causalité

Méthodes sujettes aux biais de confusion classiques



Prédictions correctes, interprétation erronée

Handicap des modèles flexibles (Genkin et al., 2020)



Défis et verrous conceptuels

Défis et verrous conceptuels

Quel **objet/niveau** d'étude ?

Défis et verrous conceptuels

Quel **objet/niveau d'étude** ?

Neurosciences cognitives computationnelles

Kriegeskorte et Douglas (2018) *Nat. Neurosci.*

Cible : opérations et représentations cérébrales

Focus : fonctionnement du système

Défis et verrous conceptuels

Quel **objet/niveau d'étude** ?

Neurosciences cognitives computationnelles

Kriegeskorte et Douglas (2018) *Nat. Neurosci.*

Cible : opérations et représentations cérébrales

Focus : fonctionnement du système

ou

Cadre de travail du deep learning (inspiré de l'IA)

Richards et al. (2019) *Nat. Neurosci.*

Cible : architecture, règle d'apprentissage, fonction d'objectif

Focus : performance du système

Défis et verrous conceptuels

L'intelligence : un problème d'**ingénierie cognitive** ?

Défis et verrous conceptuels

L'intelligence : un problème d'**ingénierie cognitive** ?



Faible résilience cognitive de l'IA moderne

Des perturbations légères trompent les réseaux de neurones



Défis et verrous conceptuels

L'intelligence : un problème d'**ingénierie cognitive** ?



Faible résilience cognitive de l'IA moderne

Des perturbations légères trompent les réseaux de neurones

Corrections proposées :

1. entraîner les réseaux sur toutes les perturbations possibles
impossible en pratique
2. sophistication des réseaux pour gérer les perturbations
Richards et al. (2019) *Nat. Neurosci.*

Défis et verrous conceptuels

L'**intelligence** : un problème d'**ingénierie cognitive** ?

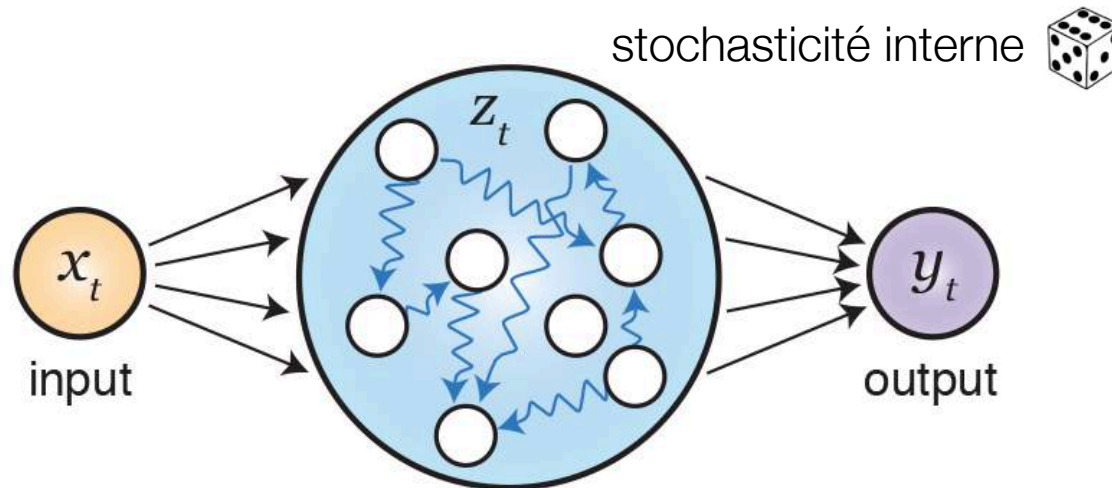


Faible résilience cognitive de l'IA moderne

Des perturbations légères trompent les réseaux de neurones

Corrections proposées :

1. entraîner les réseaux sur toutes les perturbations possibles impossible en pratique
2. sophistication des réseaux pour gérer les perturbations
Richards et al. (2019) *Nat. Neurosci.*



Défis et verrous conceptuels

L'intelligence : un problème d'ingénierie cognitive ?

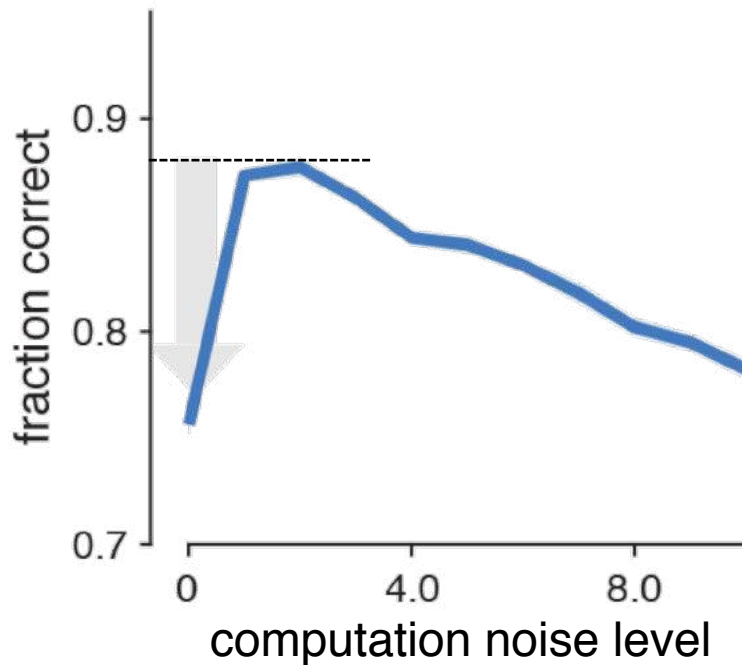


Faible résilience cognitive de l'IA moderne

Des perturbations légères trompent les réseaux de neurones

Findling et Wyart (2020)

raisonnement statistique



Défis et verrous conceptuels

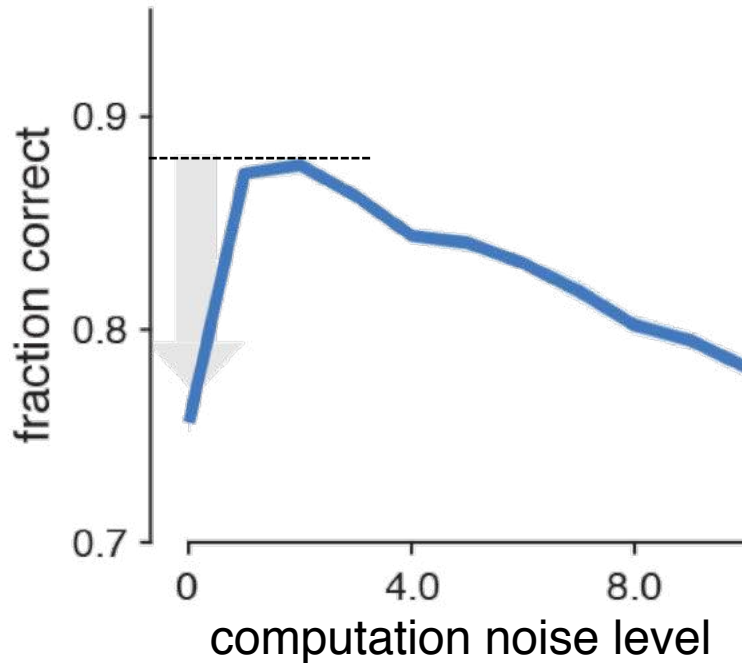
L'intelligence : un problème d'ingénierie cognitive ?



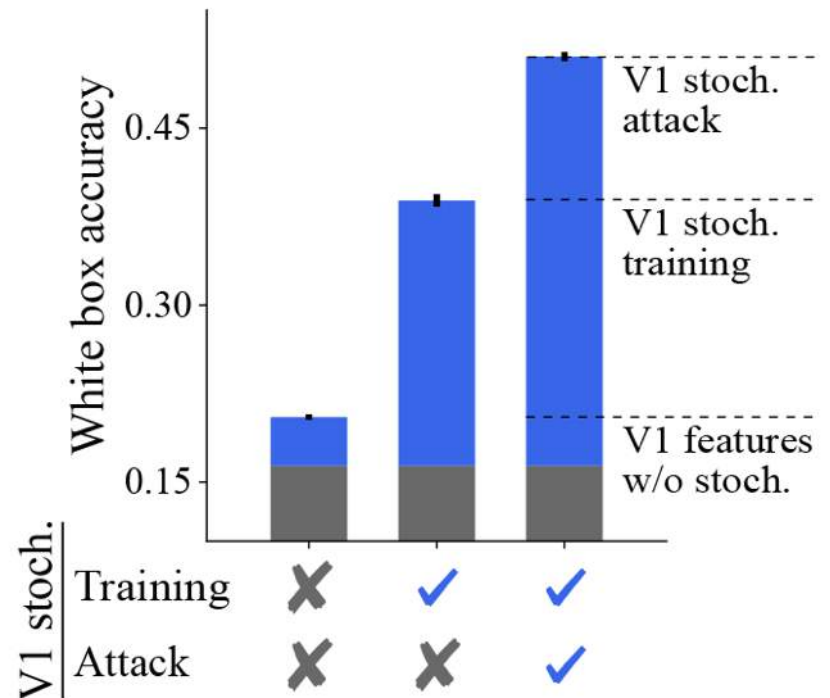
Faible résilience cognitive de l'IA moderne

Des perturbations légères trompent les réseaux de neurones

Findling et Wyart (2020)
raisonnement statistique



Capello et al. (2020)
reconnaissance visuelle



Conclusions

Conclusions

Deux types d'apports en neurosciences :

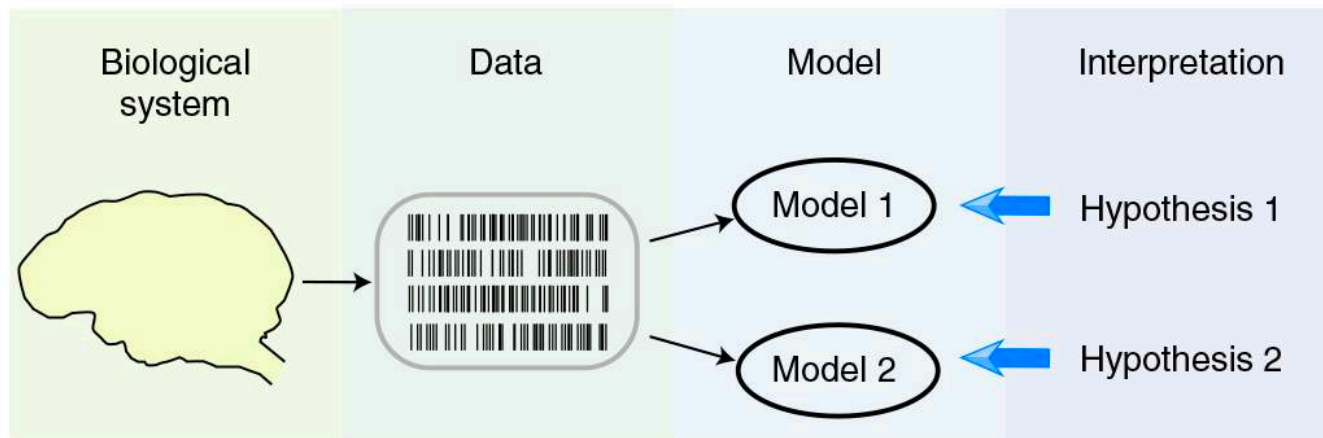
- 1. apprentissage machine** comme outil méthodologique pour l'analyse de données expérimentales
- 2. intelligence artificielle** comme outil conceptuel pour étudier le fonctionnement cérébral et la cognition

Conclusions

Deux types d'apports en neurosciences :

- 1. apprentissage machine** comme outil méthodologique pour l'analyse de données expérimentales
- 2. intelligence artificielle** comme outil conceptuel pour étudier le fonctionnement cérébral et la cognition

Défis méthodologiques liés à la reproductibilité des résultats
l'interprétabilité des résultats



Prospective en sciences des données, IA et biologie
Mercredi 2 décembre 2020

Sciences des données et intelligence artificielle : apports en neurosciences

Groupe de travail cet après-midi (14h00-15h00)

Science des données et IA en neurosciences et sciences cognitives

Modératrice : Catherine Tallon-Baudry