

# Variabilités émotionnelle et neurophysiologique dans la perception olfactive : étude par l'intelligence artificielle

---

Maëlle Moranges

Directeurs de thèse : Moustafa Bensafi, Marc Plantevit

Membres du jury : Peggy Cellier, Caroline Huart, Céline Rouveiro , Denis Pierron, Mohand-Saïd Hacid



SOUTENANCE DE THÈSE  
18/01/23



# Les émotions

## Définition

---

Une réponse émotionnelle est de nature brève et intense et se caractérise par 3 attributs :

- Des réactions comportementales et expressives.
- Des réactions neurophysiologiques.
- Des réactions cognitives et une expérience subjective.

# Les émotions

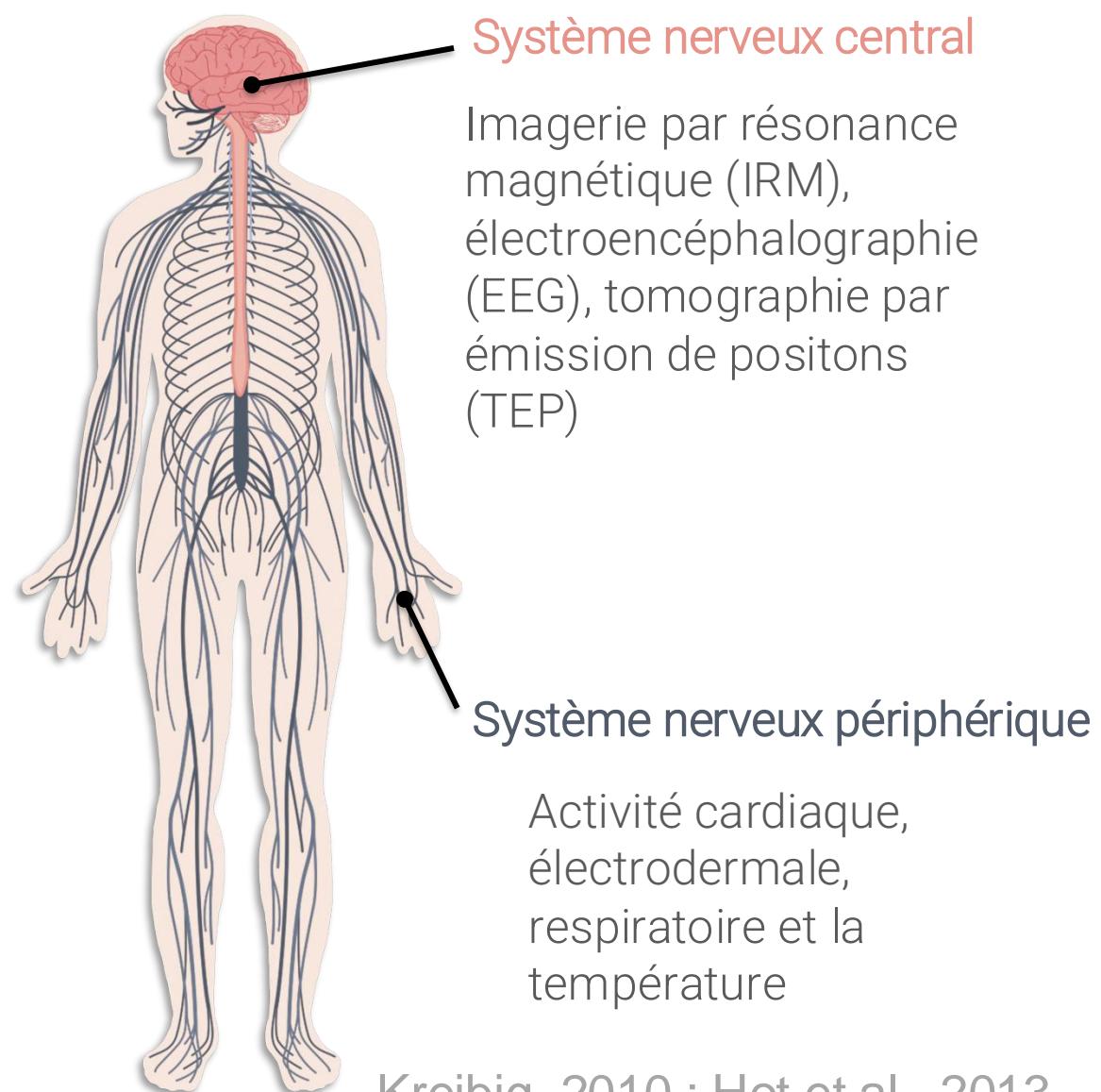
## Mesures

### Expressions

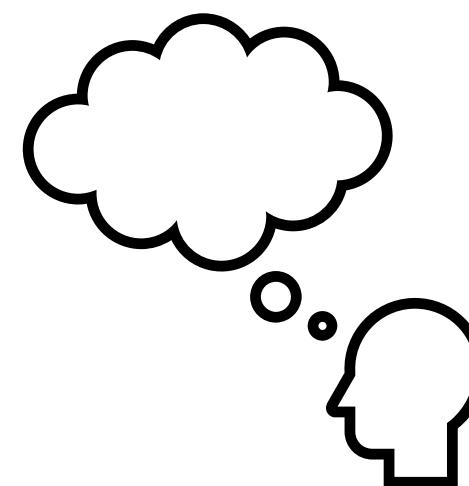


Electromyogramme,  
Techniques d'observations :  
"Facial Action Coding System",  
"Maximally discriminative facial  
motion coding system"

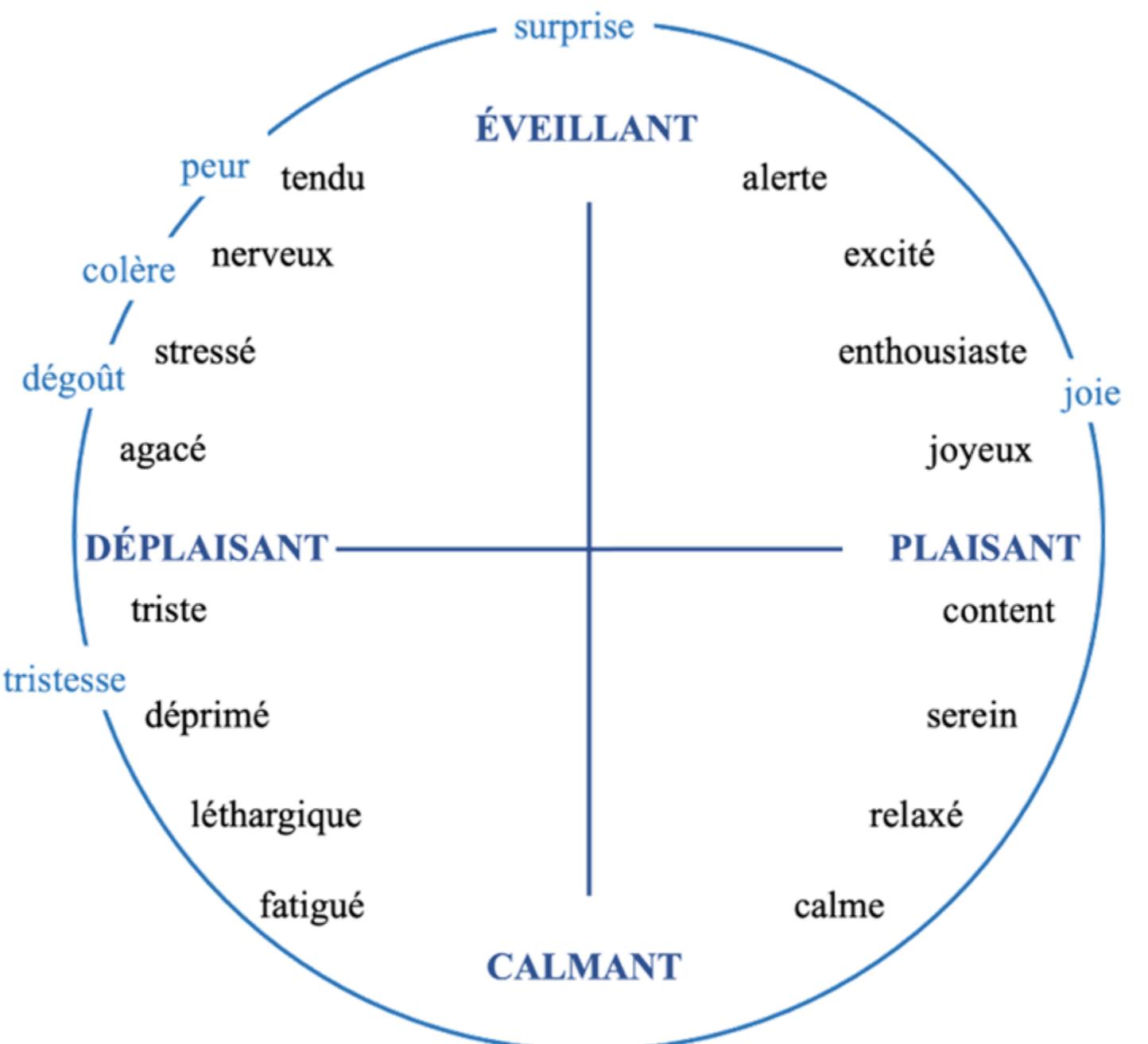
### Réactions neurophysiologiques



### Évaluations cognitives



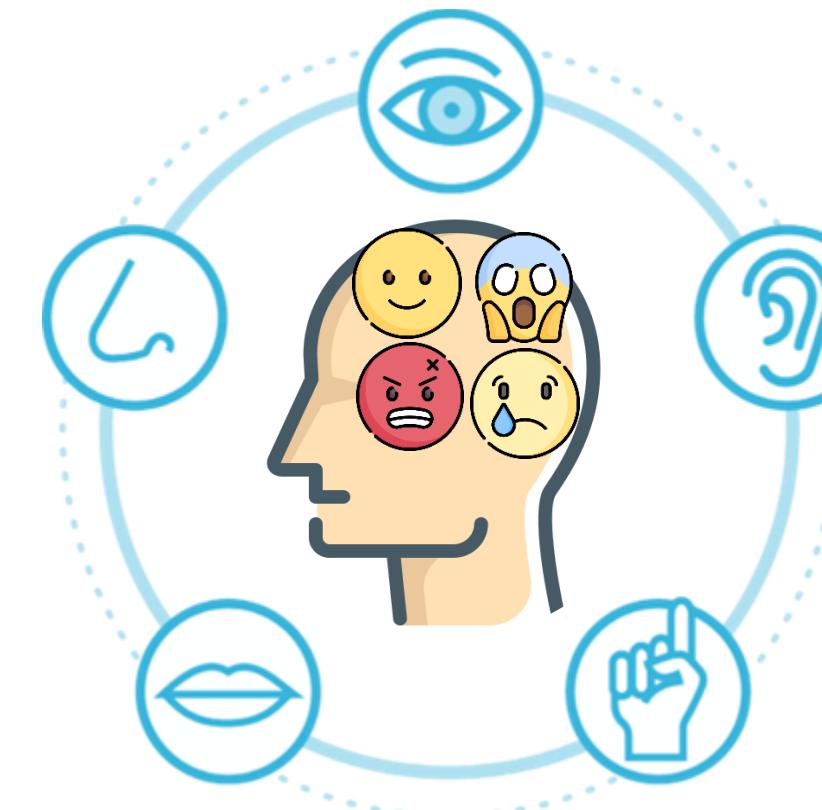
Rapport oral ou écrit,  
questionnaire,  
échelles de notations



# Les émotions

## Modèles

- Les émotions de base seraient universelles, en nombre limité et auraient chacune un rôle adaptatif dans l'évolution.
- Chaque émotion serait décrite sur deux dimensions indépendantes : la valence (plaisir/déplaisir) et le degré d'éveil (stimulant/calmant). Les émotions proches sur la structure circulaire sont corrélées positivement et celles placées à 180° sont corrélées négativement.



# Les émotions

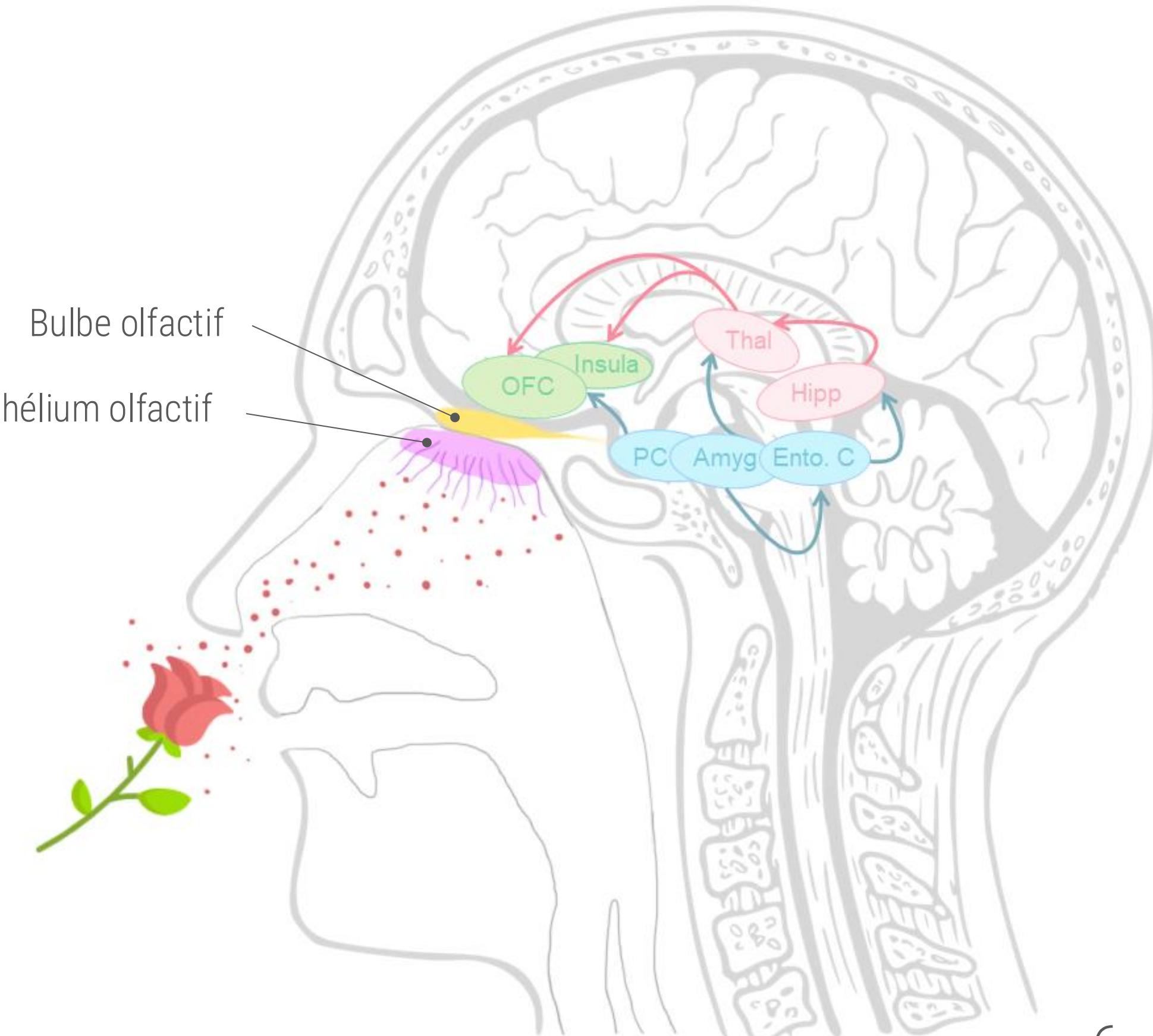
## Déclencheurs

- Stimulations internes. Exemples : faim, maux de ventre, souvenir
- Stimulations environnementales traitées par des modalités sensorielles. Exemples : une musique, une odeur

# L'olfaction

## Fonctionnement

Une **odeur** est une perception qui résulte de l'interaction entre une molécule ou un mélange de molécules émises par une source dans l'environnement et nos récepteurs olfactifs présents dans notre cavité nasale.



# L'olfaction

## Étude de l'activité du système nerveux central



IRMf



EEG

Régions impliquées dans la perception hédonique des odeurs :

- l'amygdale (Royet 2000 ; Royet , 2003)
- cortex piriforme antérieur (Gottfried, 2002 ; Royet , 2003)
- l'insula (Royet , 2003)
- cortex orbitofrontal (Anderson , 2003 ; Royet , 2003 ; Kringlebach , 2005)

Zones davantage activées par les odeurs déplaisantes que par les odeurs plaisantes :

- amygdale (Zald , 19997 ; Gottfried, 2002 ; Royet , 2003)
- l'insula gauche (Royet , 2003 ; Bensafi , 2007)
- cortex piriforme antérieur gauche (Gottfried, 2003 ; Bensafi , 2007)

- La valence des odeurs semble être représentée dans les lobes frontaux et temporaux (Kroupi, 2016)
- Activation frontale droite unilatérale pour les odeurs déplaisantes (Yazdani, 2012 ; Kroupi 2014)
- Activation frontale gauche unilatérale pour les odeurs plaisantes (Kline, 2000)
- Traitement plus rapide des odeurs déplaisantes que plaisantes (Kato, 2022)
- Les classifieurs discriminent les odeurs déplaisantes et plaisantes au niveau des bandes de fréquence  $\delta$ ,  $\beta$  et  $\gamma$  (Yazdani, 2012 ; Kroupi 2014 ; Kroupi, 2016 ; Becerra, 2018 )

# L'olfaction

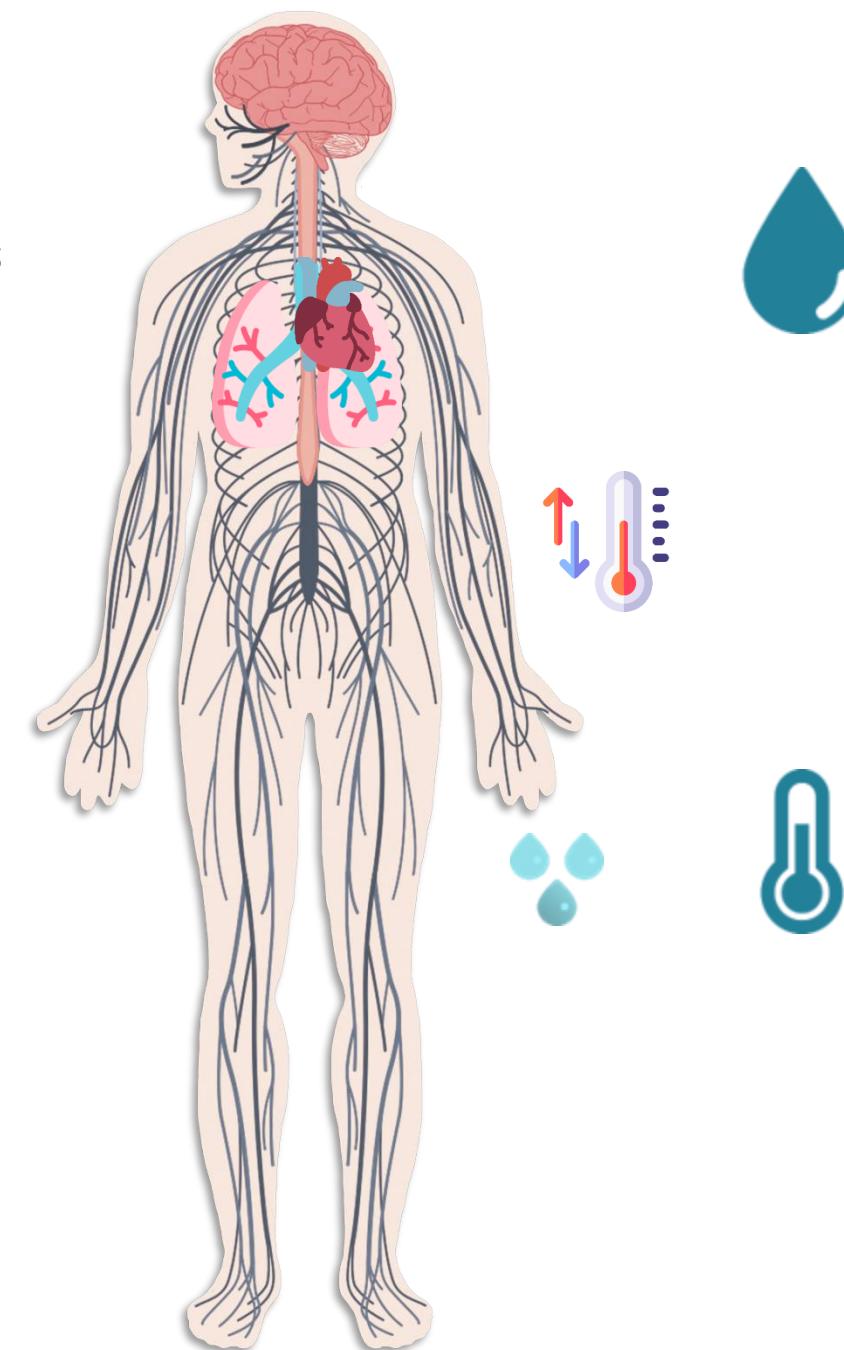
## Étude de l'activité du système nerveux autonome



Plus une odeur est déplaisante (resp. plaisante) plus le rythme cardiaque augmente (resp. diminue).  
(Alaoui-Ismaili, 1997 ; Bensafi, 2002 ; He 2014)



Les odeurs plaisantes augmentent le volume d'air inspiré, diminuent la fréquence respiratoire et les odeurs déplaisantes diminuent le volume d'air inspiré et augmentent la fréquence respiratoire.  
(Masaoka , 2005)



Les odeurs déplaisantes se caractérisent par une réponse électrodermale plus longue (Alaoui-Ismaili, 1997 ; Robin , 1998 ; Brand , 200 ; Masaoka, 2005 ; Glass , 2014) et plus élevée en termes d'amplitude que les odeurs plaisantes. (Brauchli , 1995 ; He 2014).

La température des doigts était plus élevée pour les odeurs plaisantes que déplaisantes. (de Wijk 2012, He 2014)

# L'olfaction

## Fonctions

- la prévention d'un danger
- l'alimentation
- la communication sociale



# L'olfaction

## Variabilité inter-individuelle

Une même odeur peut être perçue différemment par des individus distincts.

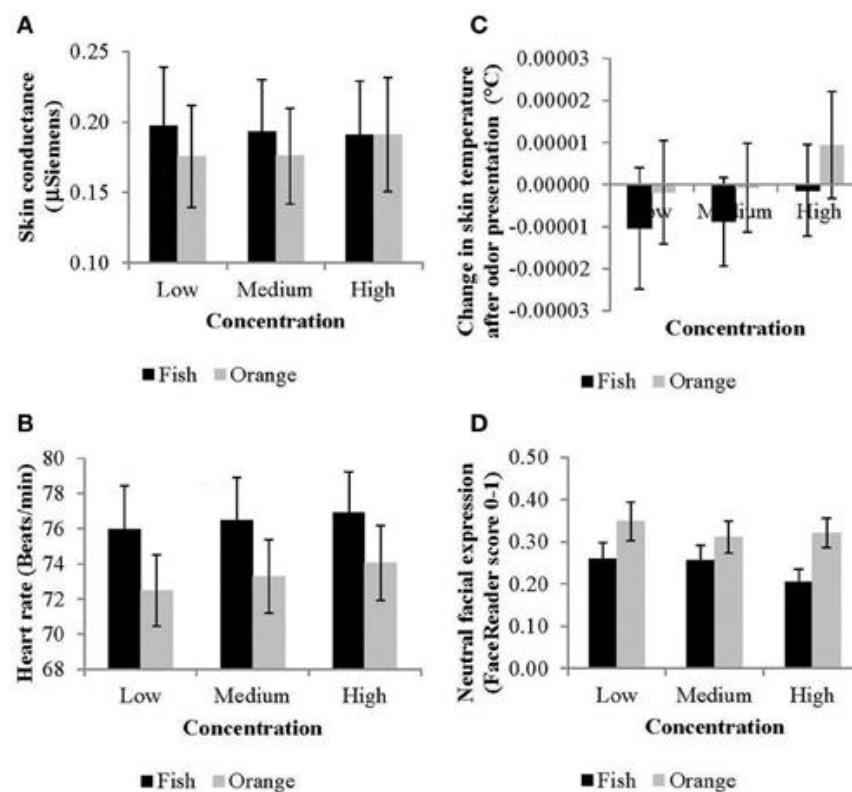


# Étude de la neurophysiologie dans la perception olfactive

L'absence de la prise en compte de la variabilité individuelle

## Tests statistiques

Comparaison de moyennes/médianes : t-test, ANOVA, MANOVA, Kruskall-Wallis, Mann-Whitney etc.



## Classification

Construction de modèles classifiant tous les éléments du jeu de données : ANN, SVM, etc.

Classes	Pleasant	Unpleasant	Neutral
Pleasant	0.26	0.34	0.4
Unpleasant	0.27	0.31	0.42
Neutral	0.26	0.36	0.38

TABLE 2 Confusion Matrix for All Subjects Using HRV Features

Classes	Pleasant	Unpleasant	Neutral
Pleasant	0.54	0	0.46
Unpleasant	0	0.999	0.001
Neutral	0.54	0	0.46

TABLE 1 Confusion Matrix for All Subjects Using EEG Features

Physio : de Wijk, 2012 ; He, 2014

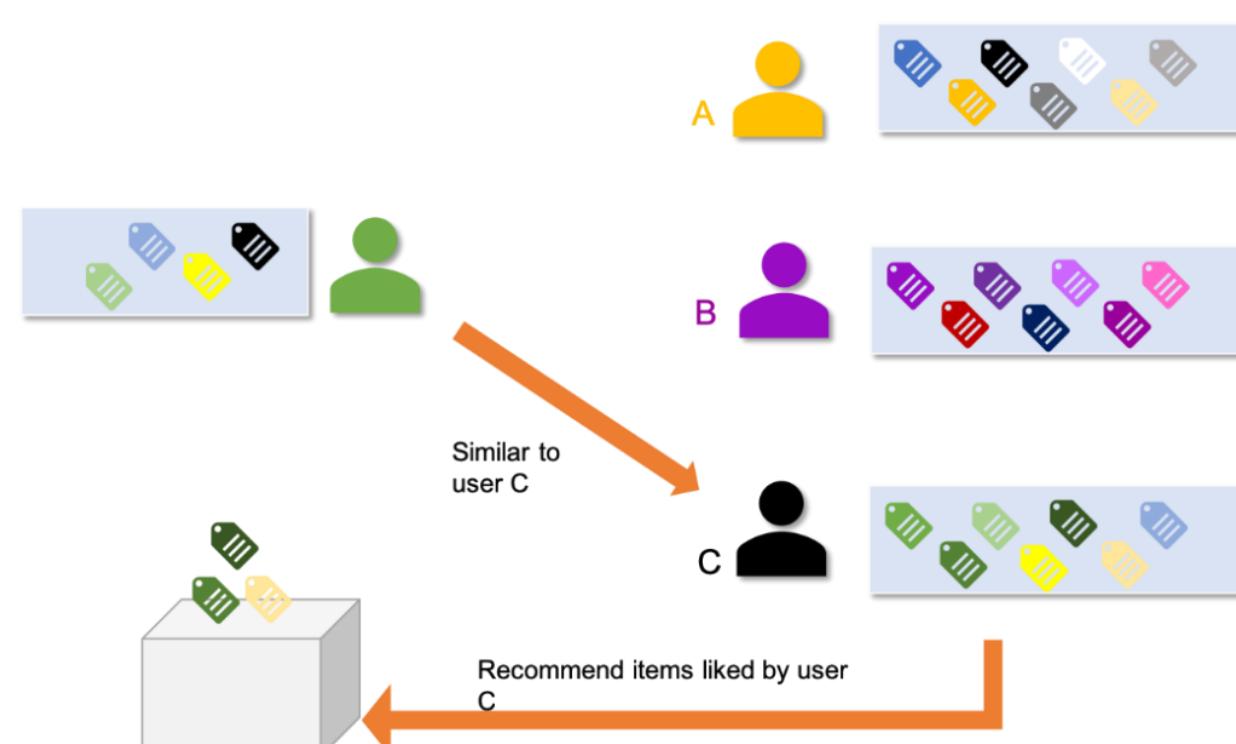
IRM : Royet 2003, Anderson 2003 ; Bensafi 2007

EEG : Kline, 2000 ; Gottfried 2002 ; Rolls 2003 ; Howard 2009; Jin 2015

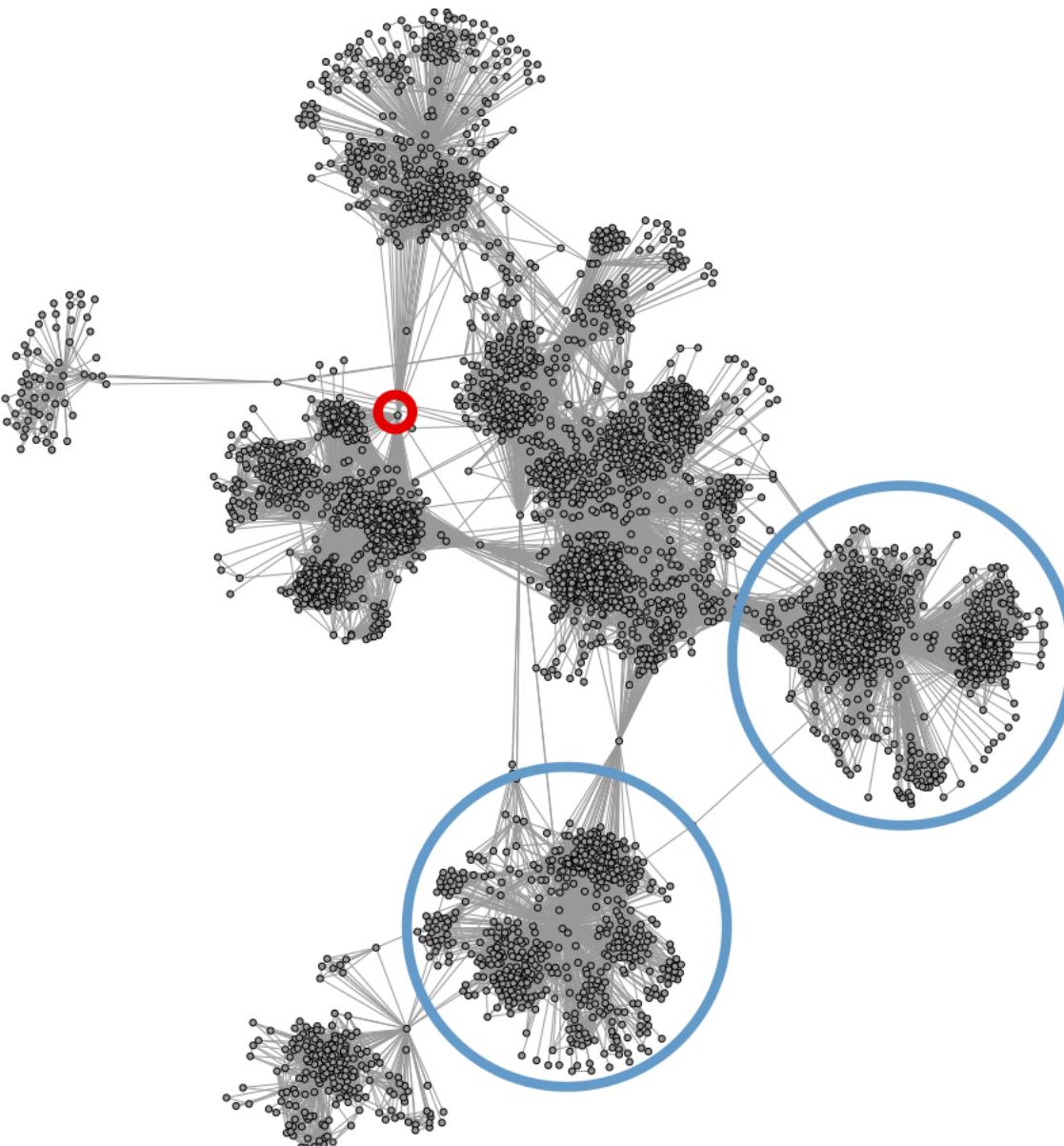
Physio : Kroupi 2016

EEG : Yazdani , 2012 ; Becerra, 2018 ; Kato 2022

# Études où l'on cherche à comprendre la variabilité



Systèmes de recommandations  
(règles d'association, clustering, classifieurs)  
(Isinkaye et al., 2015)



Détection de communautés  
(Creusefond, 2017)

Individuals (Parliamentarians)				Entities (voting sessions)		
<i>idi</i>	Party	State	Age	<i>ide</i>	Date	Themes
<i>i<sub>1</sub></i>	Democrats	New York	32	<i>e<sub>1</sub></i>	2016/04/16	1.05 National Budget
<i>i<sub>2</sub></i>	Democrats	Florida	41	<i>e<sub>2</sub></i>	2016/05/16	5.03 Employee benefits
<i>i<sub>3</sub></i>	Republicans	Texas	45	<i>e<sub>3</sub></i>	2016/06/16	7 Environment
<i>i<sub>4</sub></i>	Republicans	Chicago	39	<i>e<sub>4</sub></i>	2016/06/16	1.20 Citizen's rights; 20.11 Gov. Adm. Issues
<i>i<sub>5</sub></i>	Republicans	Washington	28	<i>e<sub>5</sub></i>	2016/07/03	20.11 Gov. Adm. Issues
<i>i<sub>6</sub></i>	Republicans	Illinois	51	<i>e<sub>6</sub></i>	2016/07/29	20.11 Gov. Adm. Issues

**Party = Republicans**

**Context** = Government and Administrative Issues related voting sessions

Group	BD	e <sub>1</sub>			e <sub>2</sub>			e <sub>3</sub>			e <sub>4</sub>			e <sub>5</sub>			e <sub>6</sub>		
		e <sub>1</sub>	e <sub>2</sub>	e <sub>3</sub>	e <sub>4</sub>	e <sub>5</sub>	e <sub>6</sub>												
<i>i<sub>1</sub></i>	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?			
<i>i<sub>2</sub></i>	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?			
<i>i<sub>3</sub></i>	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?			
<i>i<sub>4</sub></i>	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?			
<i>i<sub>5</sub></i>	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?			
<i>i<sub>6</sub></i>	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?			

**Context**

agreement      disagreement

Comprendre l'accord ou le désaccord inter et intra-population  
(Belfodil, 2020)



# Science des données

## L'exploration de données

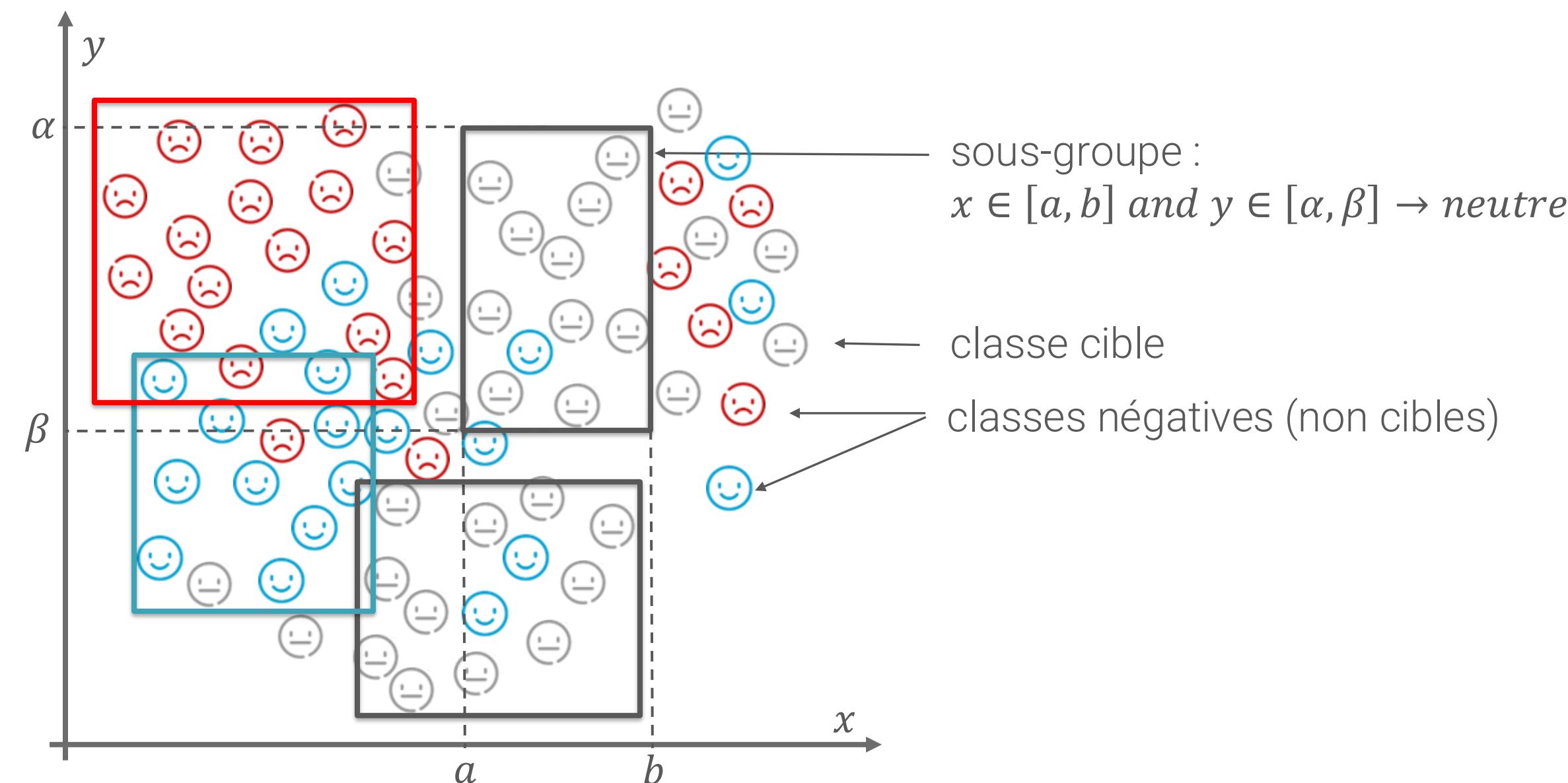
**Data science** : terme générique utilisé pour décrire les différents aspects de traitement des données : collecte, nettoyage, analyse et visualisation des résultats.

**Data mining** : extraction à partir de données de nouvelles connaissances non triviales, implicites, potentiellement utiles et exploitables.

# Proposition

## Découverte de sous-groupes

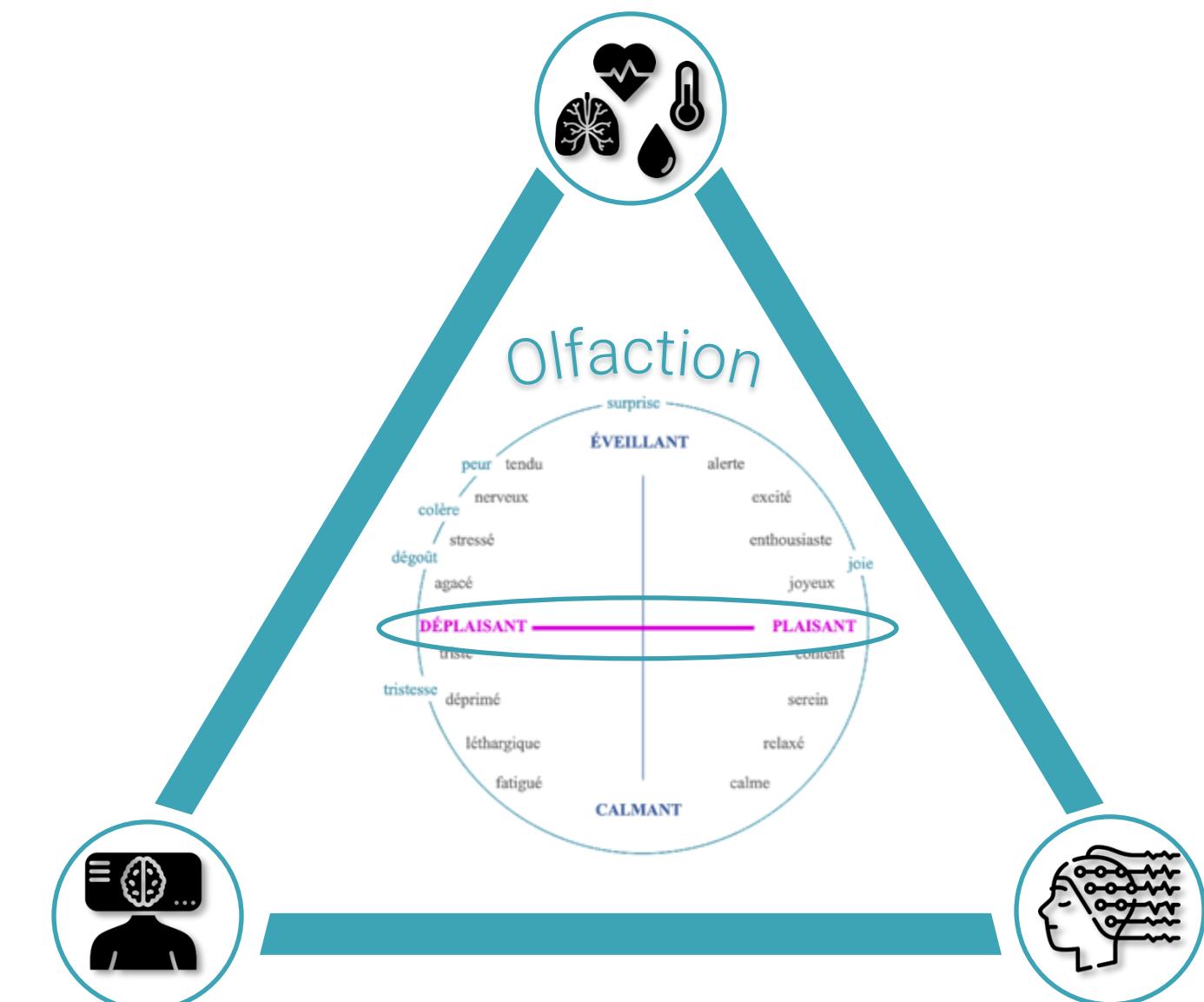
Les algorithmes de découverte de sous-groupes peuvent permettre la description et l'identification de motifs neurophysiologiques associés à un état affectif spécifique.



# Objectif principal

Extraire des connaissances scientifiques sur la représentation hédonique des odeurs au sein du système nerveux tout en prenant en compte la variabilité inter-individuelle.

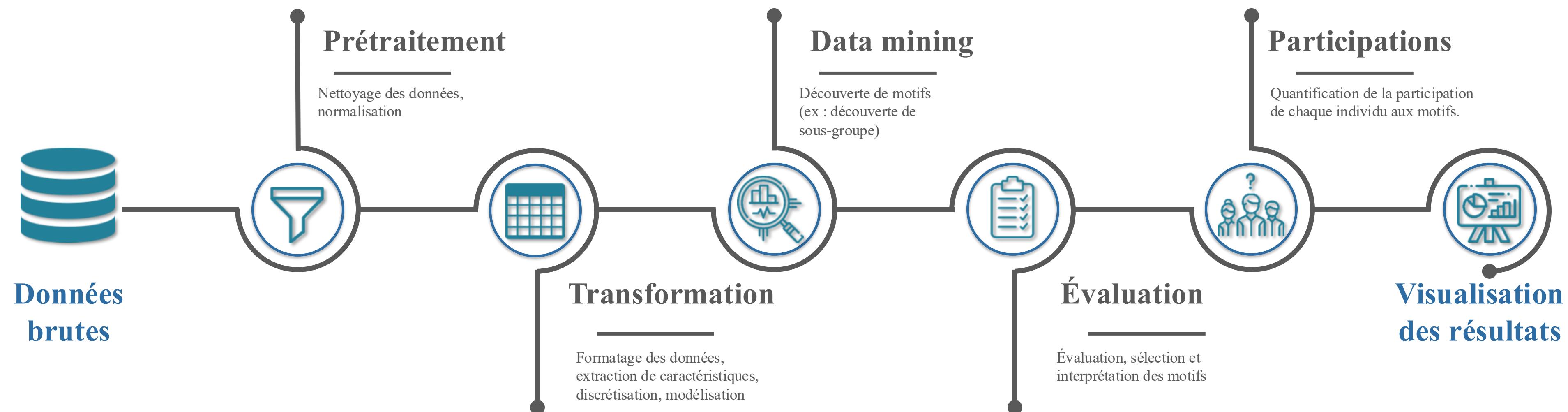
Étude 1 - psychophysiologie



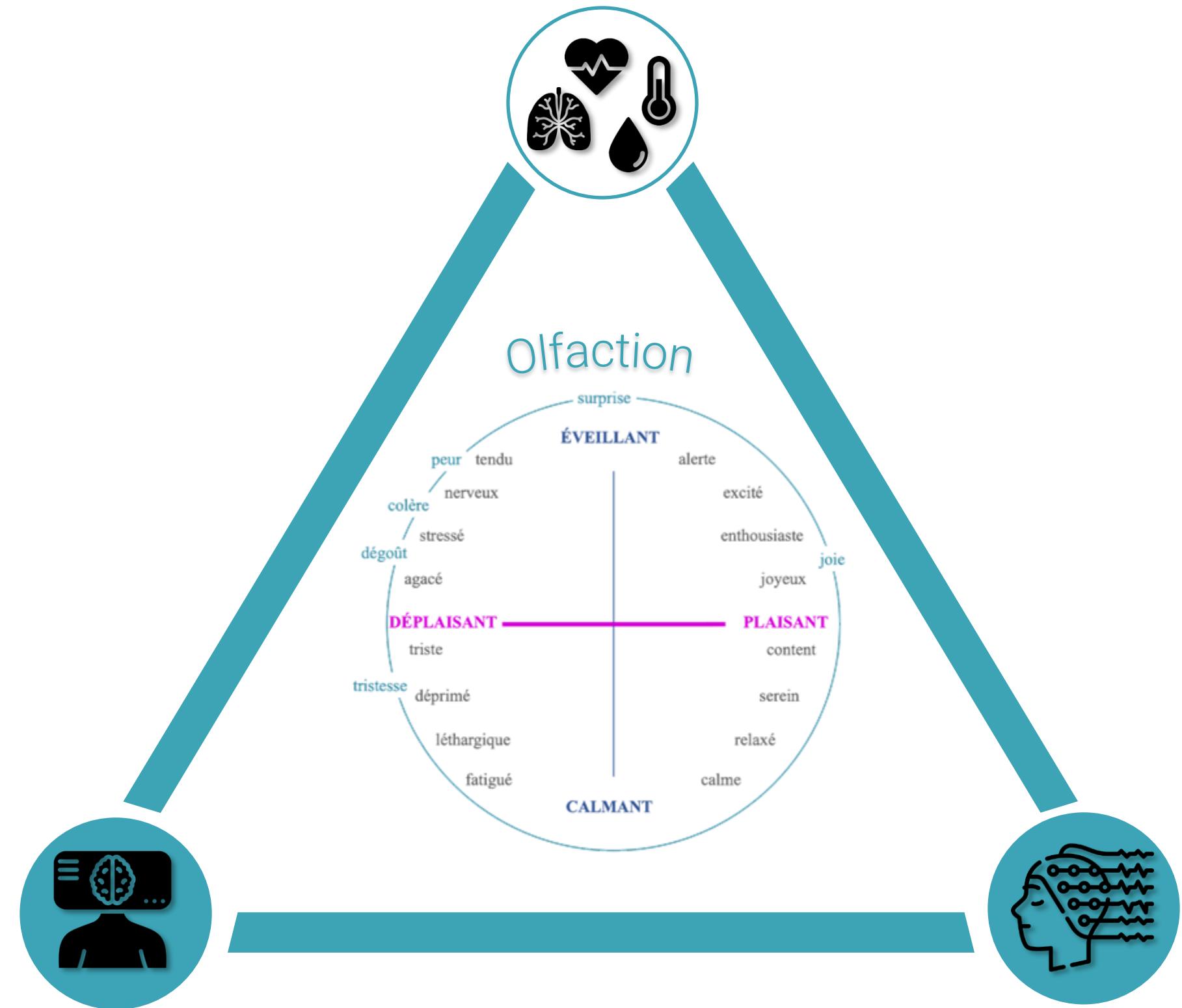
Étude 2 - IRMf

Étude 3 - EEG

# Stratégie d'analyse



## Étude 1 - psychophysiologie



Étude 2 - IRMf

Étude 3 - EEG

# Étude 1: psychophysiologie

Expérience :



22 participants



105 odorants



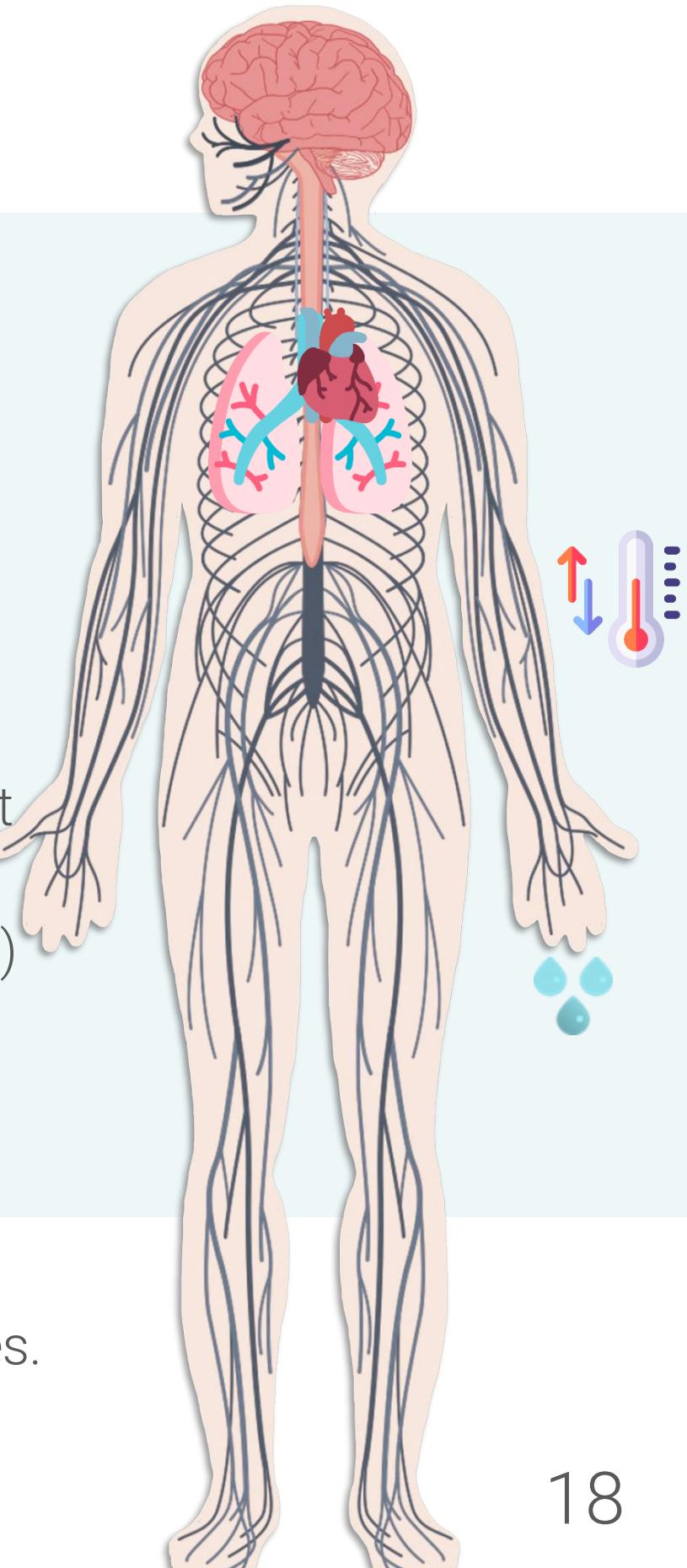
Notes perceptives

dont la valence



4 paramètres  
psychophysiologiques

- fréquence de pouls du doigt (FP)
- respiration abdominale (AR)
- conductance cutanée (SC)
- température cutanée (ST)

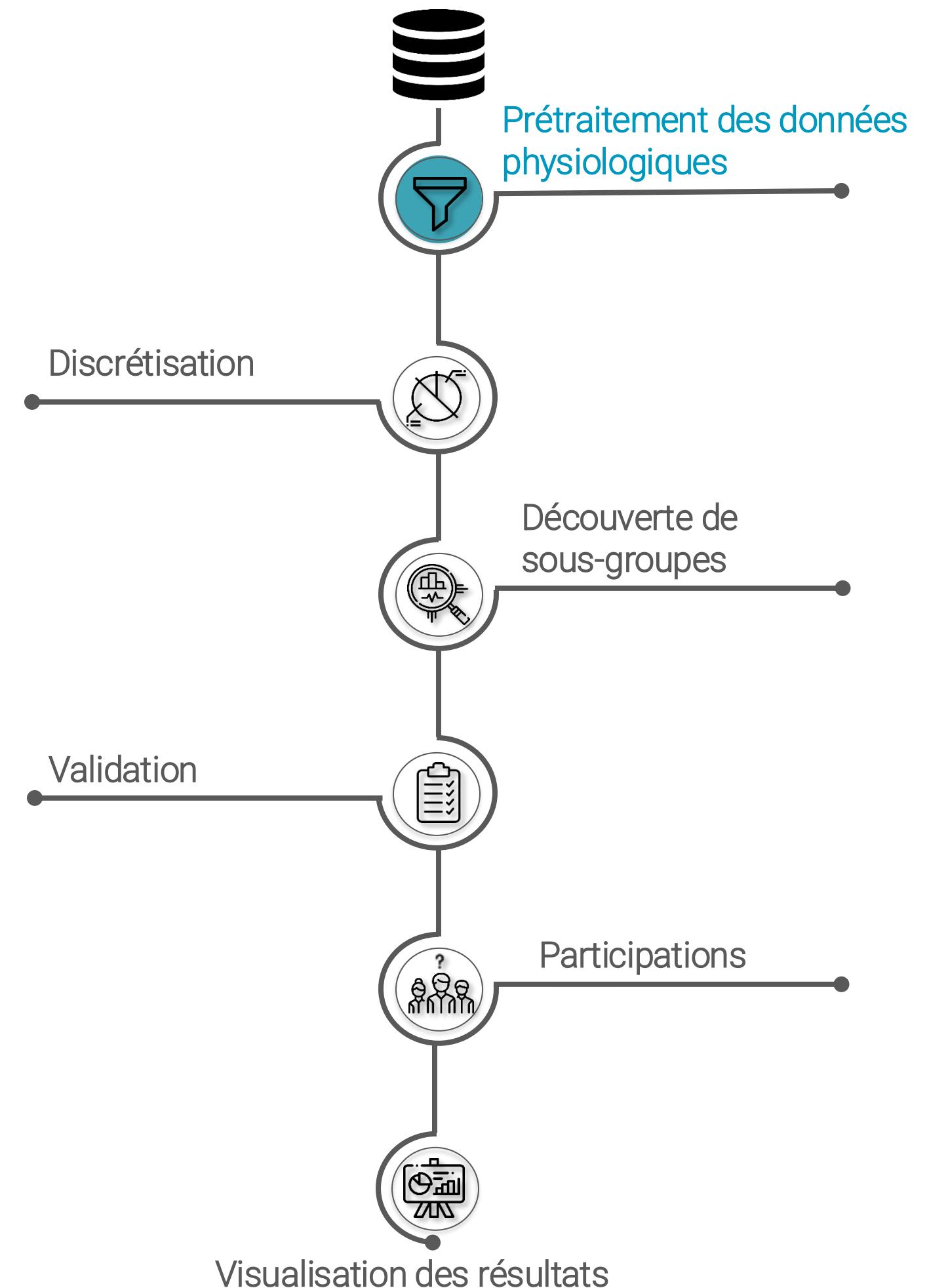
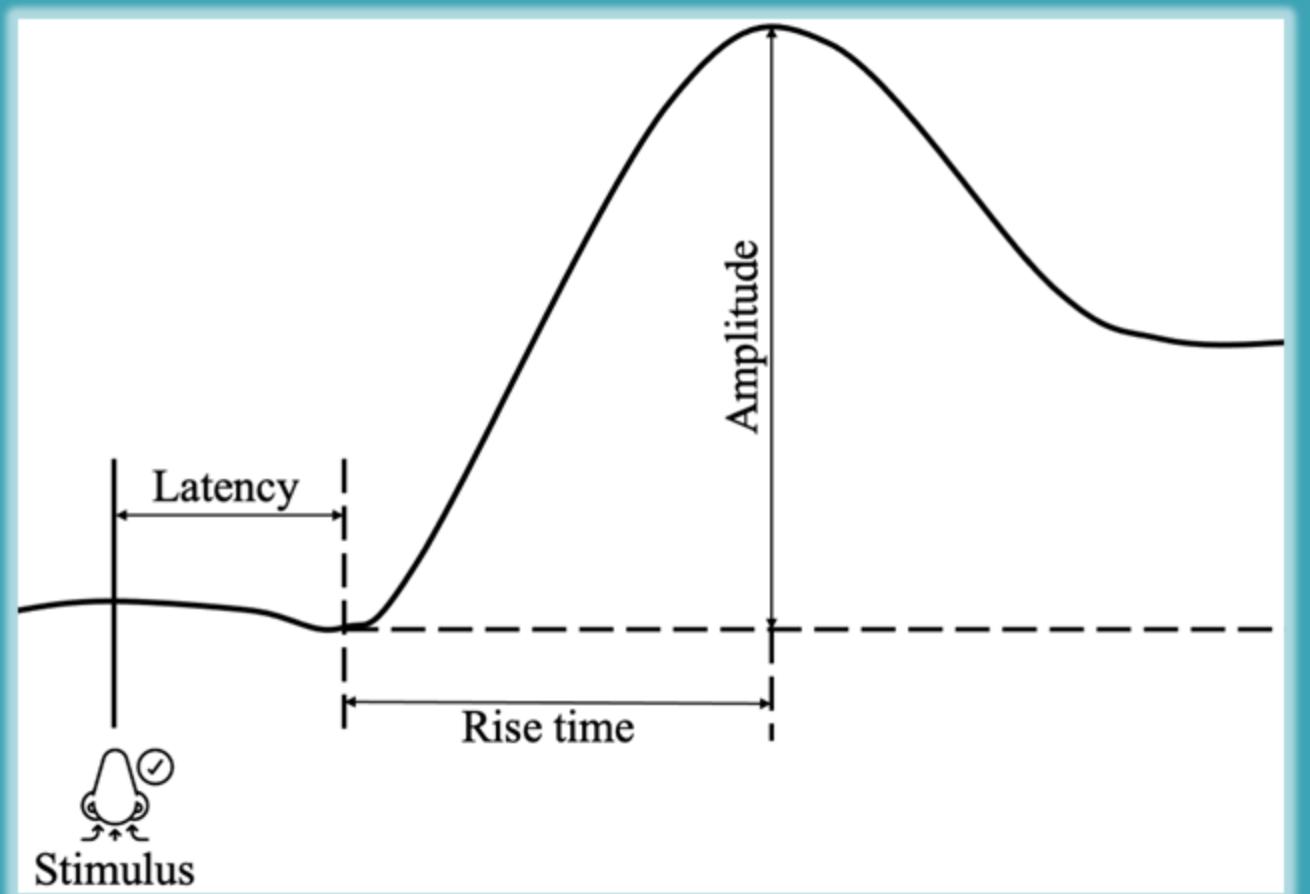


Collecte de données par Licon et al, 2018

Objectif : décrire le caractère hédonique d'une odeur à travers les réactions physiologiques périphériques.

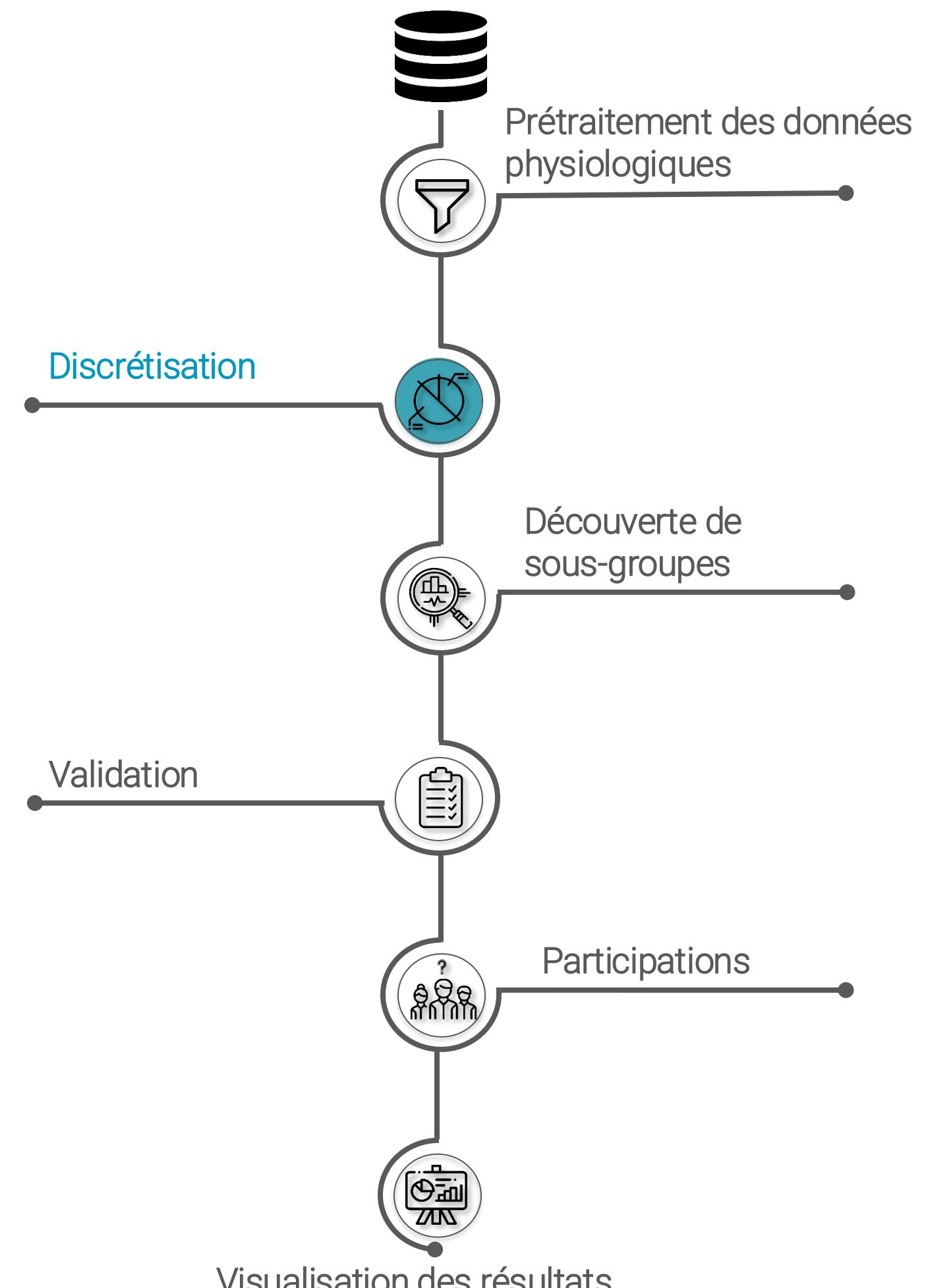
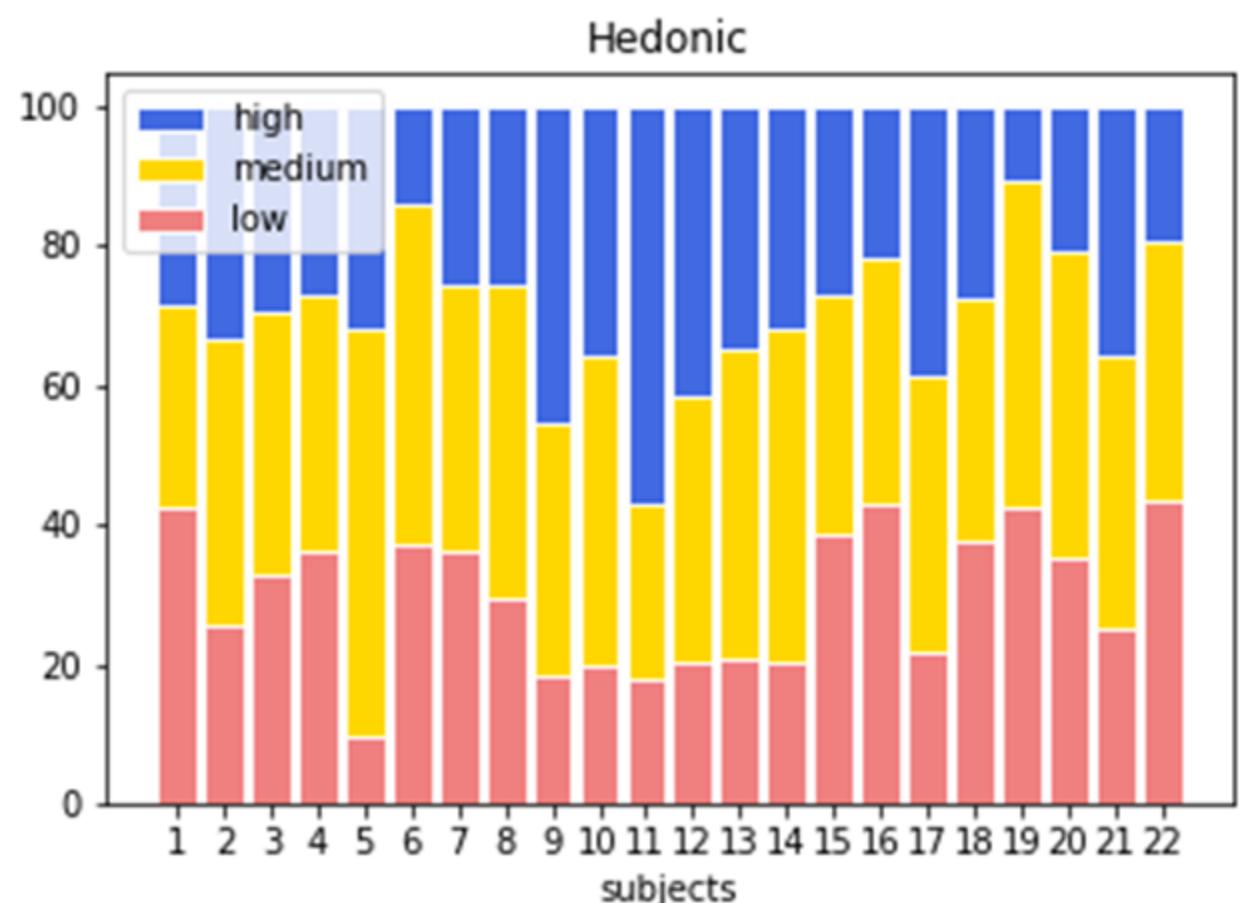
## Prétraitements

Découpage de la SC en 5 attributs: la latence (ms), le temps de montée (ms), l'amplitude ( $\mu$ S) et le nombre d'événements avant et après le stimulus (NSSCR).



## Discrétisation

Catégorisation des notes avec les K-Means d'un état émotionnel en 3 classes pour chaque individu : déplaisant, neutre, et plaisant.

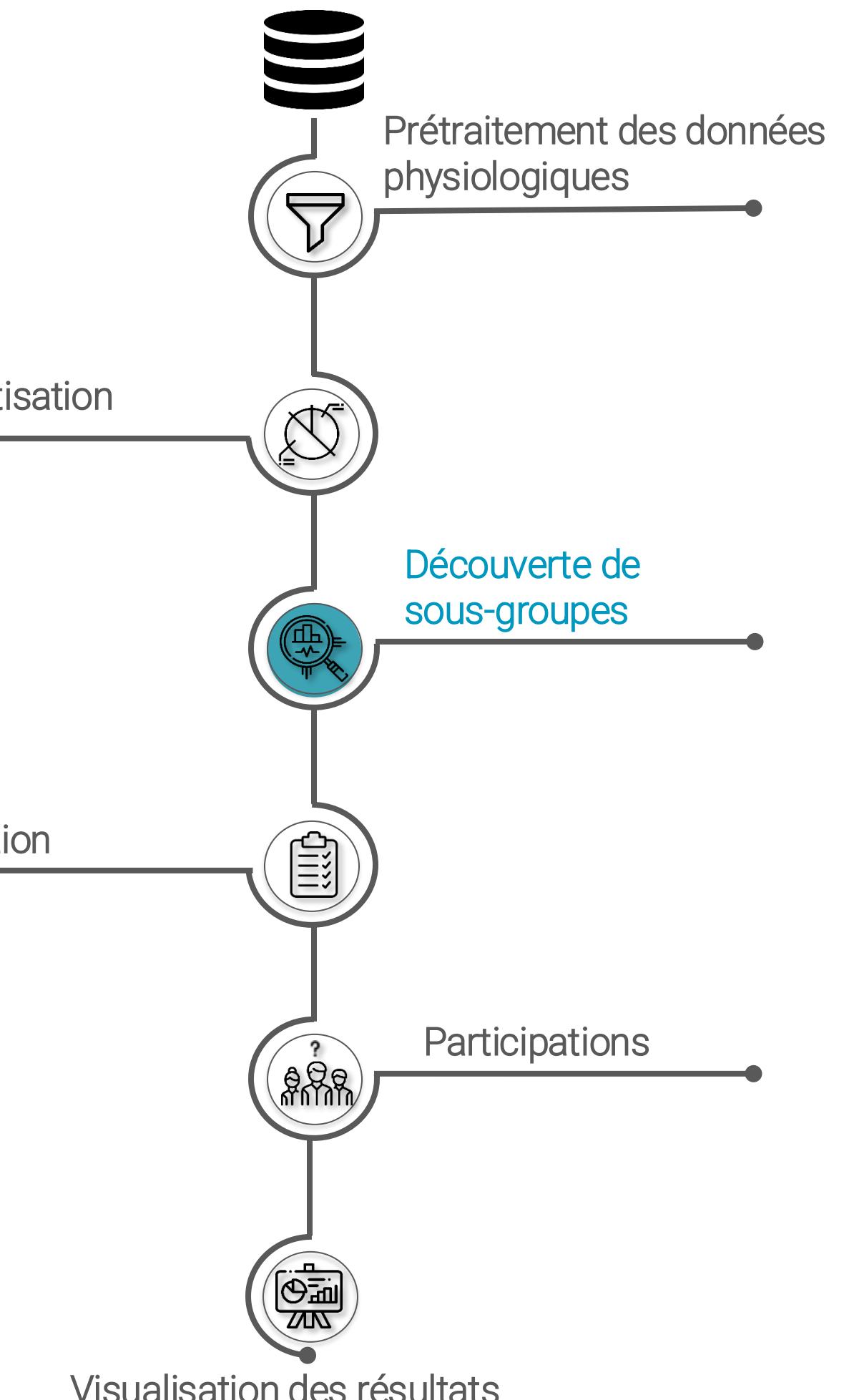


## Découverte de sous-groupes

Extraction de règles descriptives où un état émotionnel est surreprésenté et les autres états sous-représentés.

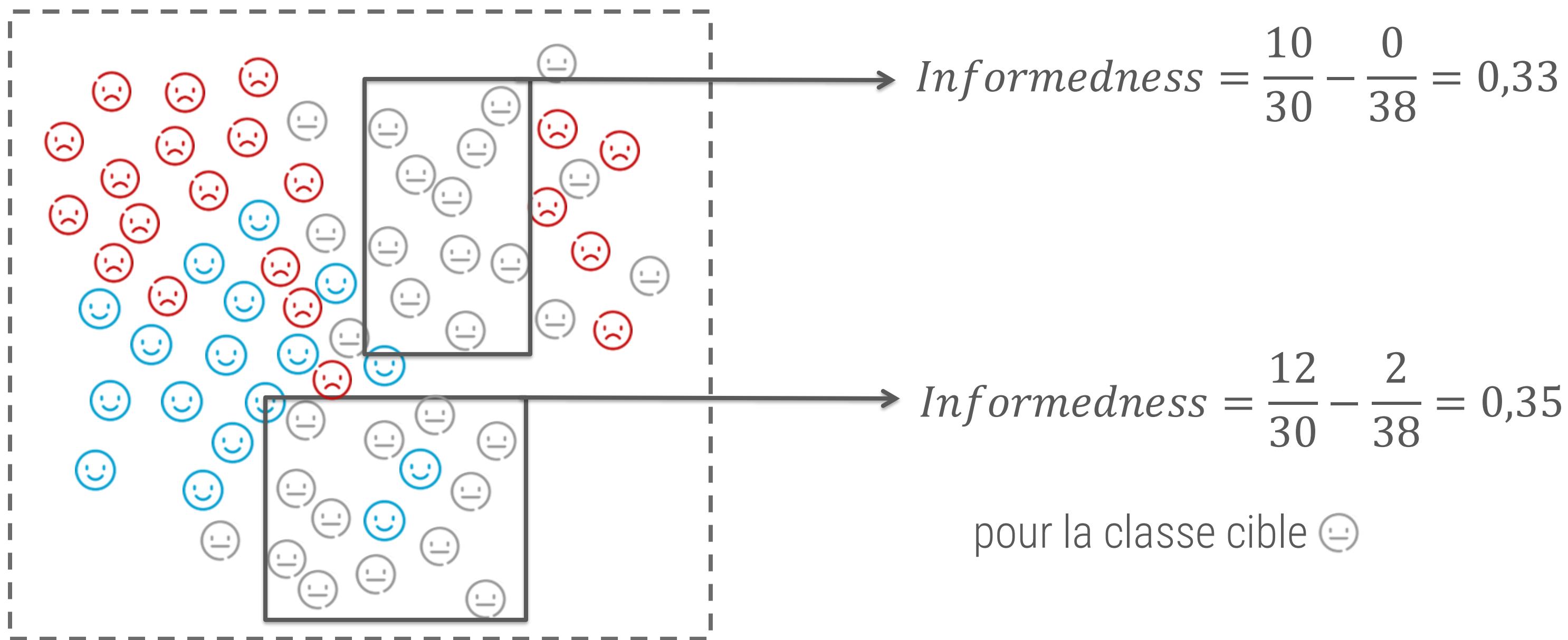
Algorithme utilisé :  
**Monteclopi** utilisant Monte Carlo Tree Search

Mesure de qualité utilisée :  
Informedness



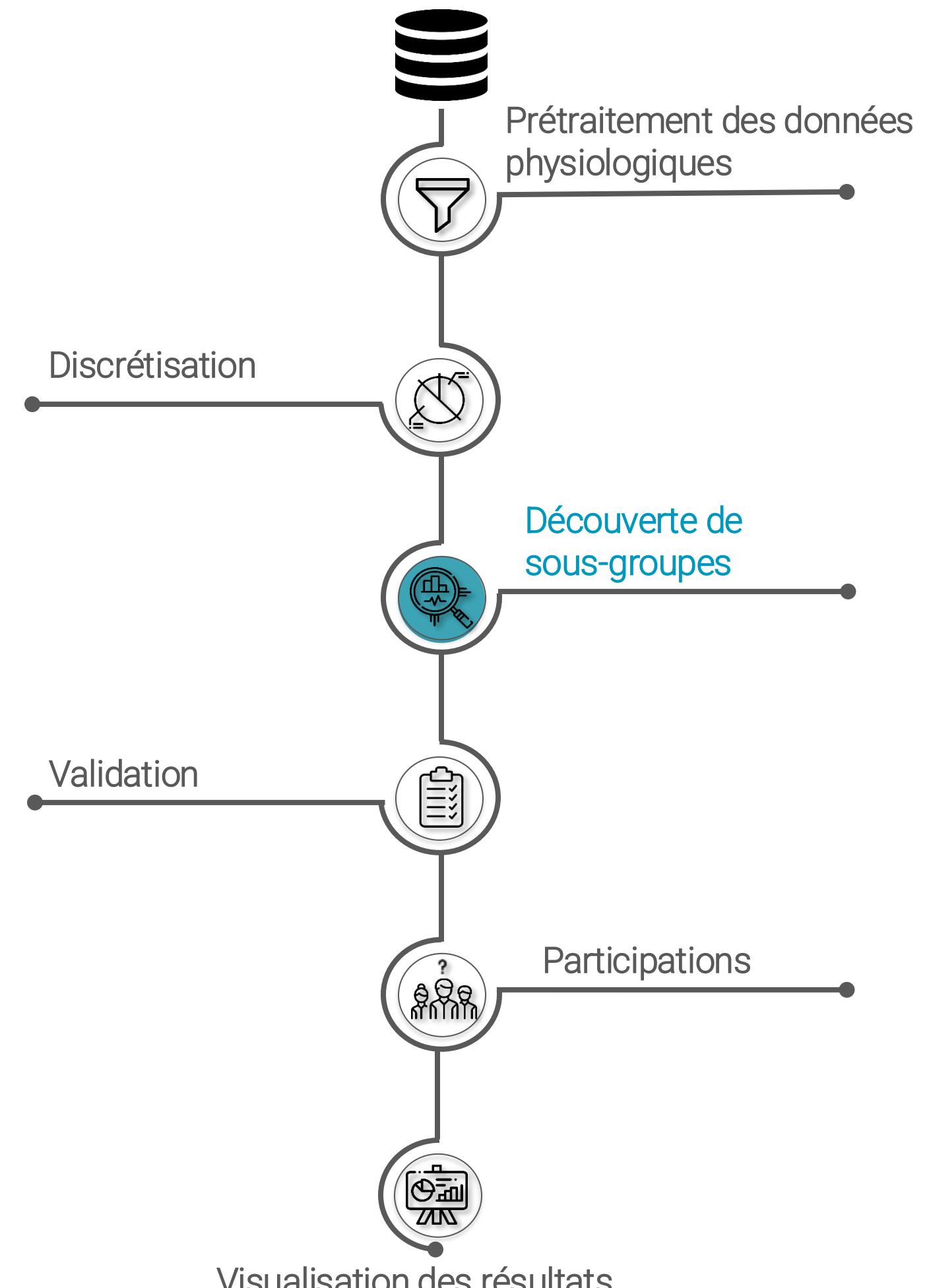
# Mesure de qualité : l'informedness

$$\text{Informedness}(r, e, c) = \frac{|\text{cov}(r) \wedge D^{(e,c)}|}{|D^{(e,c)}|} - \frac{|\text{cov}(r) \wedge D^{(e,\neg c)}|}{|D^{(e,\neg c)}|} = tpr - fpr$$



## Exemples de sous-groupes

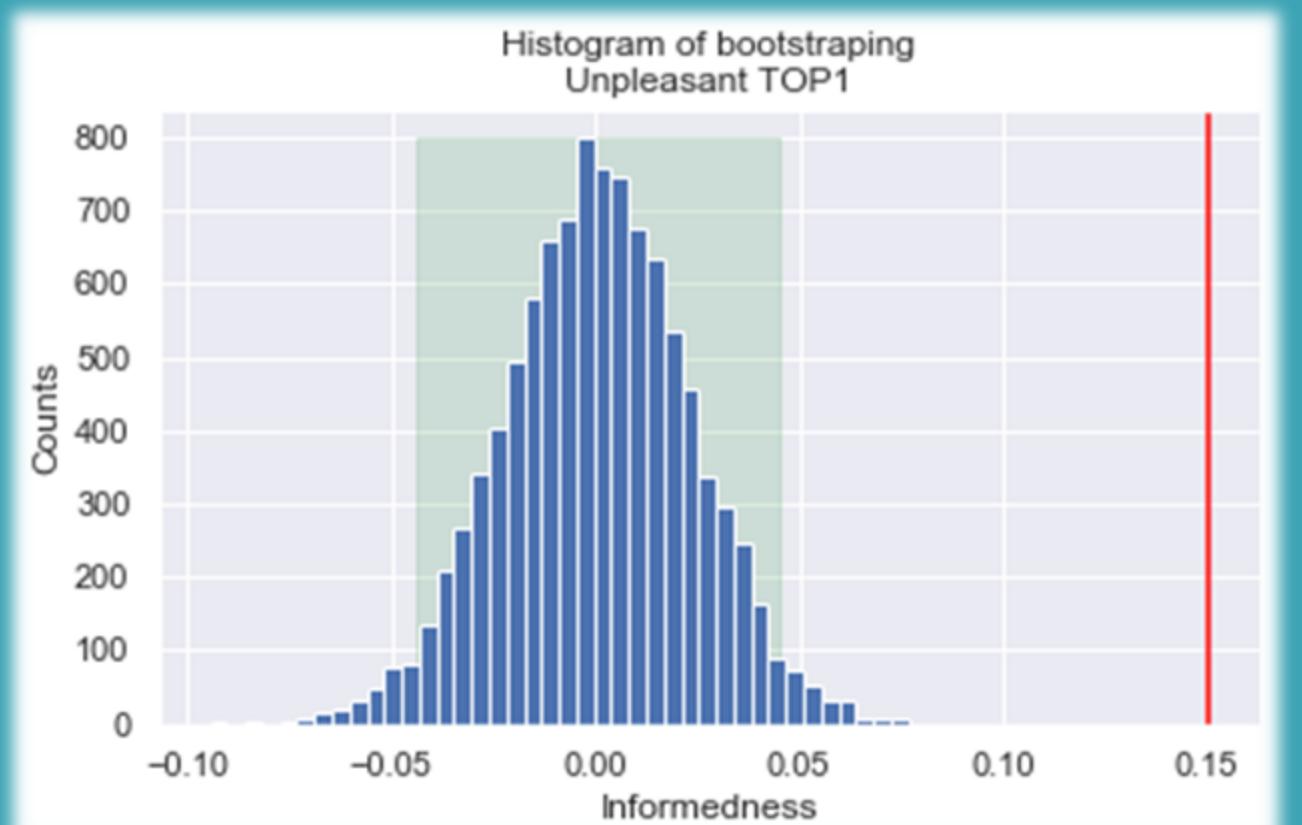
Cible	Rang	Motif	Informedness
Plaisant	TOP1	SC_Amplitude ∈ [0.0, 0.1428]	0.071
	TOP2	SC_Amplitude ∈ [0.0, 0.0388]	0.068
	TOP3	FP ∈ [-0.6667, 0.0]	0.056
	TOP4	FP ∈ [-1.3333, 0.6667] AR ∈ [-1.0, 1.6667] ST ∈ [-0.1665, 0.01485] SC_Latency ∈ [0.0, 0.0742] SC_Rise_Time ∈ [0.0, 4.3555] SC_Amplitude ∈ [0.0, 0.6910] SC_NSSCR ∈ [0.0, 3.0]	0.055
	TOP5	FP ∈ [-1.6667, 0.6667] AR ∈ [-1.3333, 0.0] ST ∈ [-0.1249, 0.1425] SC_Latency ∈ [0.0, 0.0] SC_Rise_Time ∈ [0.0, 0.0] SC_Amplitude ∈ [0.0, 0.0] SC_NSSCR ∈ [-3.0, 2.0]	0.055



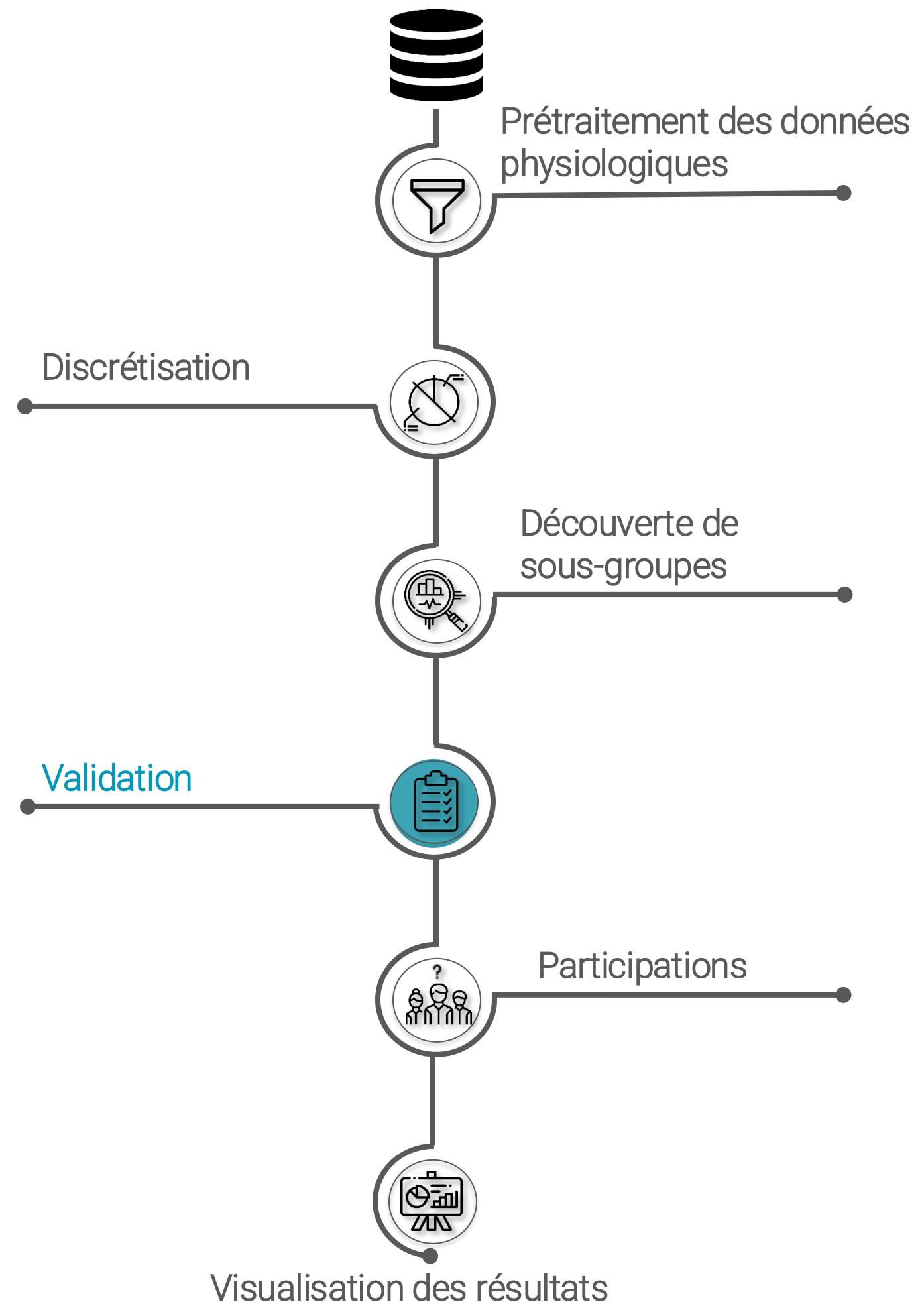
## Validation

Bootstrap : tirage de 10.000 groupes aléatoires de même support que le motif à valider et calcul de leur informedness.

Si l'informedness du motif courant est hors de l'intervalle de confiance ( $\alpha=0.05$ ) de cette distribution : le motif est validé.

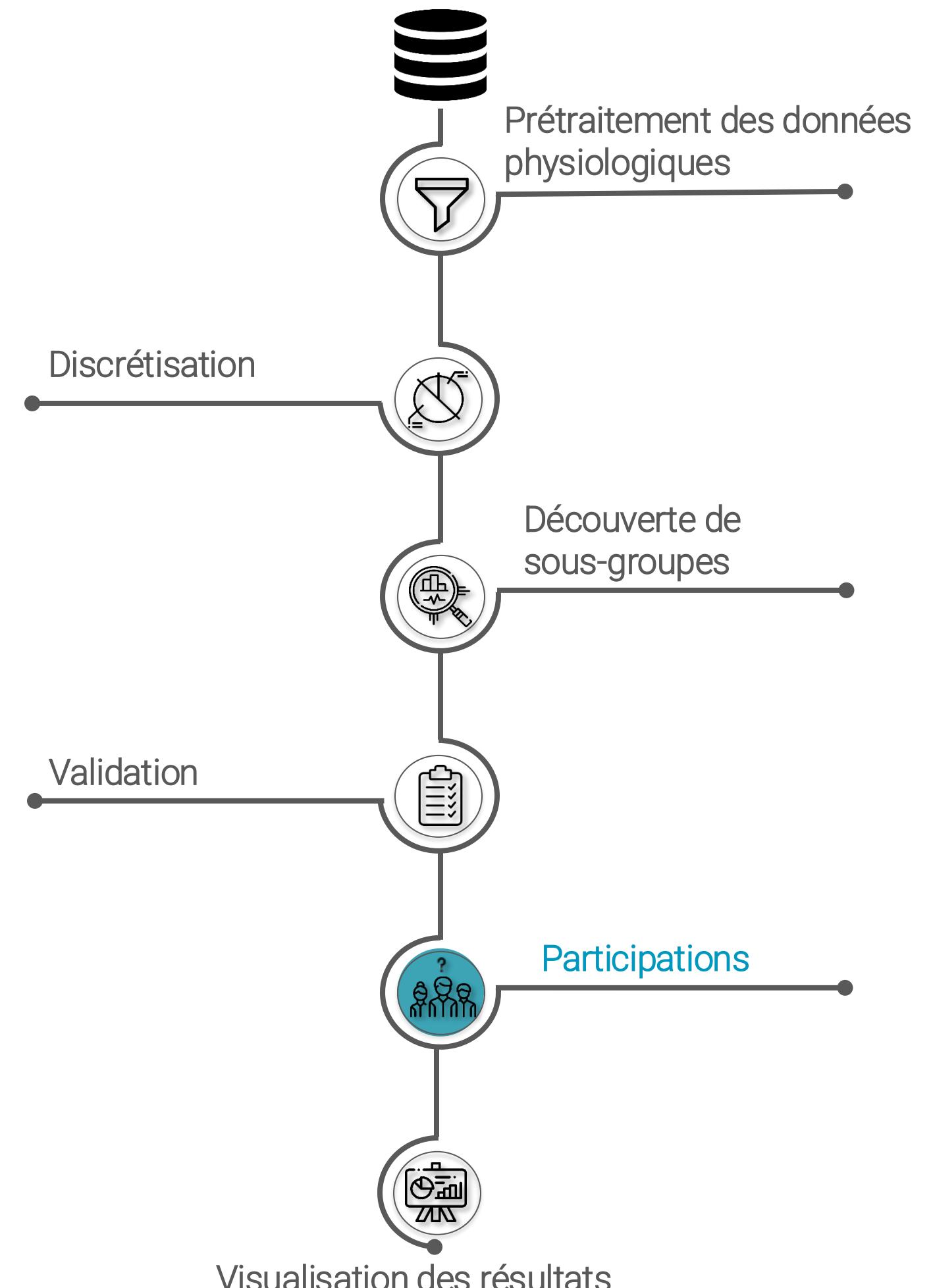
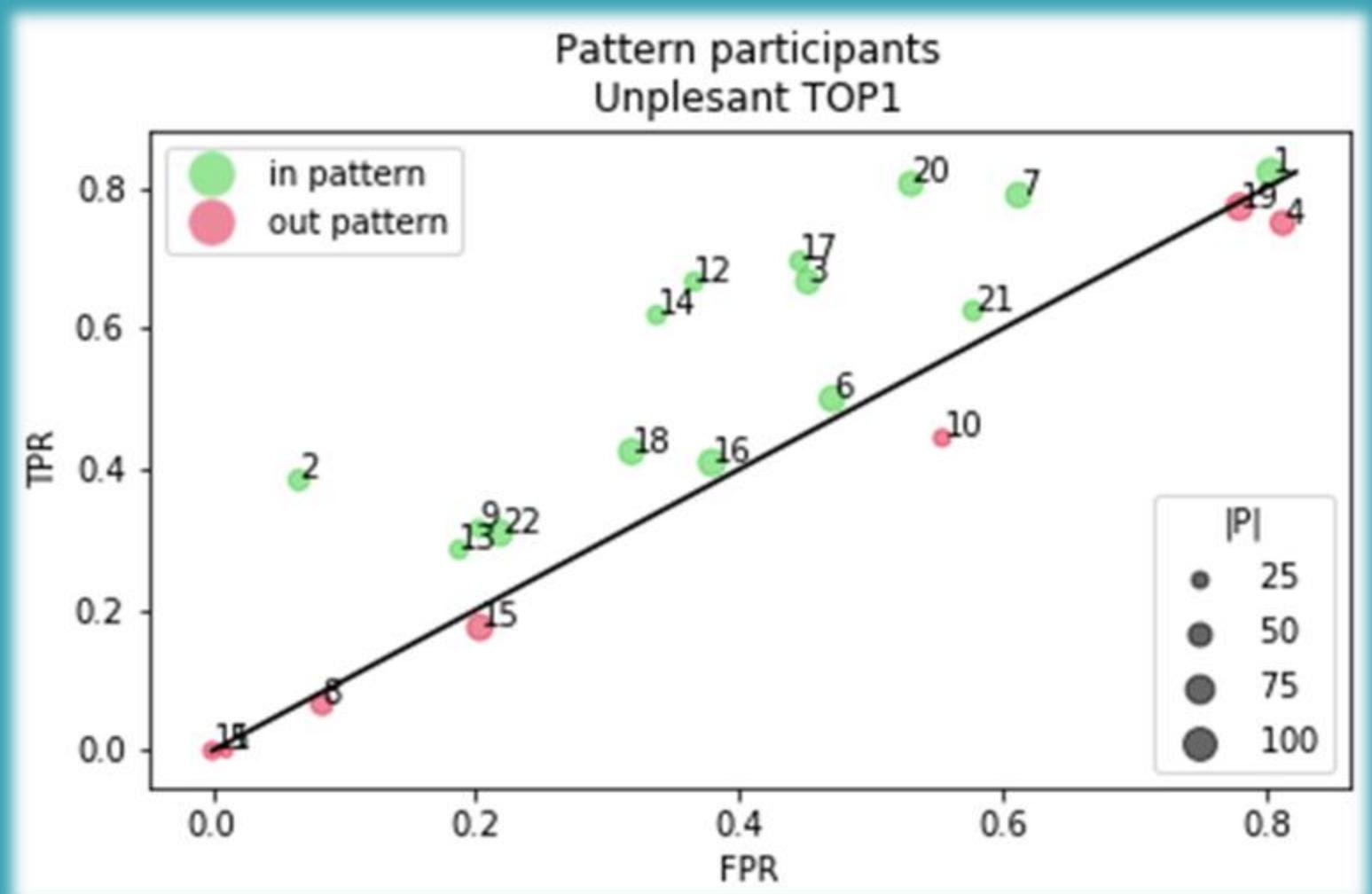


Efron et al., 1986



## Quantification de la participation

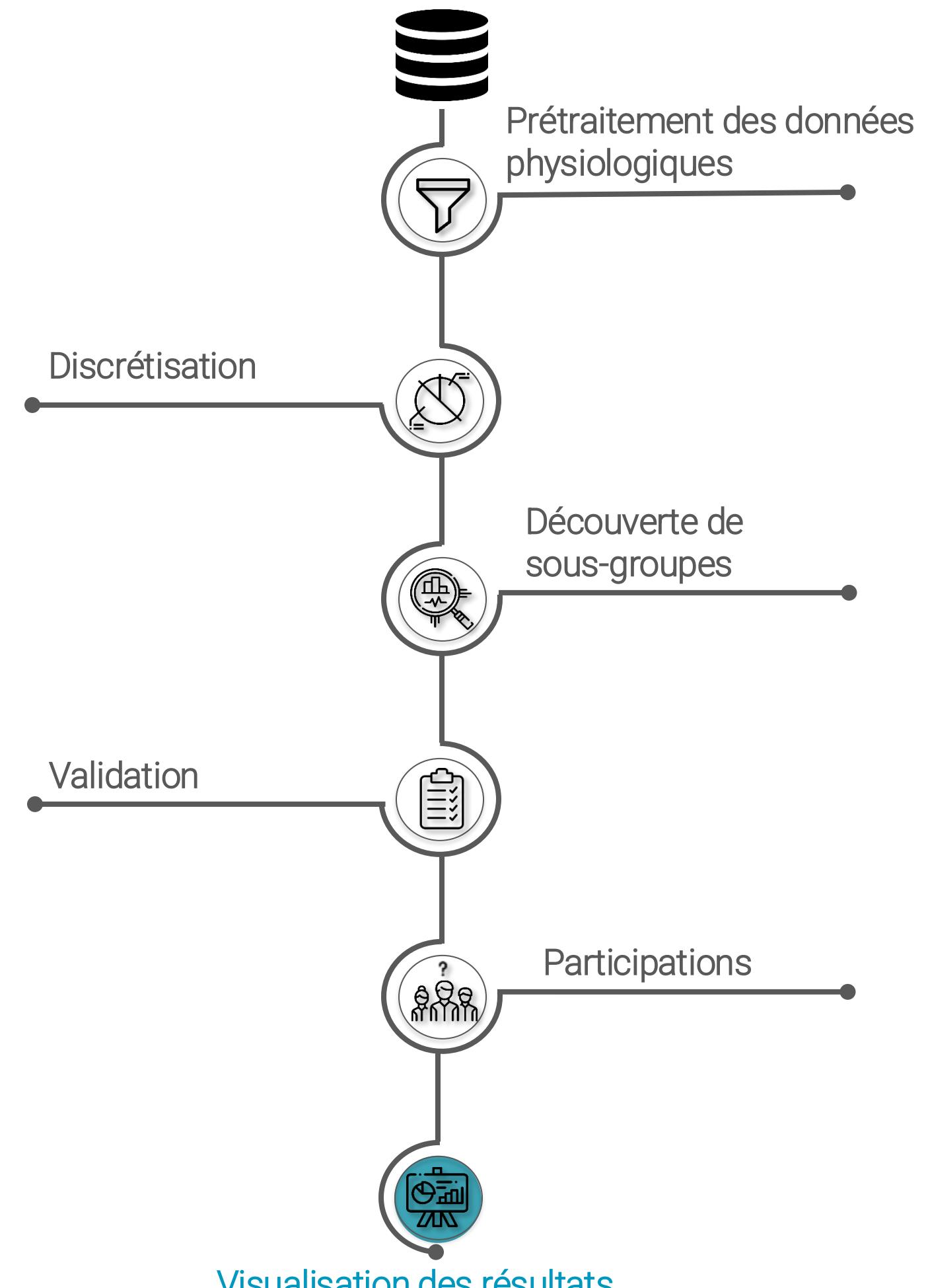
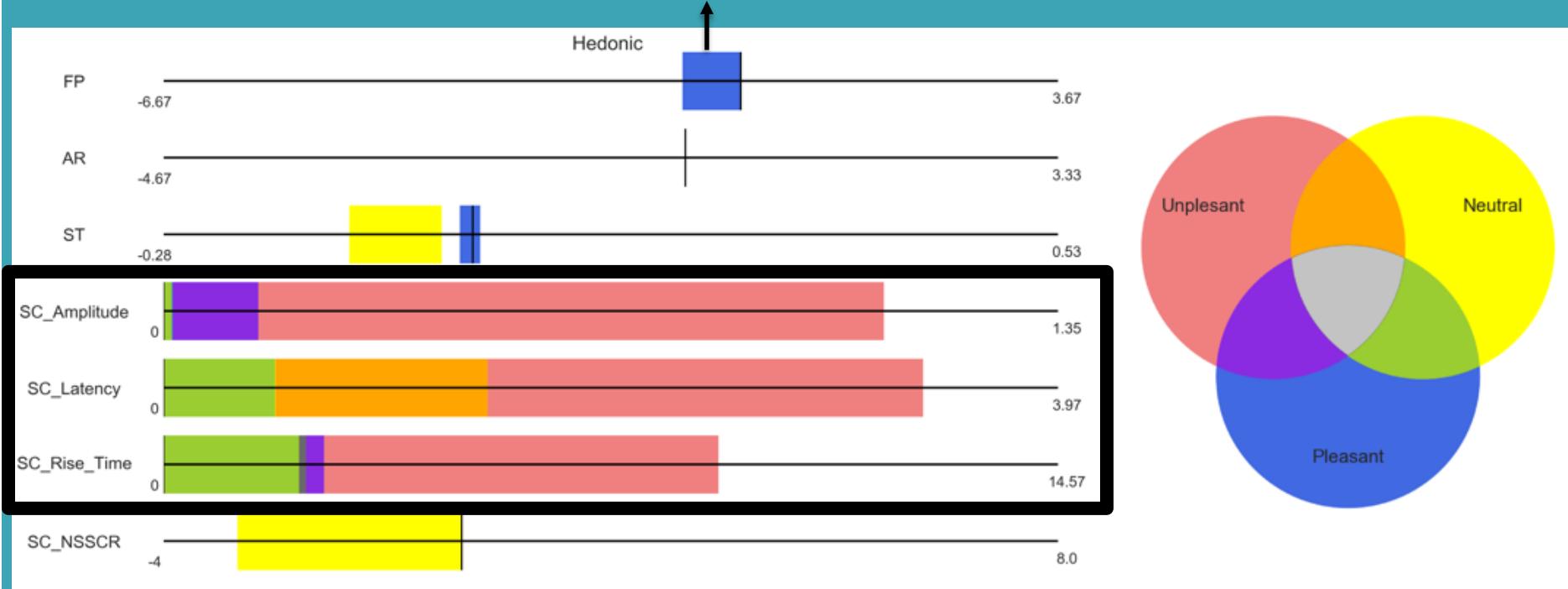
Rôle de chaque individu dans le motif observé.



# Résultats

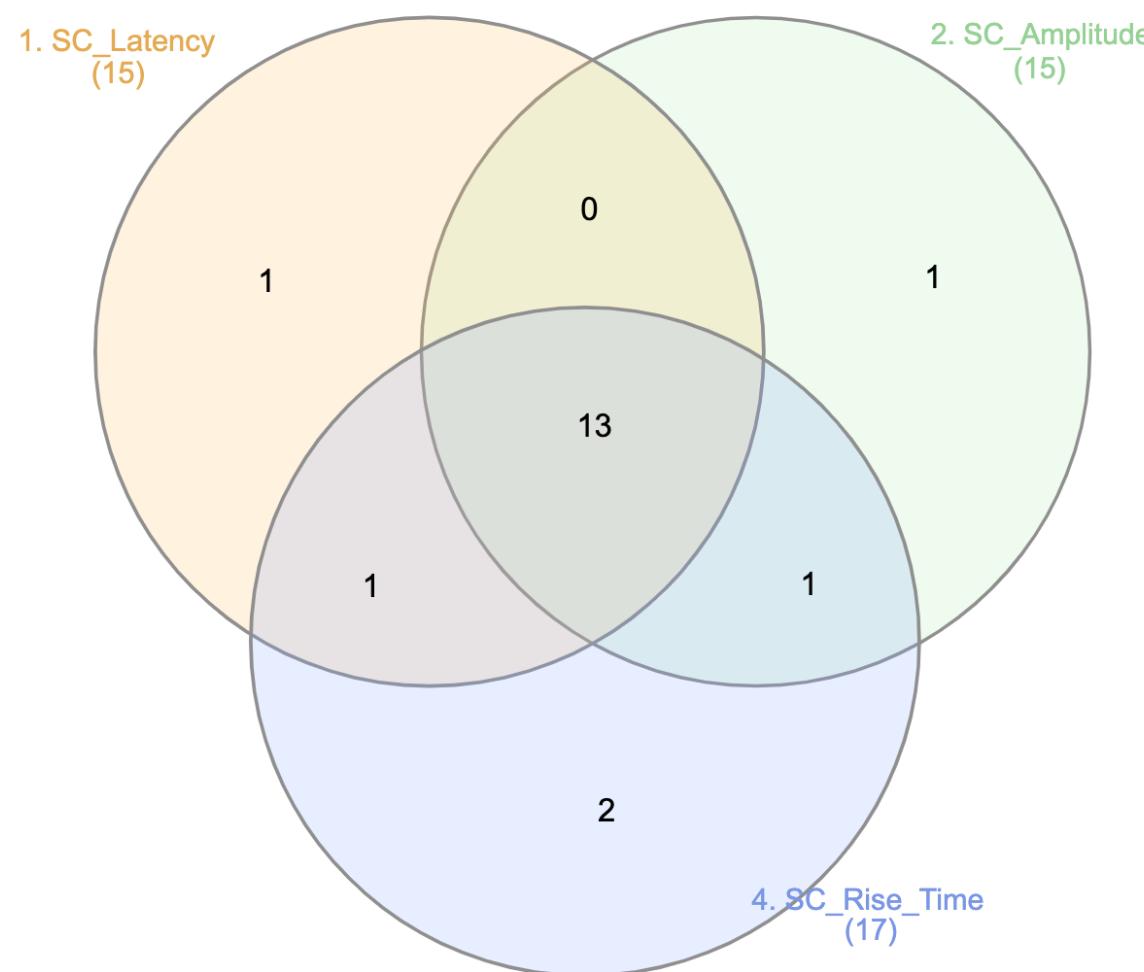
Règle :  $FP \in [-0.67, 0.0]$

Observation :  $FP$  décroît si l'odeur est plaisante

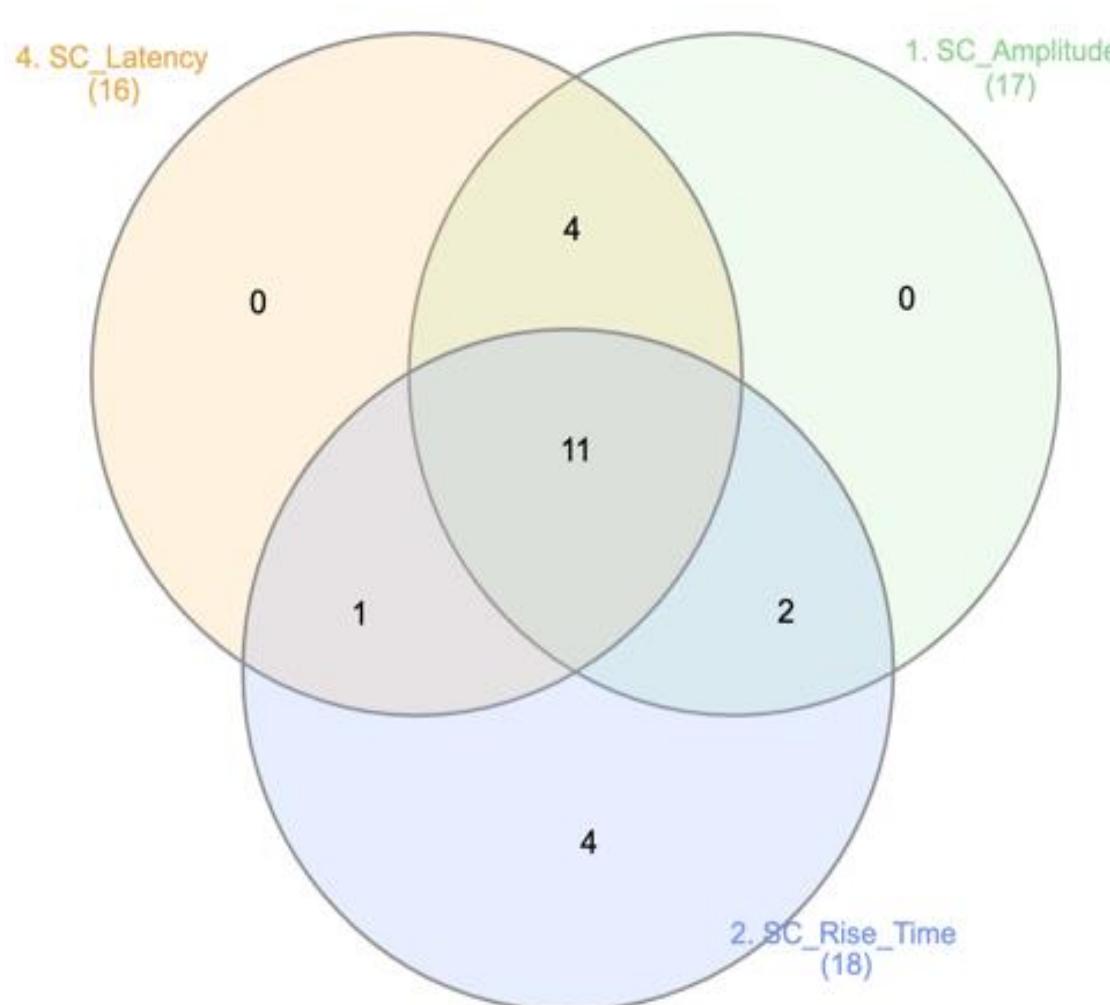


# Comprendre le rôle des individus dans le motif

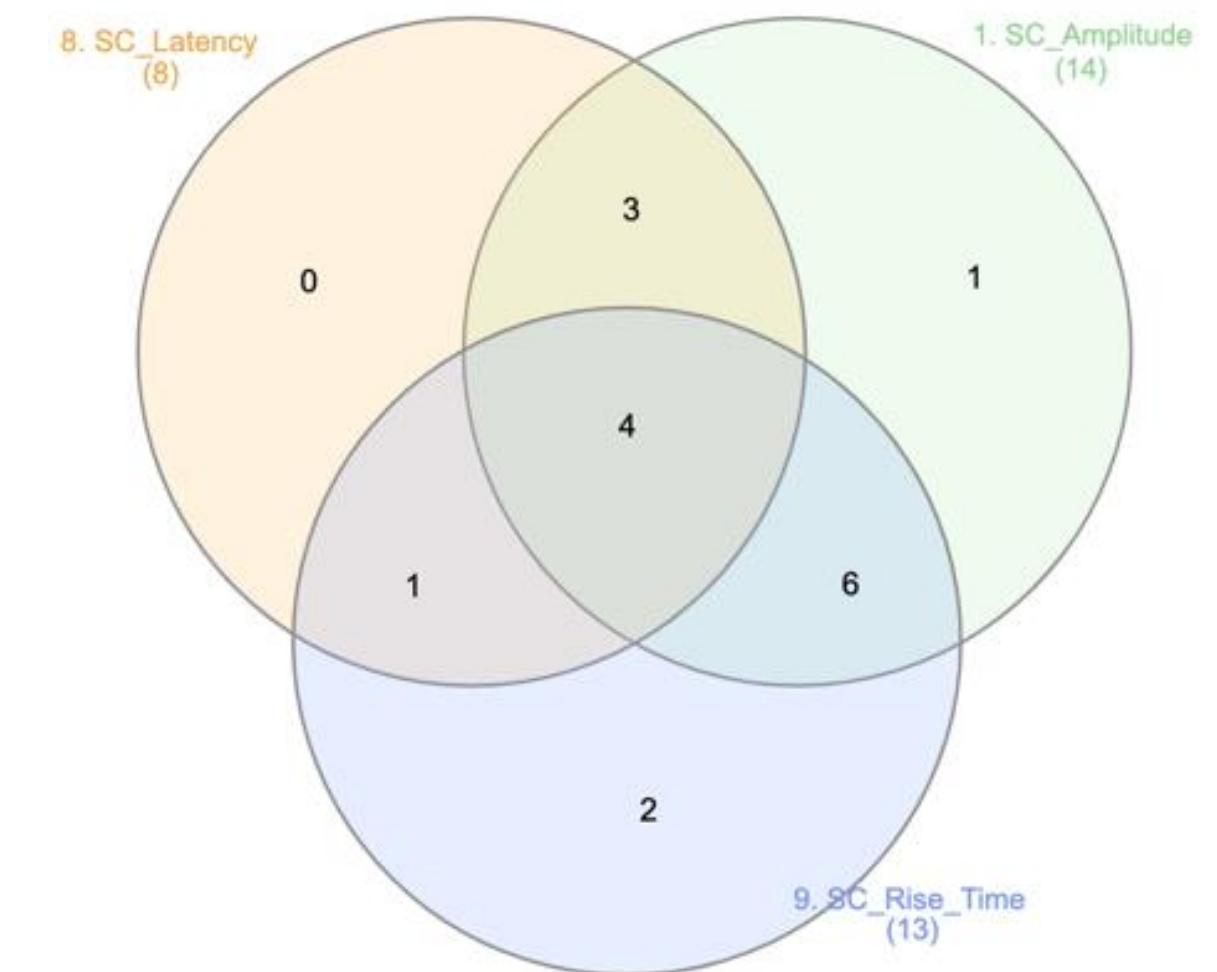
Déplaisant



Neutre



Plaisant



Homogène ++

Homogène

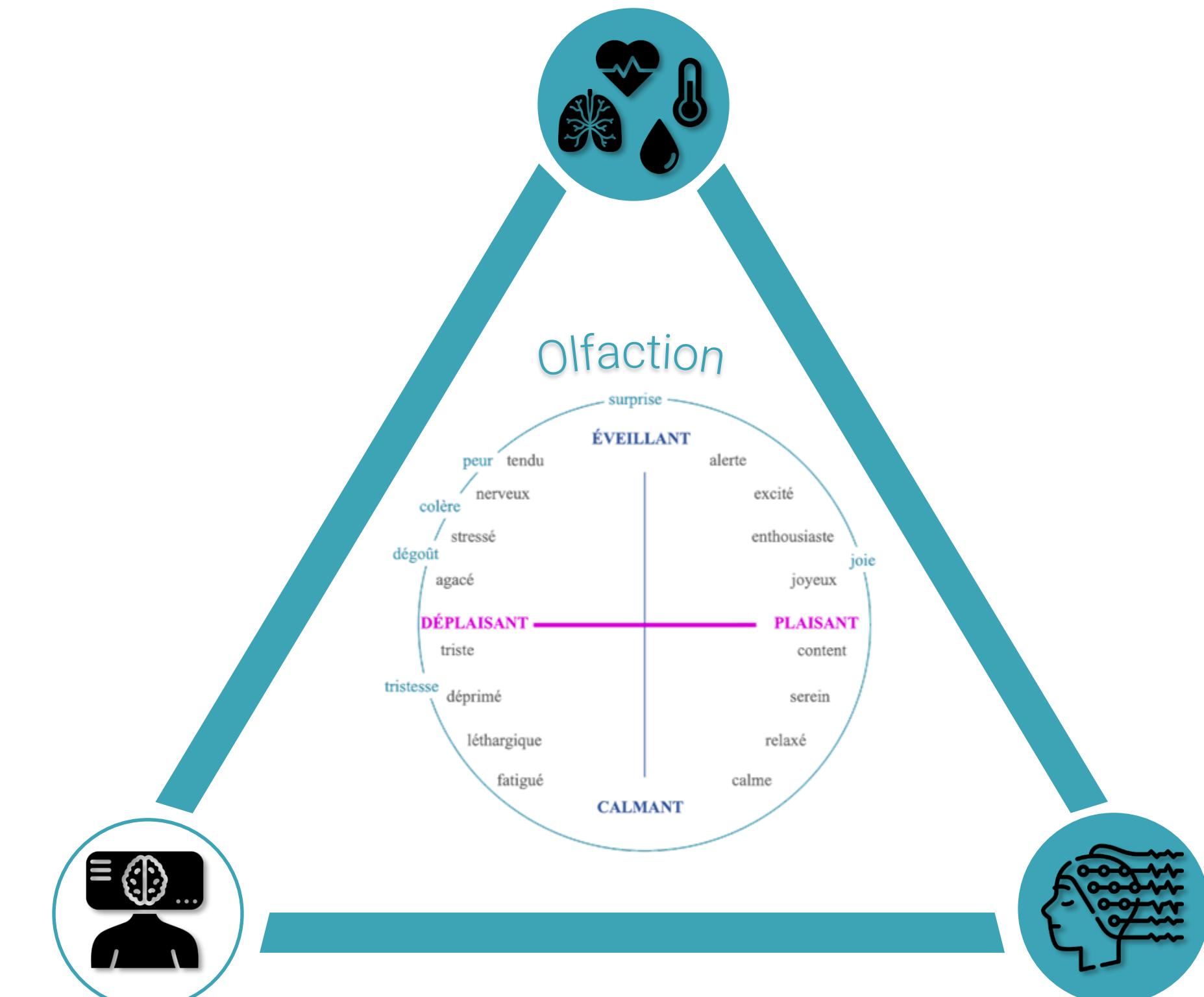
Hétérogène

# Conclusion

	Étude 1	
Résultats en accord avec la littérature	<ul style="list-style-type: none"><li>- Diminution du rythme cardiaque pour les odeurs plaisantes.</li><li>- Réponse électrodermale plus longue et plus élevée en termes d'amplitude pour les odeurs déplaisantes que les odeurs plaisantes.</li></ul>	Brauchli , 1995 ; Alaoui-Ismaïli, 1997 ; Robin , 1998 ; Brand , 200 ; Masaoka, 2005; Kreibig, 2010 ; de Wijk, 2012 ; Glass , 2014 ; He 2014
Résultats nouveaux	Plus grande variabilité individuelle pour les odeurs plaisantes que déplaisantes.	

Moranges, et al. (2022). IEEE Transactions on Affective Computing.  
Moranges et al. (2023). Basic Protocols on Emotions, Senses, and Foods.

## Étude 1 - psychophysiologie



Étude 2 - IRMf

Étude 3 - EEG

## Étude 2 : IRMf

Expérience :



Collecte de données par Fournel et al, 2016

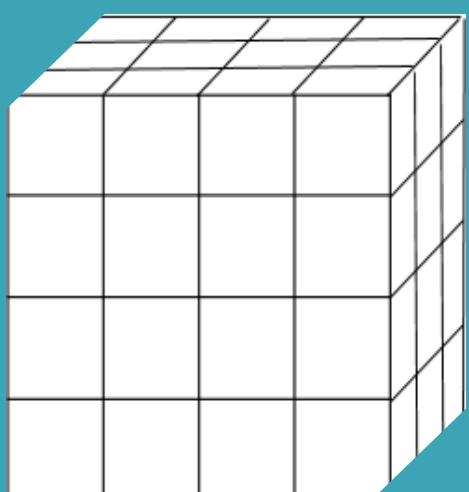
Objectif : identifier les patterns d'activation cérébrale au sein du cortex piriforme et de l'amygdale lors de la perception d'odeurs plaisantes et déplaisantes.

## Prétraitements

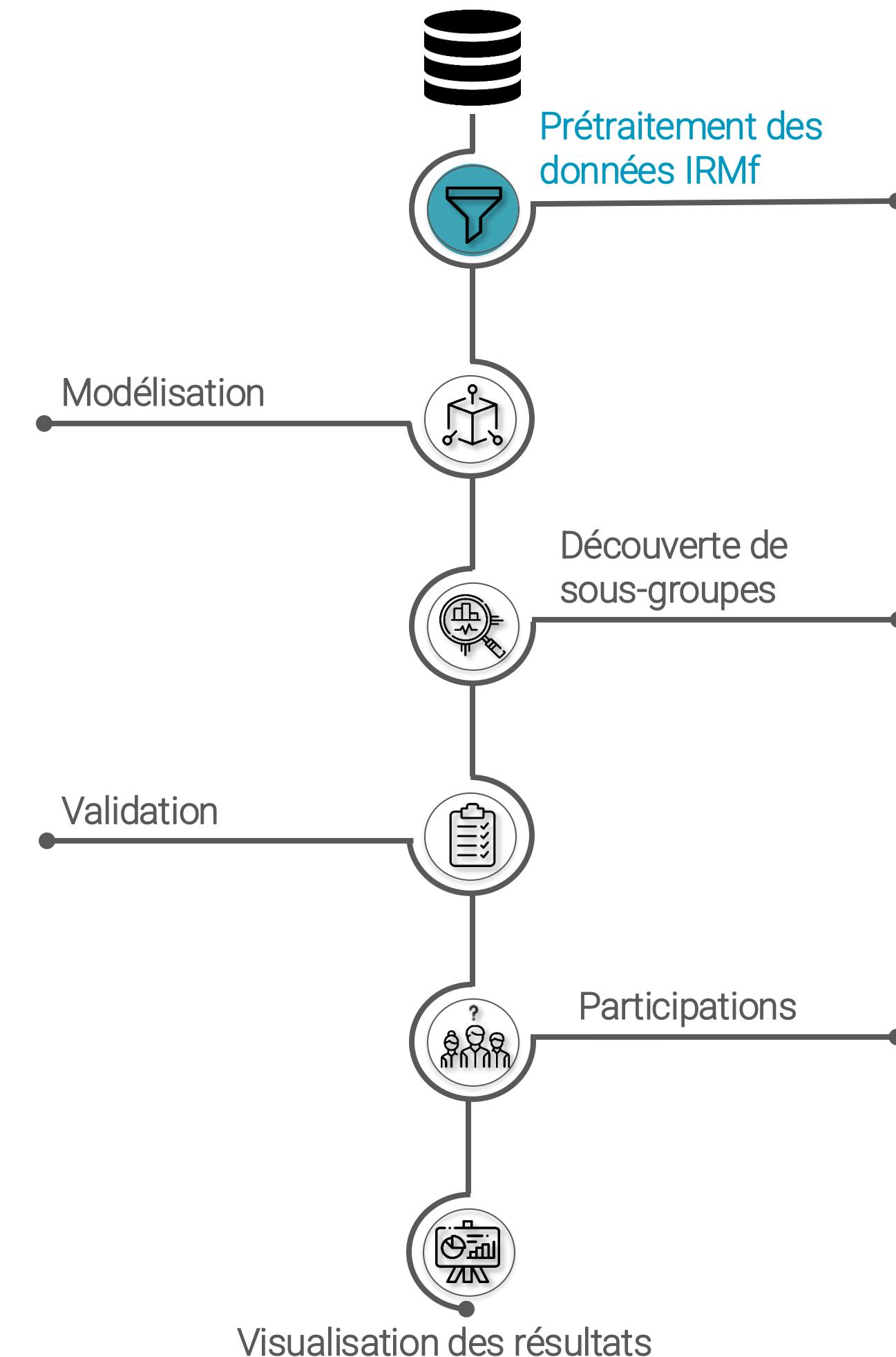
Analyse classique de premier niveau avec SPM :

- Réalignement des voxels
- Transformation des angles en distance
- Correction des acquisitions temporelles
- Coregistration
- Segmentation de la T1 et déformation

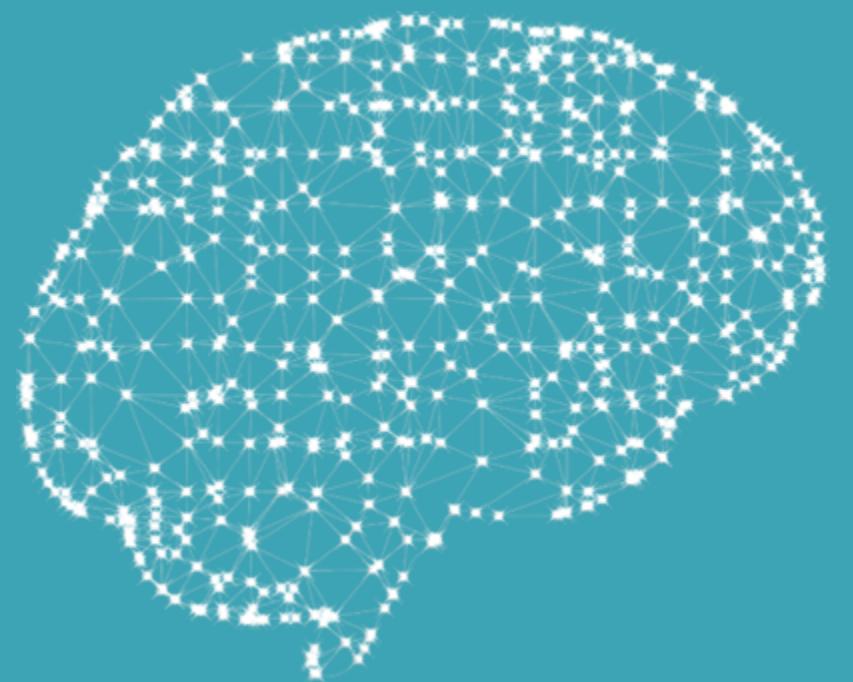
À l'issue de ce prétraitement, on dispose donc d'un signal IRMf pour chaque couple sujet-odeur.



Behzadi et al., 2007

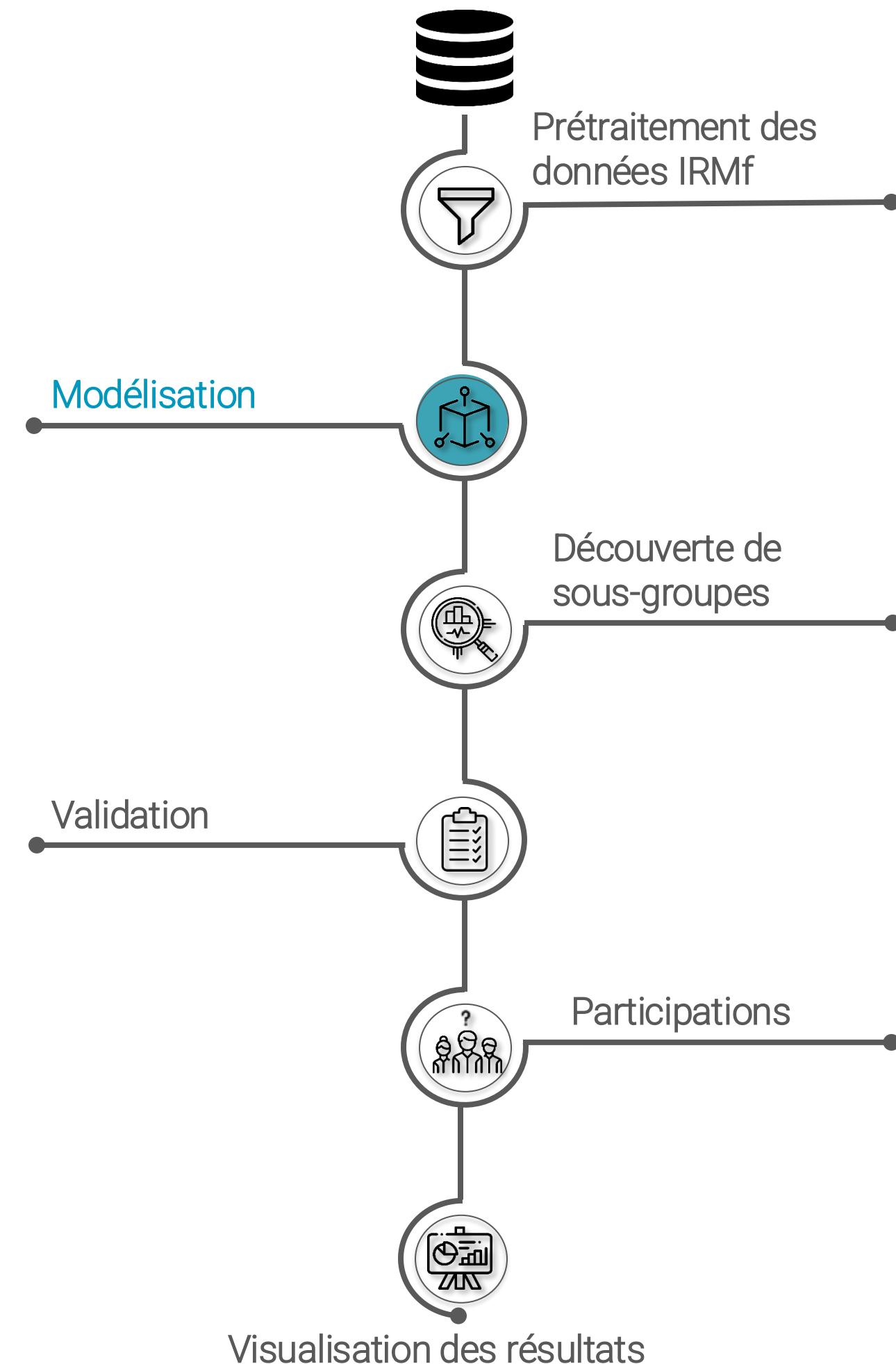


## Modélisation sous forme de graphe attribué



- un sommet  $V$  correspond à un voxel
- une arête  $E$  encode la relation d'adjacence
- un attribut de sommet  $A$  prend la valeur  $x$
- l'ensemble des paires de valeurs d'attribut  $P$  est associé à chaque sommet et décrit l'activité du voxel correspondant

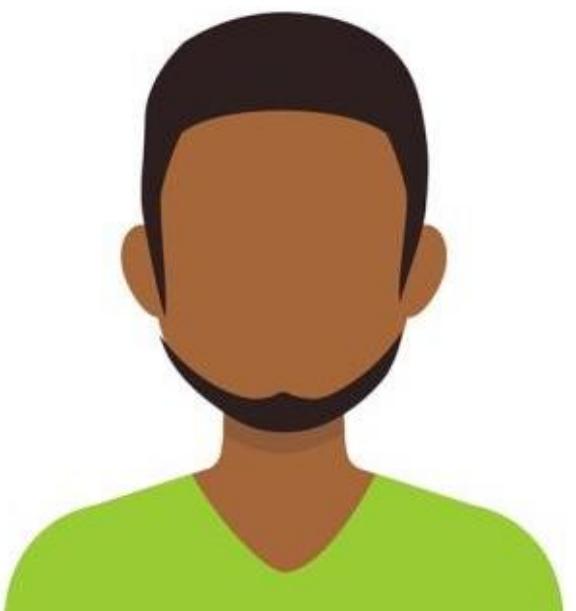
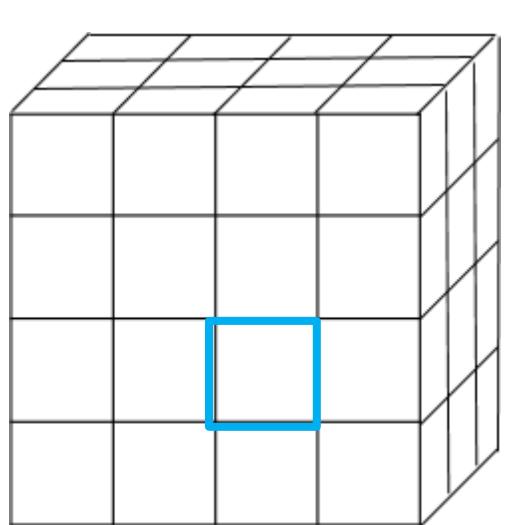
$$P : V \rightarrow \{(a, x) | a \in A, x \in \mathbb{R}\}$$



# Propositions

# Etudier l'ordre hémodynamique des différentes conditions

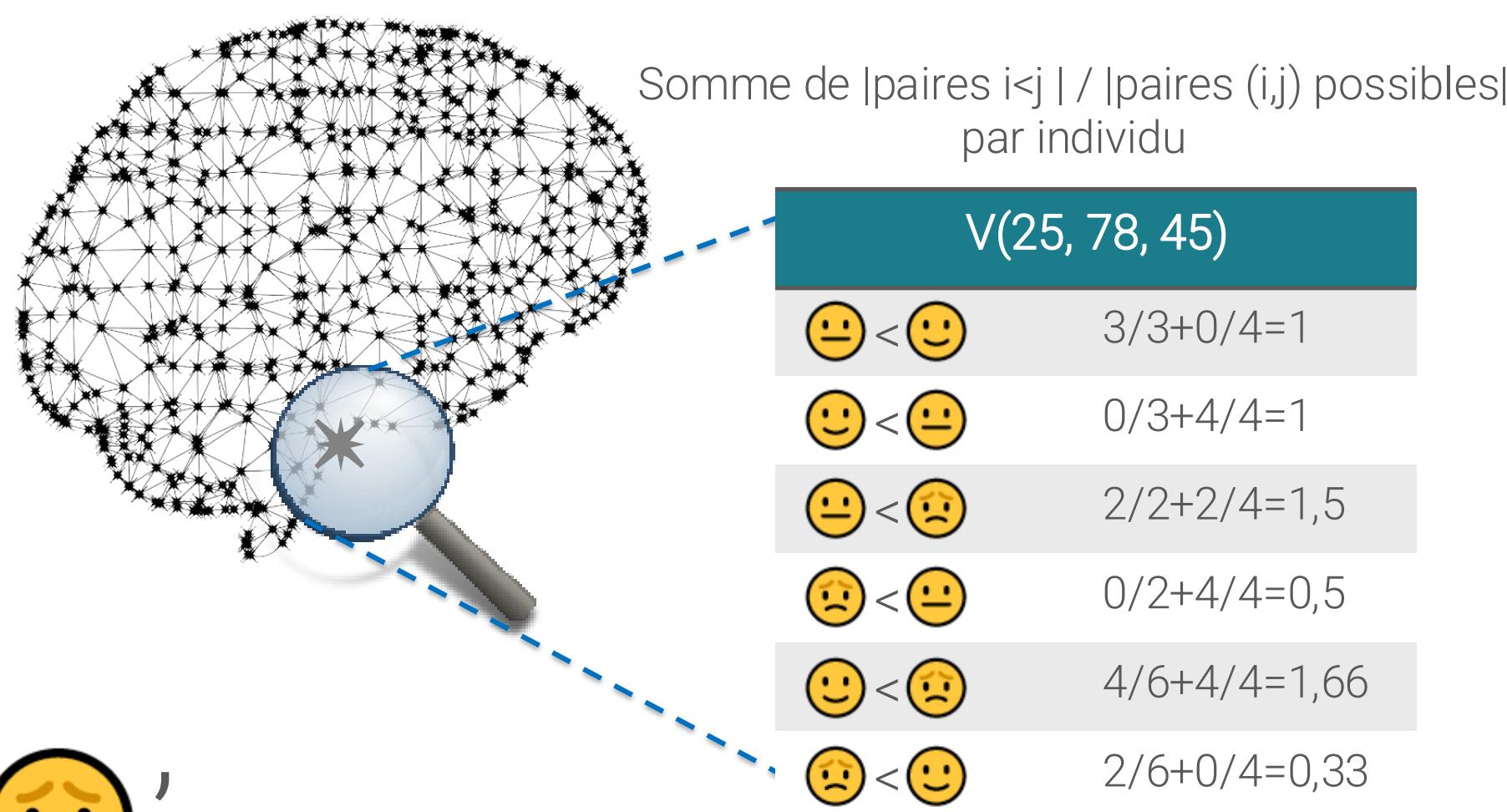
Pour chaque voxel de chaque individu



A sequence of six yellow smiley faces with black outlines. The first, third, and fifth faces have neutral expressions with thin horizontal lines for mouths. The second and fourth faces are smiling with curved mouths. The sixth face is frowning with downward-curving eyebrows and a small frown at the bottom. The sequence is separated by commas.

## Description des sommets

Exemple : s1 : ' 😐 , 😊 , 😞 , 😊 , 😊 , 😞 '      s2 : ' 😊 , 😊 , 😞 , 😐 , 😐 , 😞 '

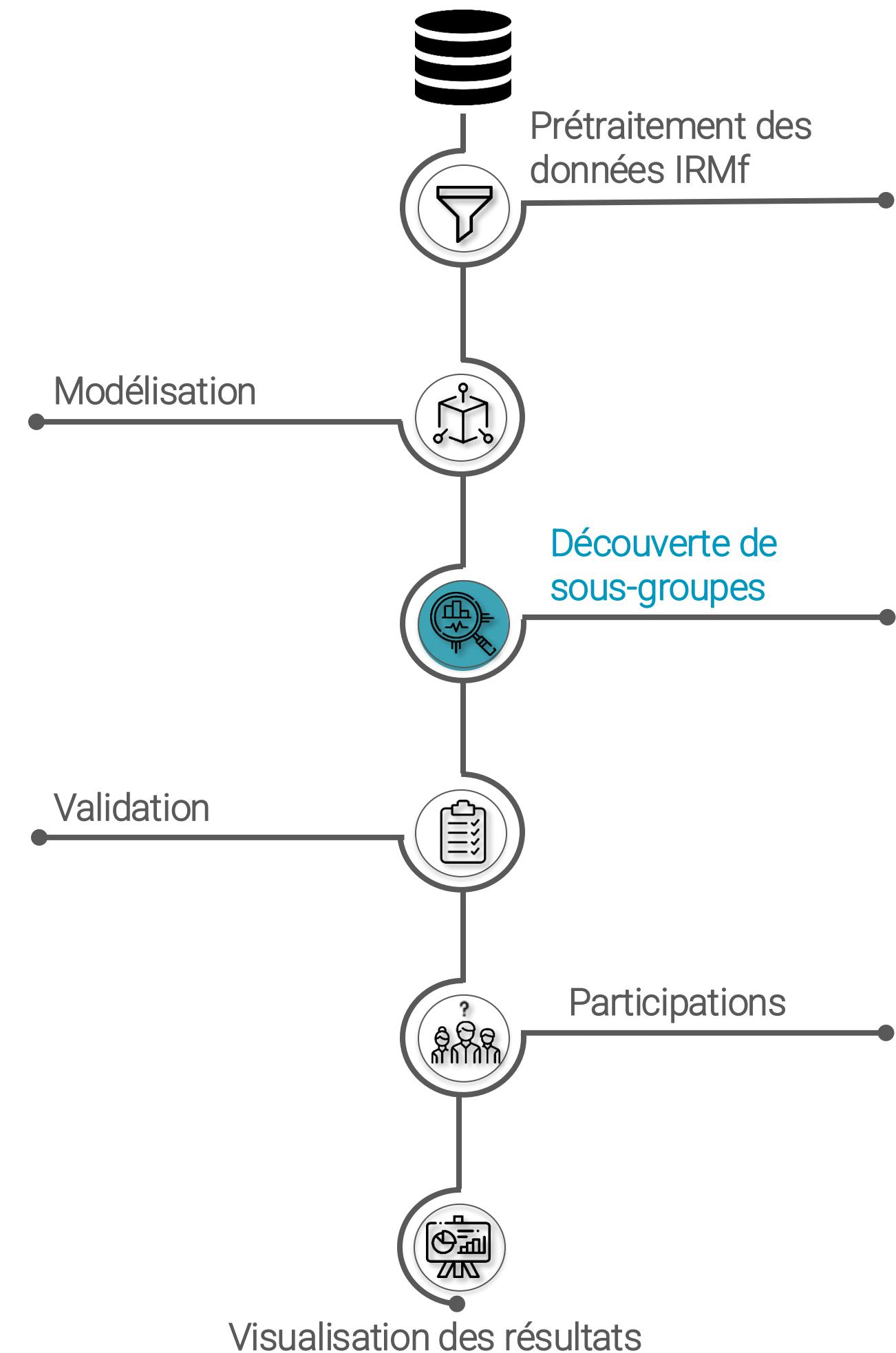


## Découverte de sous-groupes

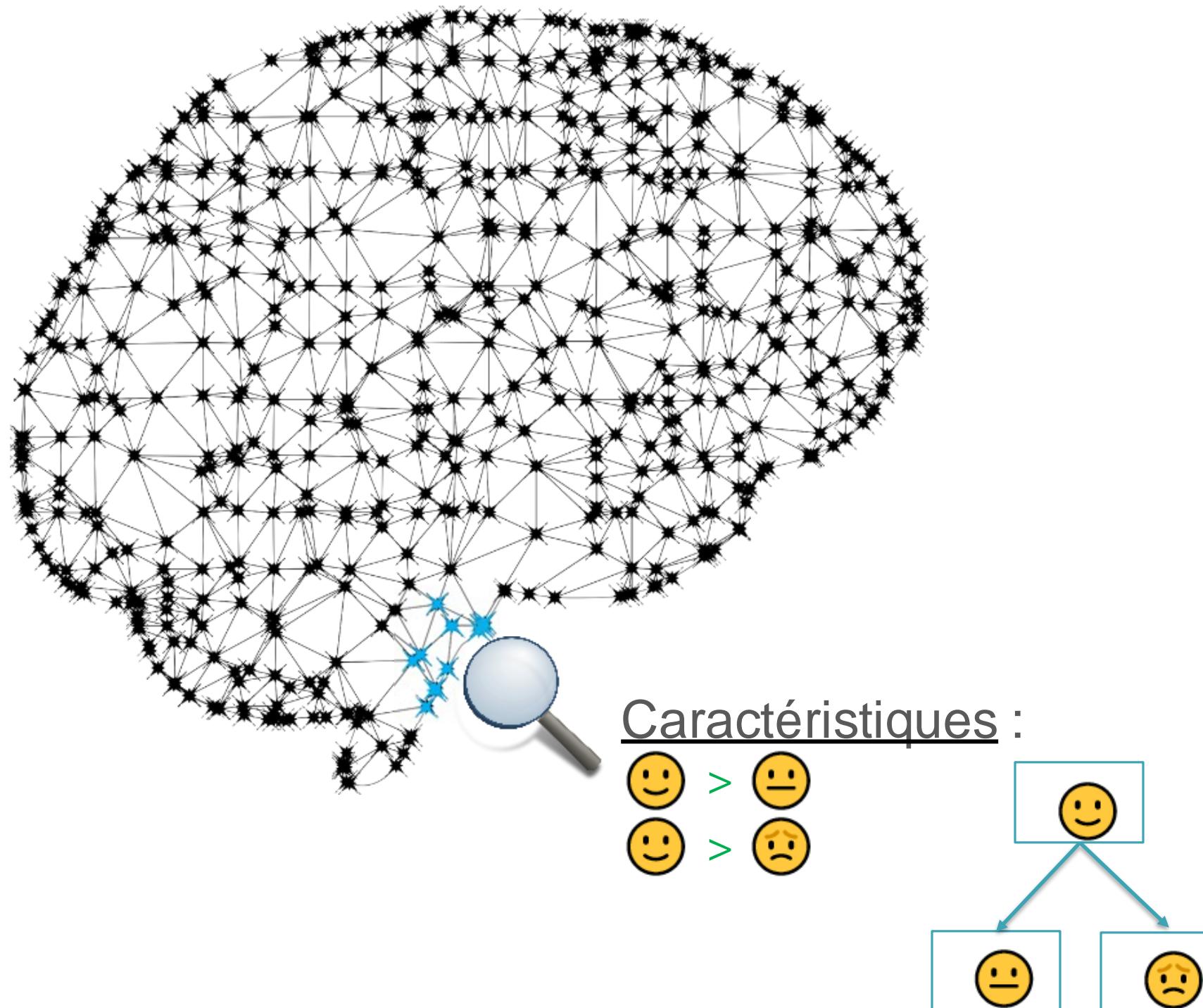
Recherche de sous-graphes attribués exceptionnels

Algorithme utilisé : **C-energetics** qui cherche des ensembles de voxels connectés associés à des paires dont la valeur est exceptionnellement élevée par rapport au reste du graphe.

Mesure de qualité : la WRAcc



# Extraction de sous-graphes exceptionnels



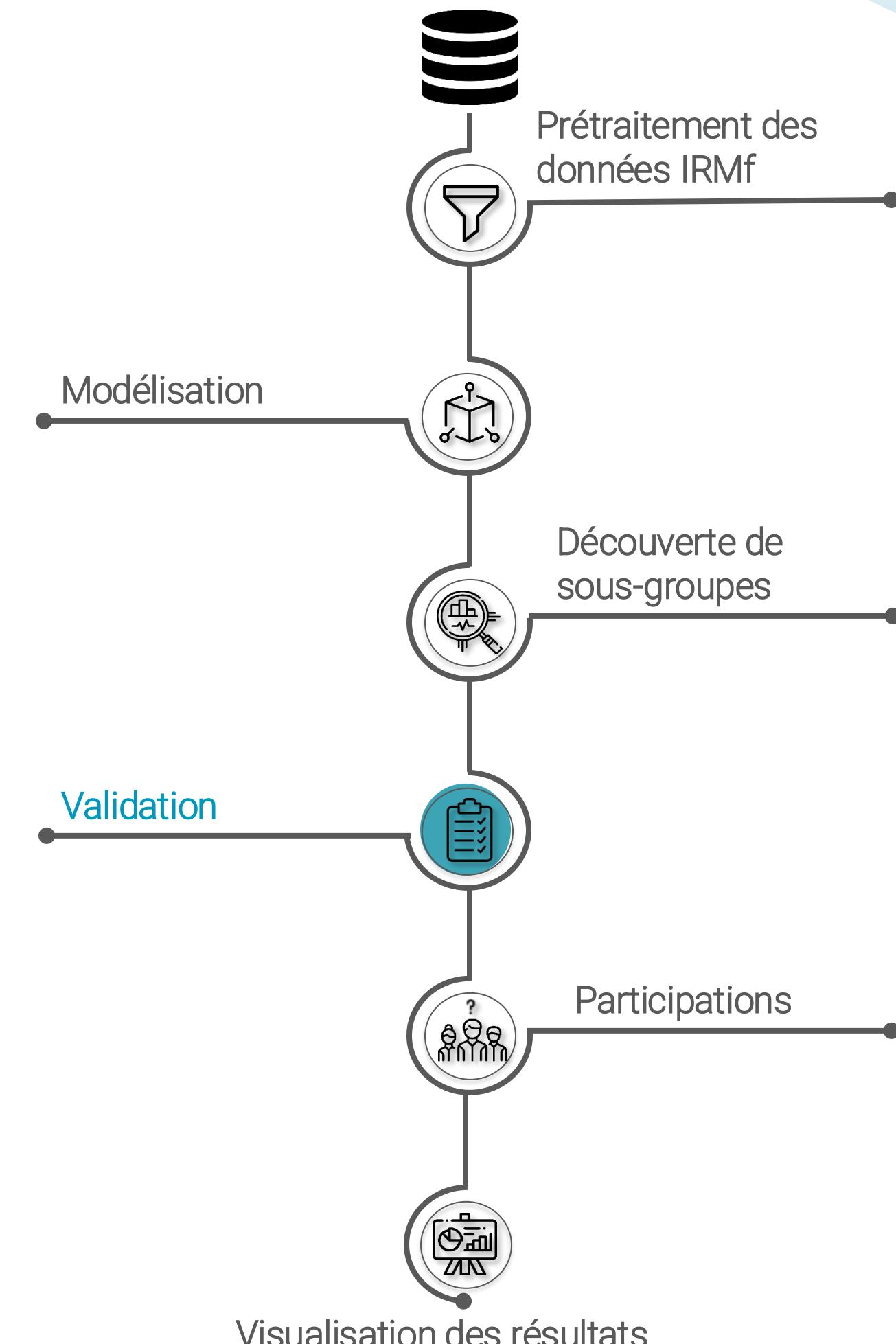
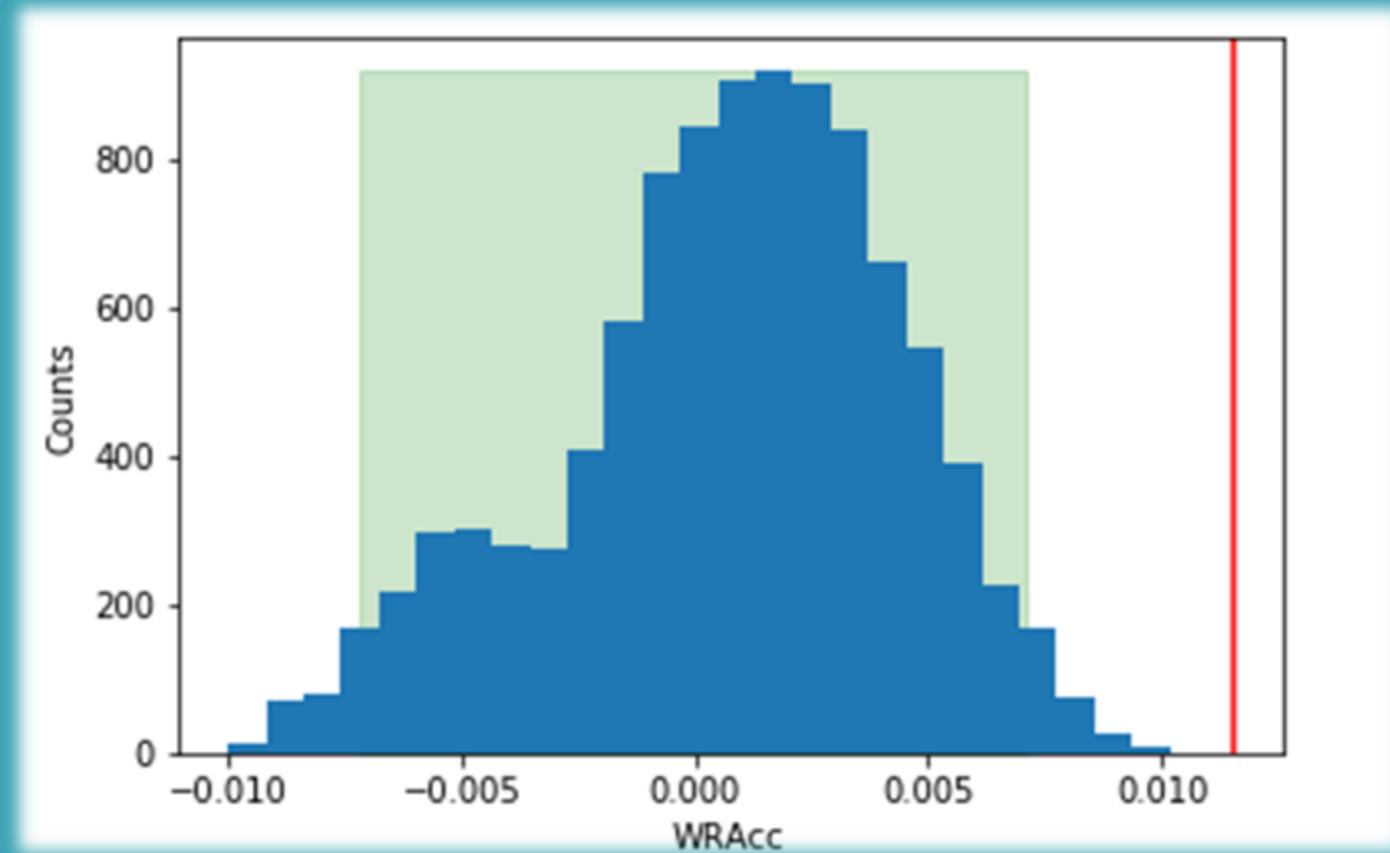
## Filtrage des motifs :

- I. Motifs plaisants : > ,
- II. Motifs déplaisants: > ,

## Validation

Bootstrap : tirage de 10.000 sous-graphes connexes aléatoires de même taille que le motif à valider et calcul de leur WRAcc.

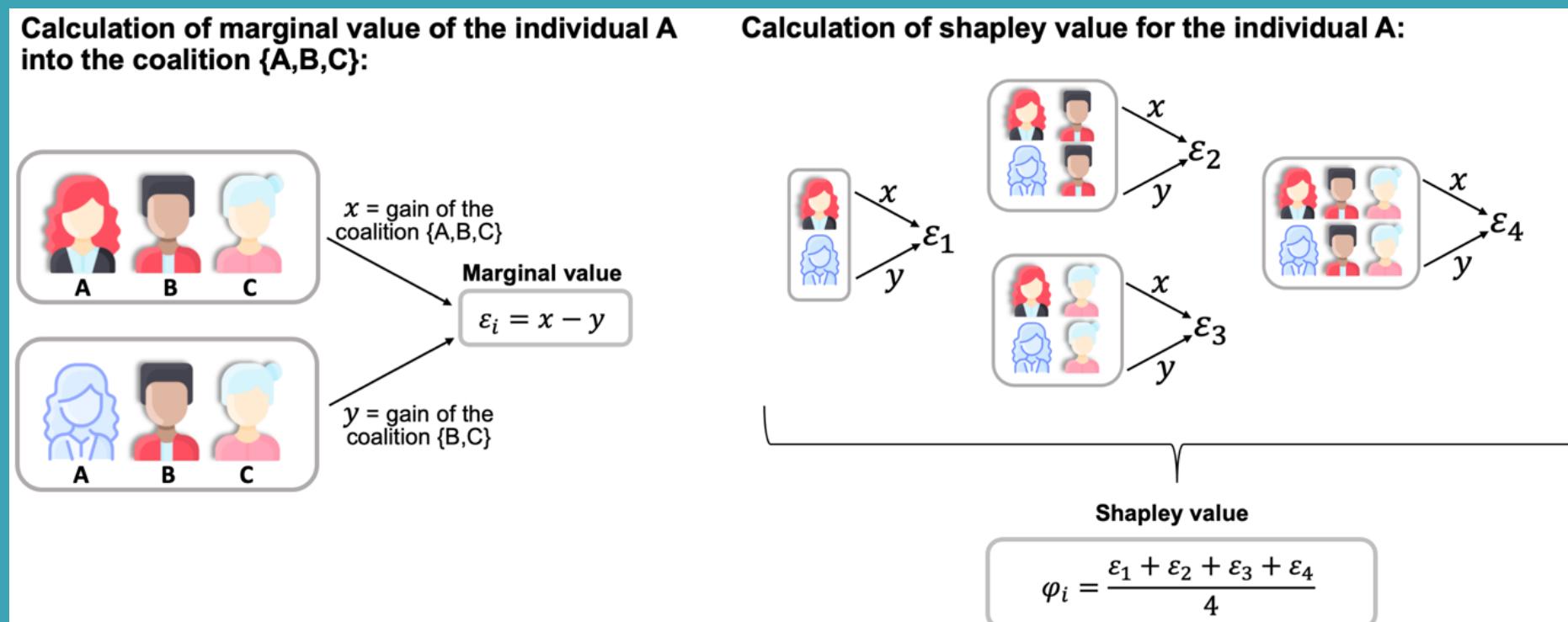
Si la WRAcc du motif courant est hors de l'intervalle de confiance ( $\alpha=0.05$ ) de cette distribution : le motif est validé.



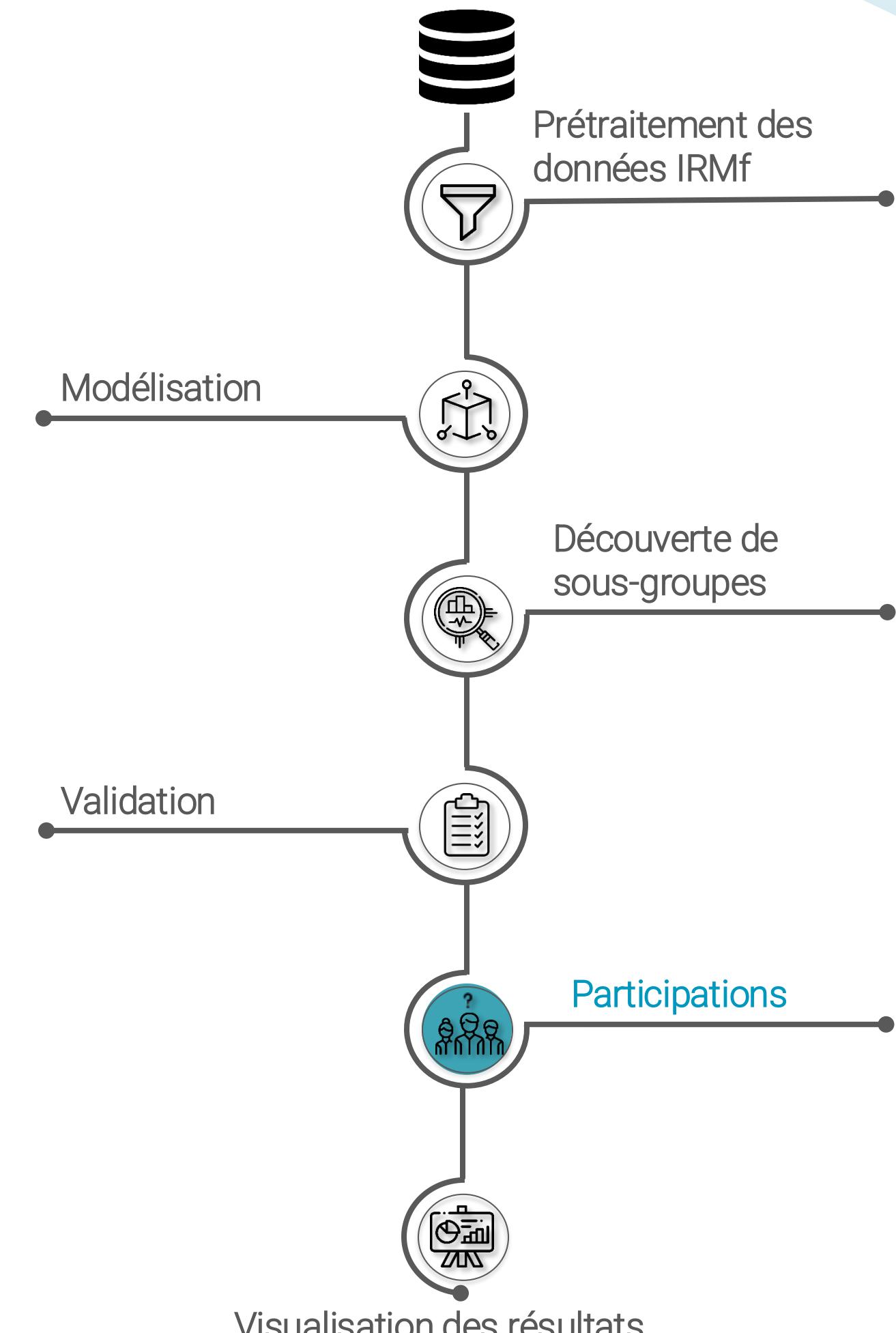
## Participation

Calcul du nombre d'individus participant au motif et quantification de leur participation

## Valeur de Shapley

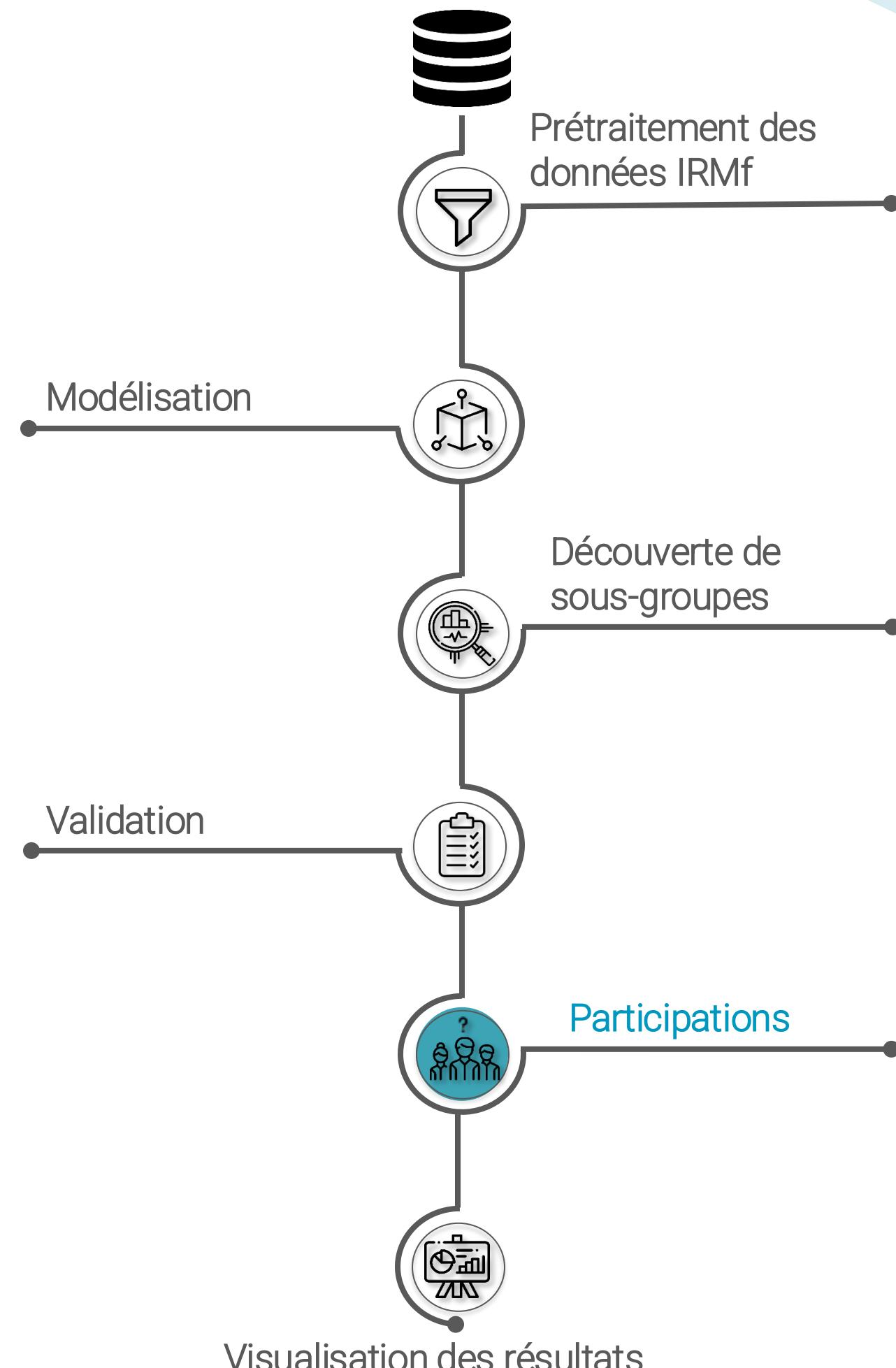
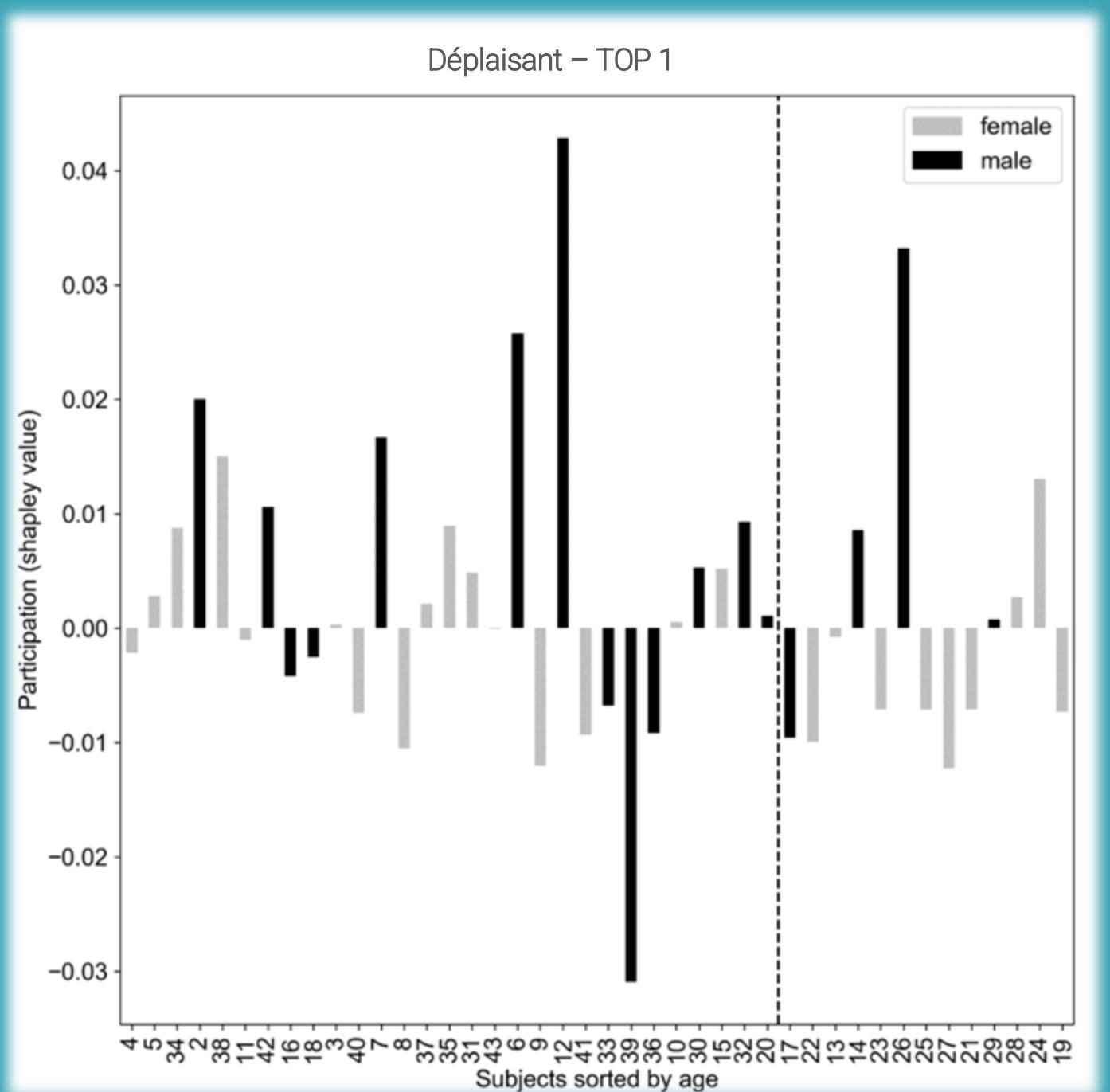


Shapley, 1988

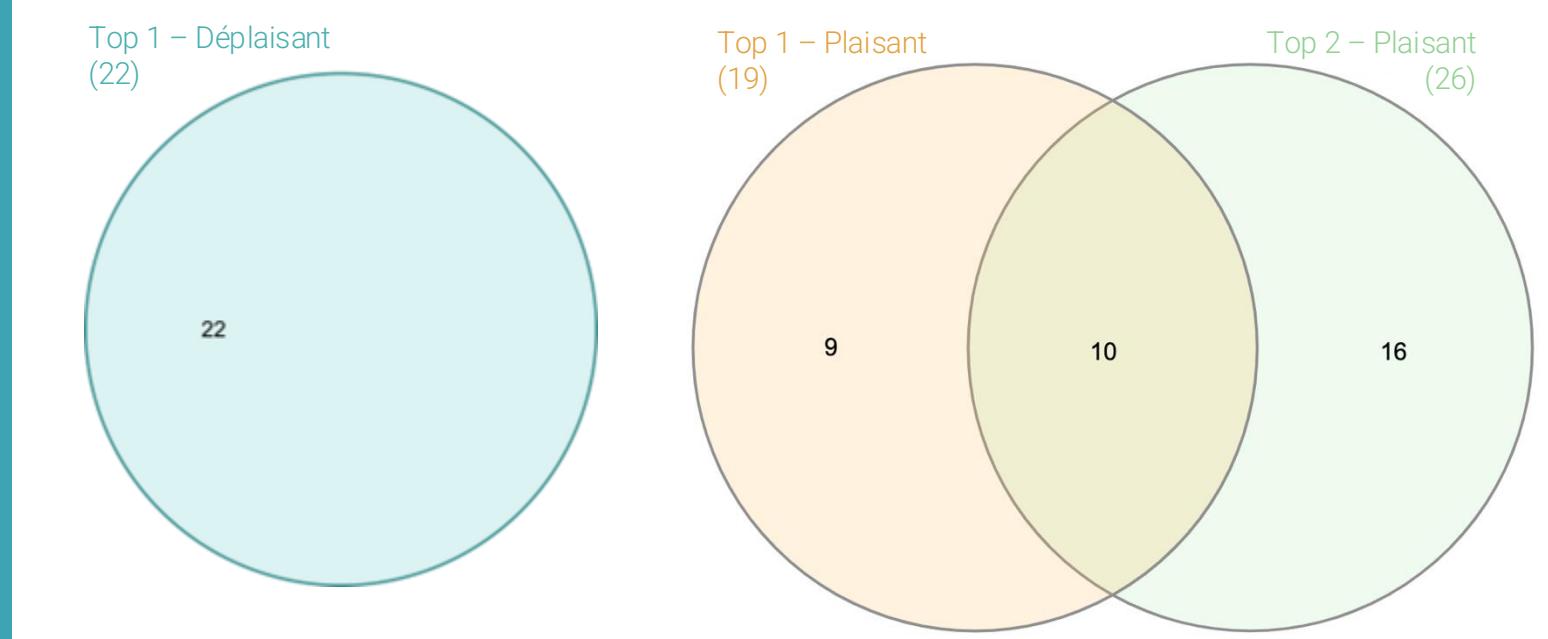
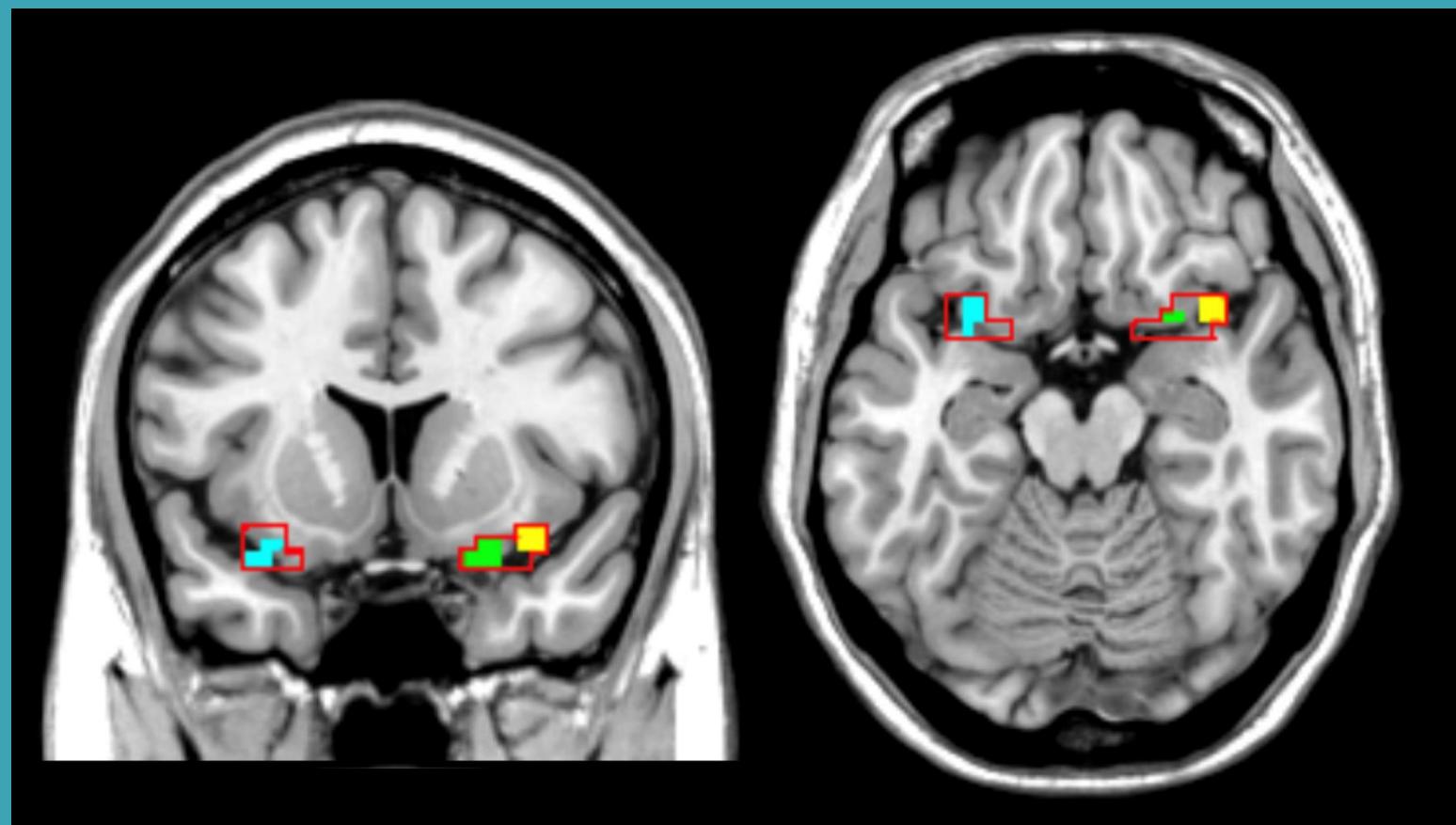


# Participation

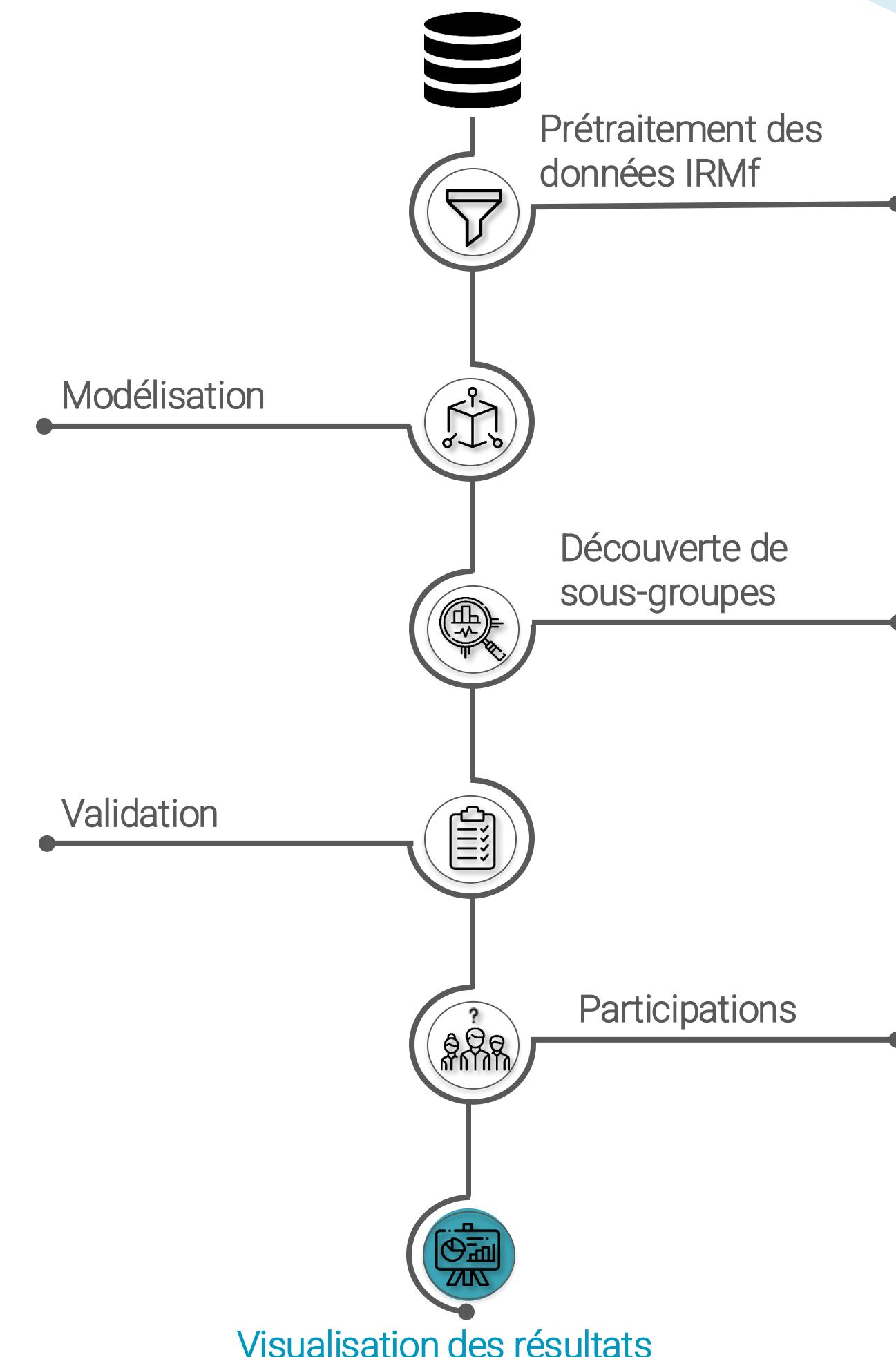
Calcul du nombre d'individus participant au motif et quantification de leur participation



## Résultats: Cortex Piriforme Antérieur



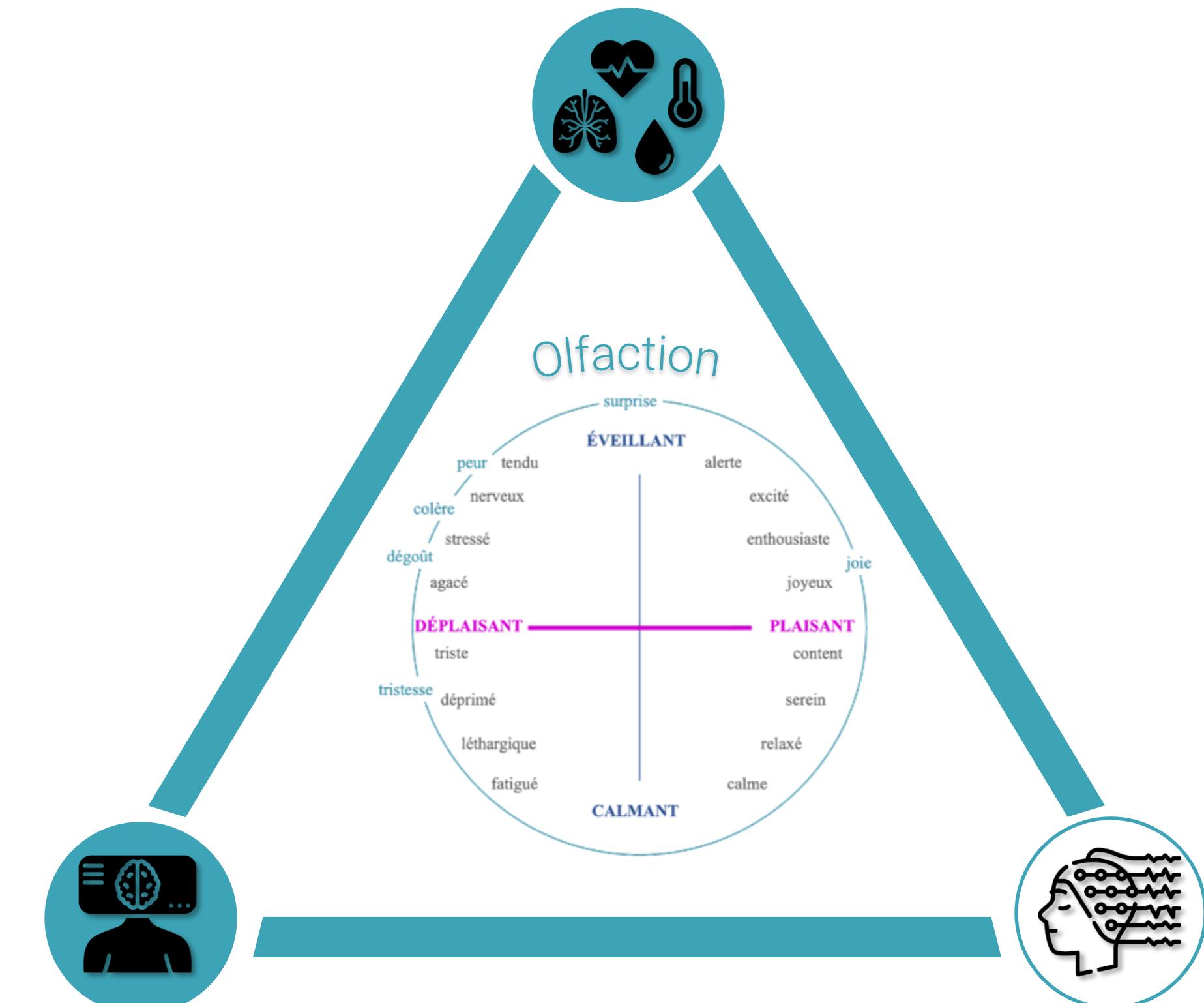
Gottfried et al., 2003 ; Bensafi et al., 2007



# Conclusion

	Étude 2
Résultats en accord avec la littérature	Latéralisation à gauche des odeurs déplaisantes dans le cortex piriforme antérieur.
Résultats nouveaux	Plus grande variabilité individuelle pour les odeurs plaisantes que déplaisantes.

## Étude 1 - psychophysiologie



Étude 2 - IRMf

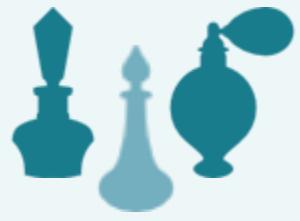
Étude 3 - EEG

# Étude 3 : EEG

Expérience :



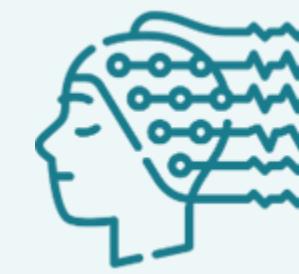
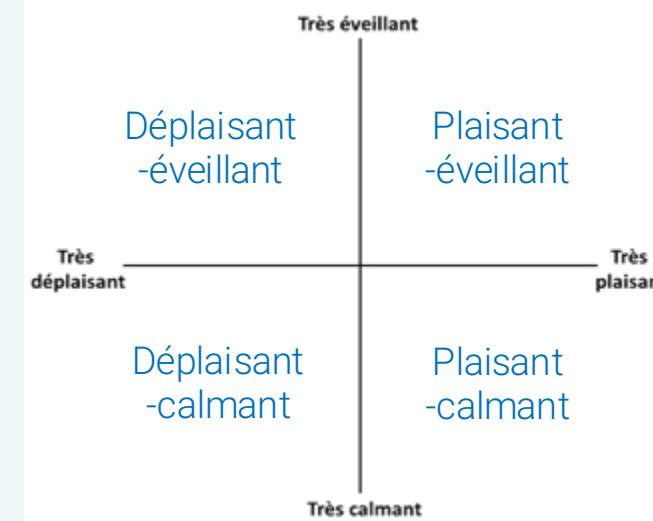
24 participants



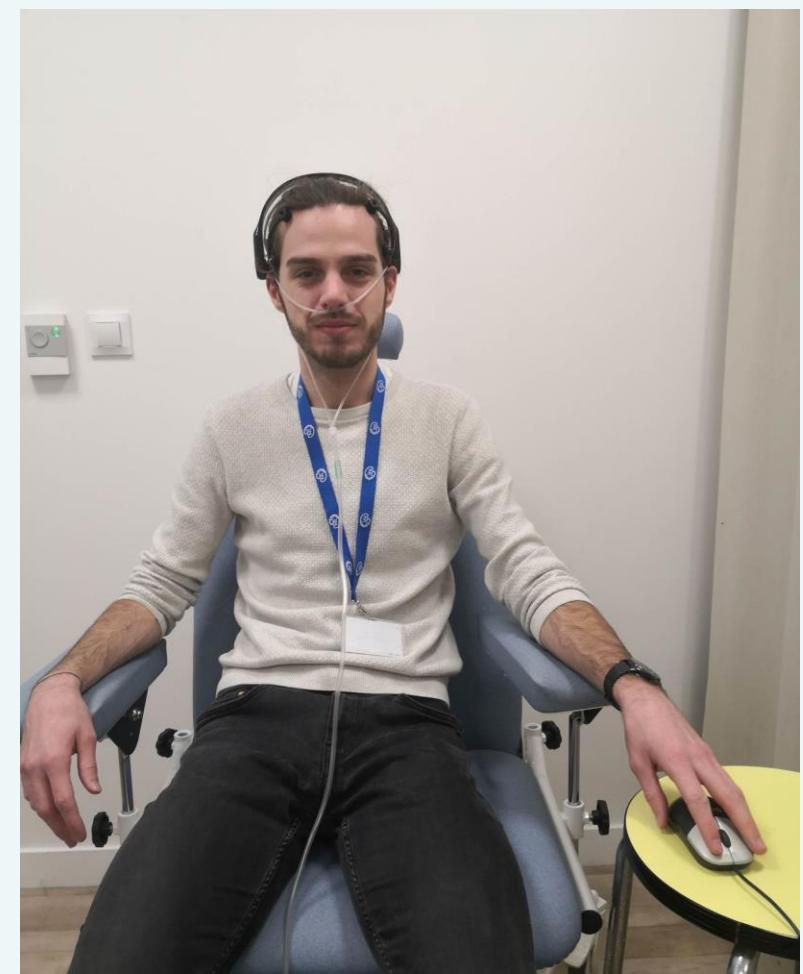
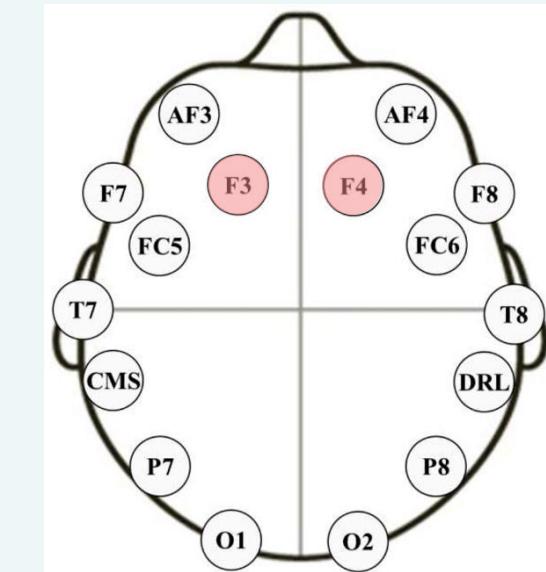
6 odorants



2 notes perceptives



Casque EMOTIV EPOC X



Objectif : décrire la valence et l'éveil émotionnel perçus à partir des enregistrements des électrodes frontales F3 et F4

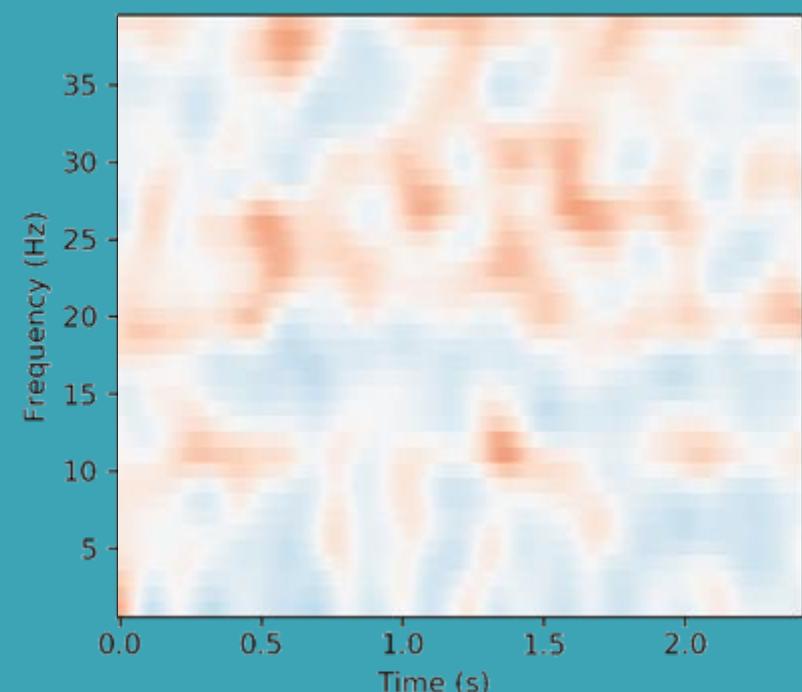
## Prétraitements

Prétraitement avec MNE :

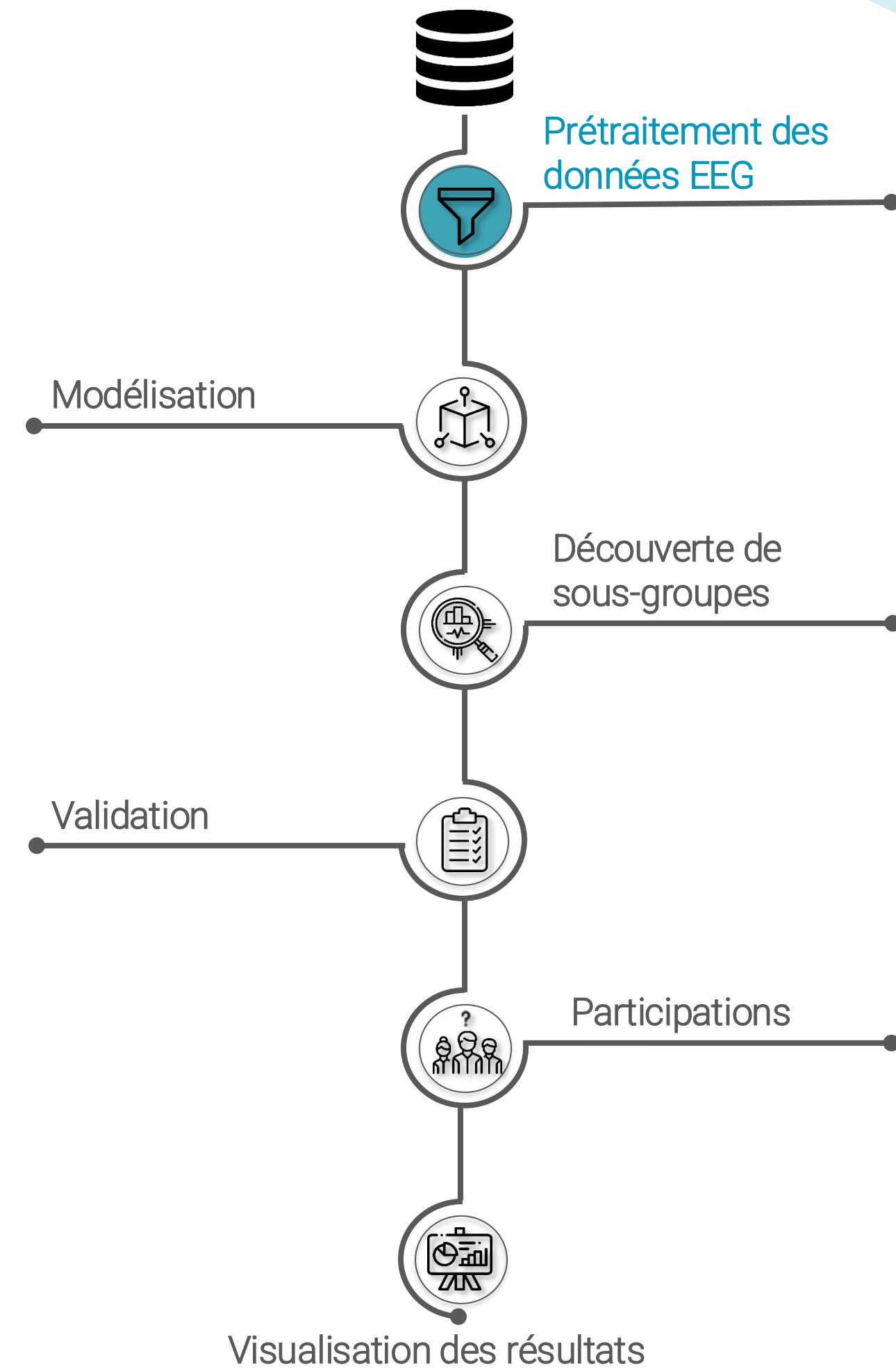
- Filtre passe-bande : 1 à 40 Hz
- Segmentation en epochs
- Tri : suppression des mauvais signaux
- Correction des clignements de yeux
- Soustraction de la baseline du signal
- Moyenne d'une même odeur pour un même individu

À l'issue de ce prétraitement, on dispose donc d'un signal EEG temps-fréquence pour chaque triplet sujet, odeur et électrode.

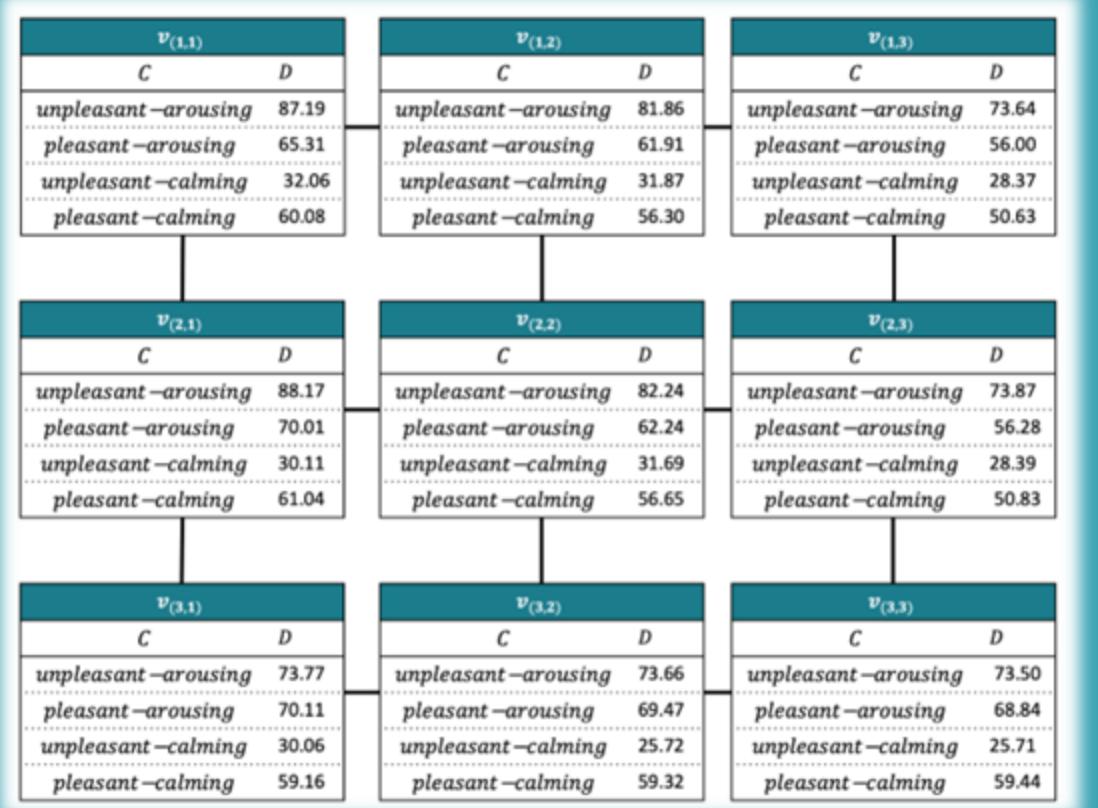
F4



Olfaction et temps-fréquence  
(Huart et al., 2012)



Modélisation sous forme de graphe attribué à partir des tableaux temps-fréquences



$v_{(1,1)}$		$v_{(1,2)}$		$v_{(1,3)}$	
C	D	C	D	C	D
unpleasant-arousing	87.19	unpleasant-arousing	81.86	unpleasant-arousing	73.64
pleasant-arousing	65.31	pleasant-arousing	61.91	pleasant-arousing	56.00
unpleasant-calming	32.06	unpleasant-calming	31.87	unpleasant-calming	28.37
pleasant-calming	60.08	pleasant-calming	56.30	pleasant-calming	50.63

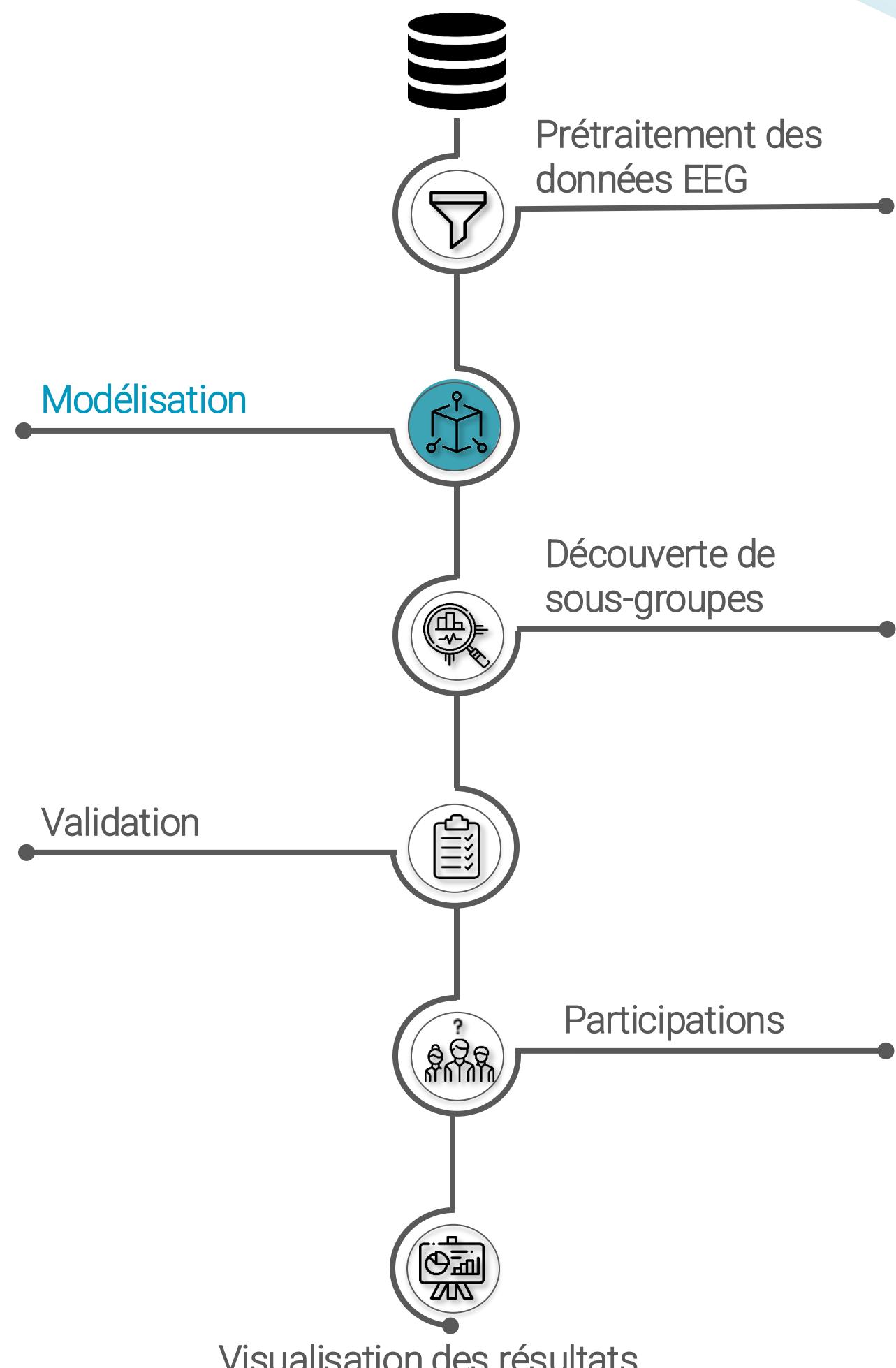
  

$v_{(2,1)}$		$v_{(2,2)}$		$v_{(2,3)}$	
C	D	C	D	C	D
unpleasant-arousing	88.17	unpleasant-arousing	82.24	unpleasant-arousing	73.87
pleasant-arousing	70.01	pleasant-arousing	62.24	pleasant-arousing	56.28
unpleasant-calming	30.11	unpleasant-calming	31.69	unpleasant-calming	28.39
pleasant-calming	61.04	pleasant-calming	56.65	pleasant-calming	50.83

$v_{(3,1)}$		$v_{(3,2)}$		$v_{(3,3)}$	
C	D	C	D	C	D
unpleasant-arousing	73.77	unpleasant-arousing	73.66	unpleasant-arousing	73.50
pleasant-arousing	70.11	pleasant-arousing	69.47	pleasant-arousing	68.84
unpleasant-calming	30.06	unpleasant-calming	25.72	unpleasant-calming	25.71
pleasant-calming	59.16	pleasant-calming	59.32	pleasant-calming	59.44

- un sommet  $V$  correspond à un couple temps-fréquence
- une arête  $E$  relie les points temps-fréquences adjacents
- un attribut de sommet  $C$  correspond au 4 catégories émotionnelles
- l'ensemble des attributs  $C$  est associé à chaque sommet et leurs valeurs  $D$  décrivent l'activité du point temps-fréquence correspondant



# Modélisation

The figure displays a 3x3 grid of tables representing correlation coefficients  $v_{ij}$  for three studies (Etude 1, Etude 2, Etude 3). Each table has two columns: C (Correlation) and D (Distance). The rows represent different stimulus pairs: unpleasant-arousing, pleasant-arousing, unpleasant-calming, and pleasant-calming. The values range from approximately 30 to 88.

$v_{(1,1)}$		$v_{(1,2)}$		$v_{(1,3)}$	
C	D	C	D	C	D
unpleasant-arousing	87.19	unpleasant-arousing	81.86	unpleasant-arousing	73.64
pleasant-arousing	65.31	pleasant-arousing	61.91	pleasant-arousing	56.00
unpleasant-calming	32.06	unpleasant-calming	31.87	unpleasant-calming	28.37
pleasant-calming	60.08	pleasant-calming	56.30	pleasant-calming	50.63

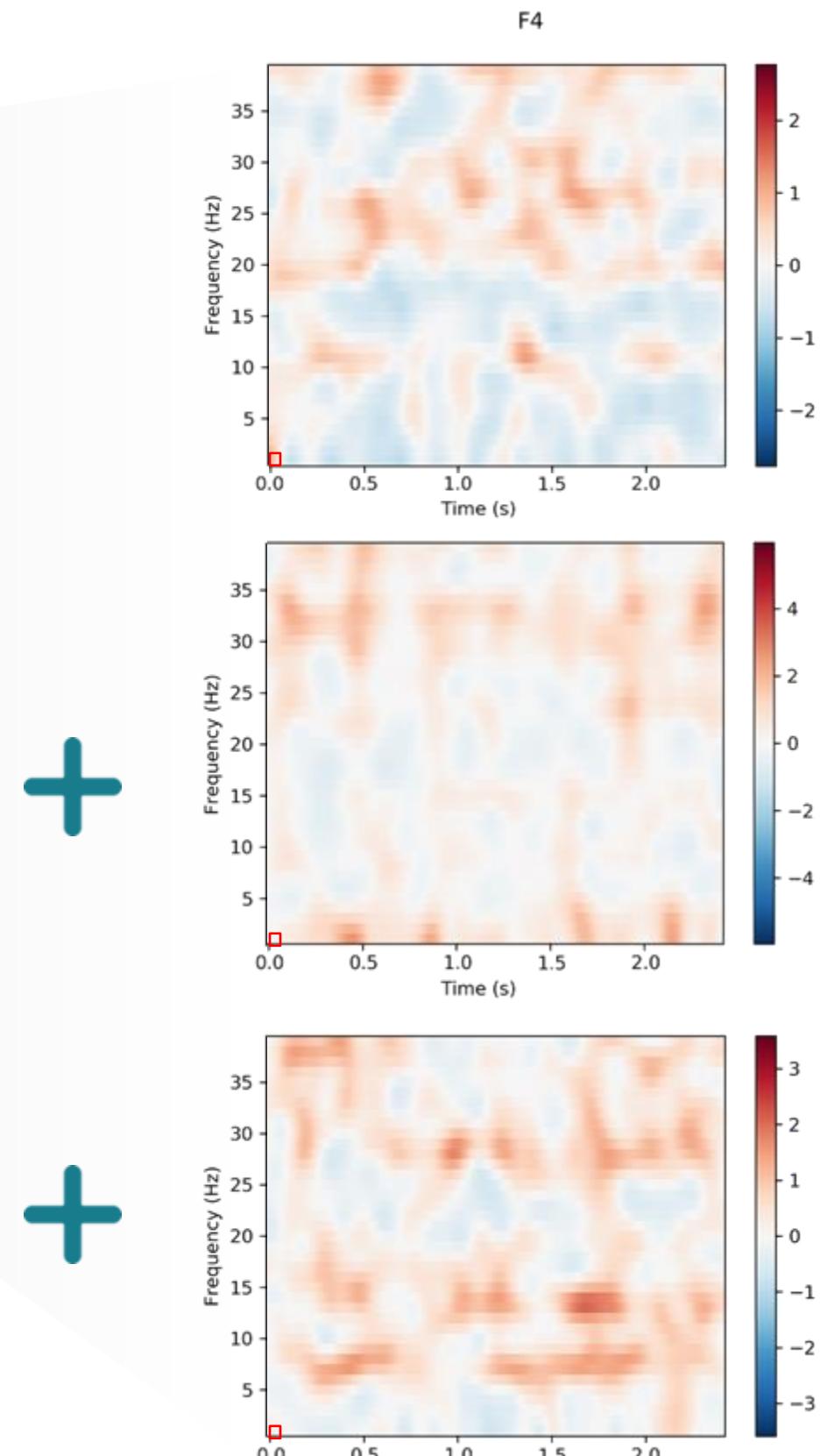
  

$v_{(2,1)}$		$v_{(2,2)}$		$v_{(2,3)}$	
C	D	C	D	C	D
unpleasant-arousing	88.17	unpleasant-arousing	82.24	unpleasant-arousing	73.87
pleasant-arousing	70.01	pleasant-arousing	62.24	pleasant-arousing	56.28
unpleasant-calming	30.11	unpleasant-calming	31.69	unpleasant-calming	28.39
pleasant-calming	61.04	pleasant-calming	56.65	pleasant-calming	50.83

$v_{(3,1)}$		$v_{(3,2)}$		$v_{(3,3)}$	
C	D	C	D	C	D
unpleasant-arousing	73.77	unpleasant-arousing	73.66	unpleasant-arousing	73.50
pleasant-arousing	70.11	pleasant-arousing	69.47	pleasant-arousing	68.84
unpleasant-calming	30.06	unpleasant-calming	25.72	unpleasant-calming	25.71
pleasant-calming	59.16	pleasant-calming	59.32	pleasant-calming	59.44

Odeurs déplaisantes-éveillantes :



# Découverte de sous-graphes exceptionnels avec C-energetics



Three sets of tables showing C-energetics values for different affective dimensions across three studies.

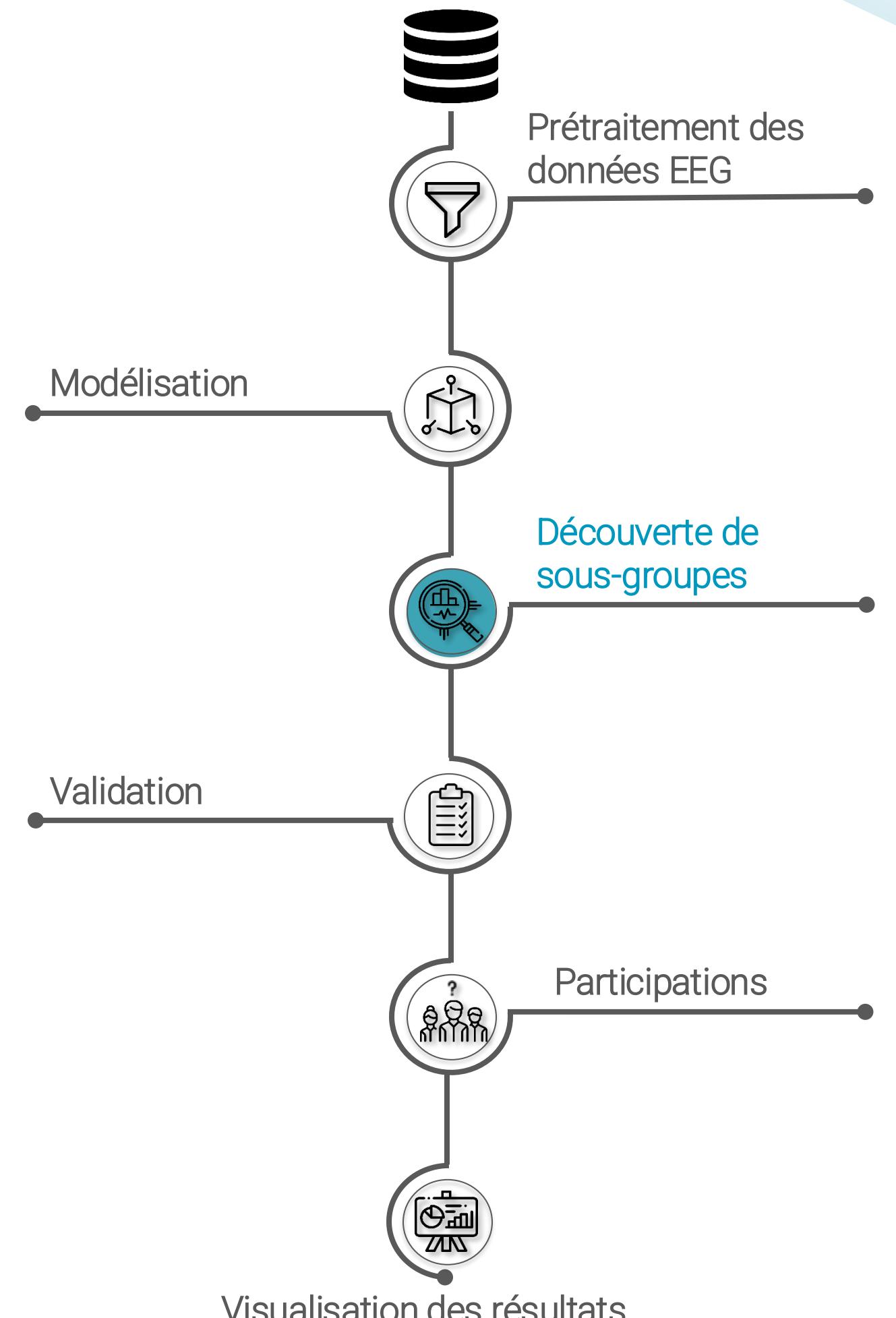
$v_{(1,1)}$		$v_{(1,2)}$		$v_{(1,3)}$	
C	D	C	D	C	D
<b>unpleasant–arousing</b>	87.19	<b>unpleasant–arousing</b>	81.86	<b>unpleasant–arousing</b>	73.64
pleasant–arousing	65.31	pleasant–arousing	61.91	pleasant–arousing	56.00
<b>unpleasant–calming</b>	32.06	<b>unpleasant–calming</b>	31.87	<b>unpleasant–calming</b>	28.37
pleasant–calming	60.08	pleasant–calming	56.30	pleasant–calming	50.63

$v_{(2,1)}$		$v_{(2,2)}$		$v_{(2,3)}$	
C	D	C	D	C	D
<b>unpleasant–arousing</b>	88.17	<b>unpleasant–arousing</b>	82.24	<b>unpleasant–arousing</b>	73.87
<b>pleasant–arousing</b>	70.01	pleasant–arousing	62.24	pleasant–arousing	56.28
<b>unpleasant–calming</b>	30.11	<b>unpleasant–calming</b>	31.69	<b>unpleasant–calming</b>	28.39
<b>pleasant–calming</b>	61.04	pleasant–calming	56.65	pleasant–calming	50.83

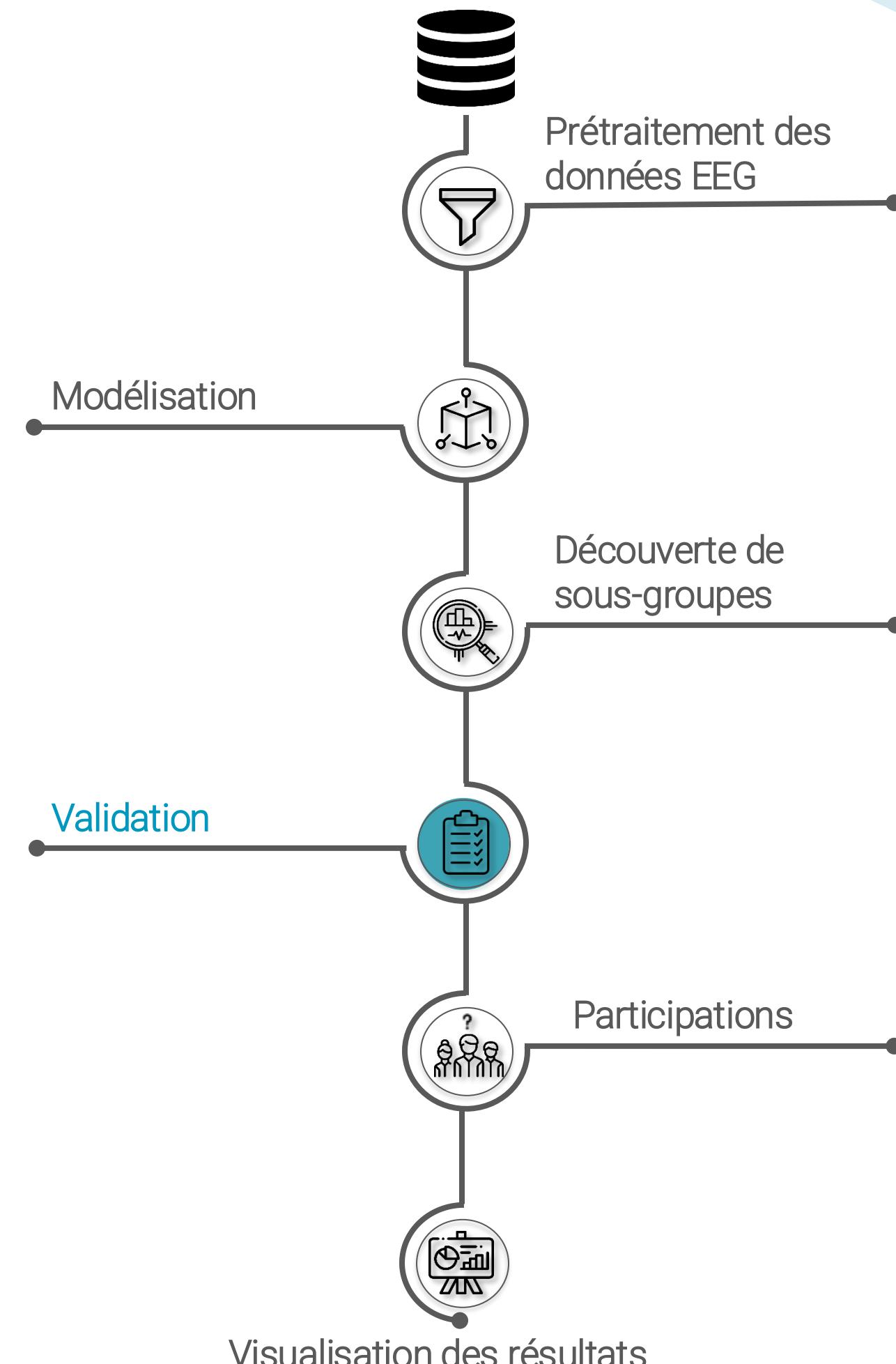
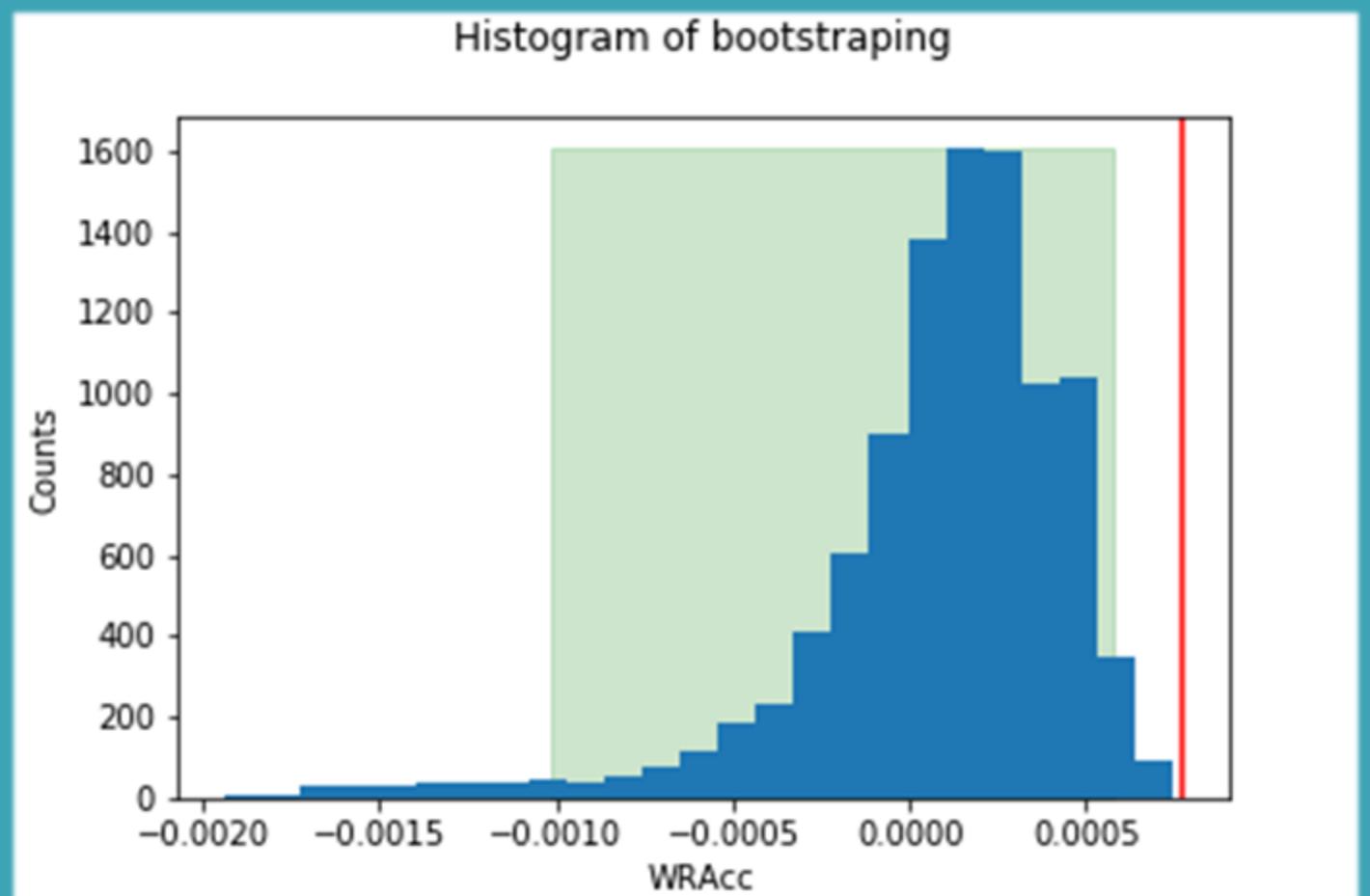
$v_{(3,1)}$		$v_{(3,2)}$		$v_{(3,3)}$	
C	D	C	D	C	D
<b>unpleasant–arousing</b>	73.77	<b>unpleasant–arousing</b>	73.66	<b>unpleasant–arousing</b>	73.50
<b>pleasant–arousing</b>	70.11	<b>pleasant–arousing</b>	69.47	<b>pleasant–arousing</b>	68.84
<b>unpleasant–calming</b>	30.06	<b>unpleasant–calming</b>	25.72	<b>unpleasant–calming</b>	25.71
<b>pleasant–calming</b>	59.16	<b>pleasant–calming</b>	59.32	<b>pleasant–calming</b>	59.44



## Validation

Bootstrap : tirage de 10.000 sous-graphes connexes aléatoires de même taille que le motif à valider et calcul de leur WRAcc.

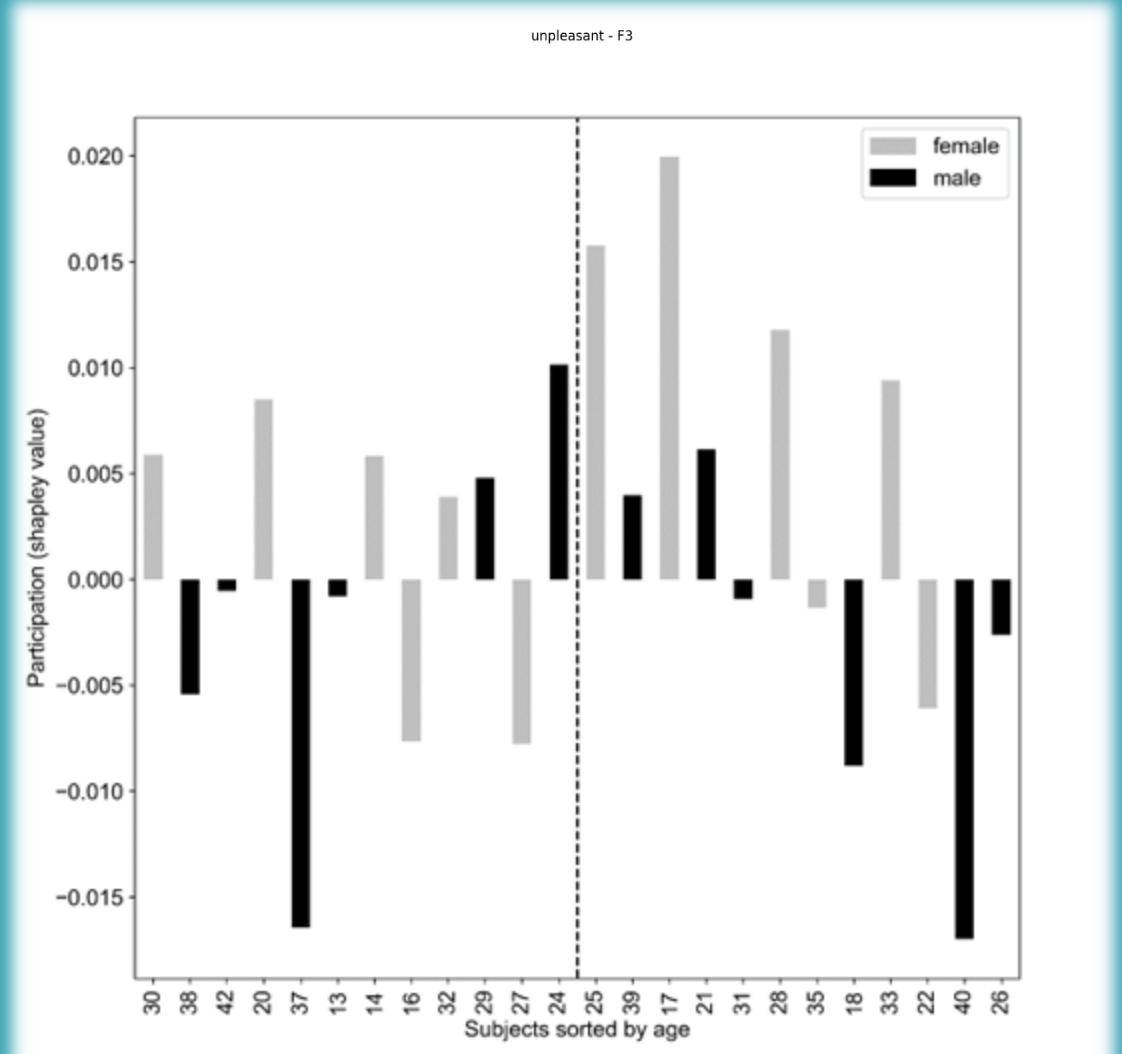
Si la WRAcc du motif courant est hors de l'intervalle de confiance ( $\alpha=0.05$ ) de cette distribution : le motif est validé.



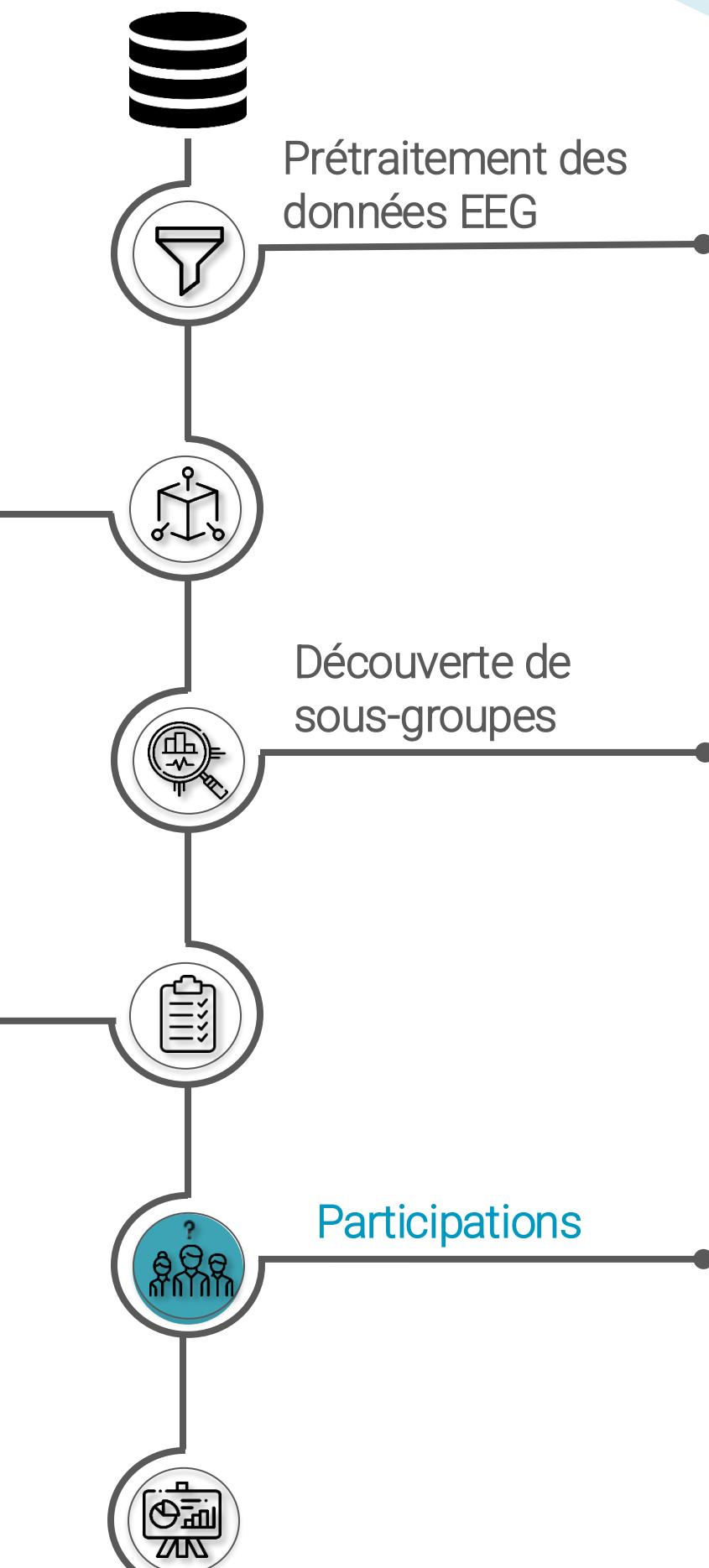
## Participation

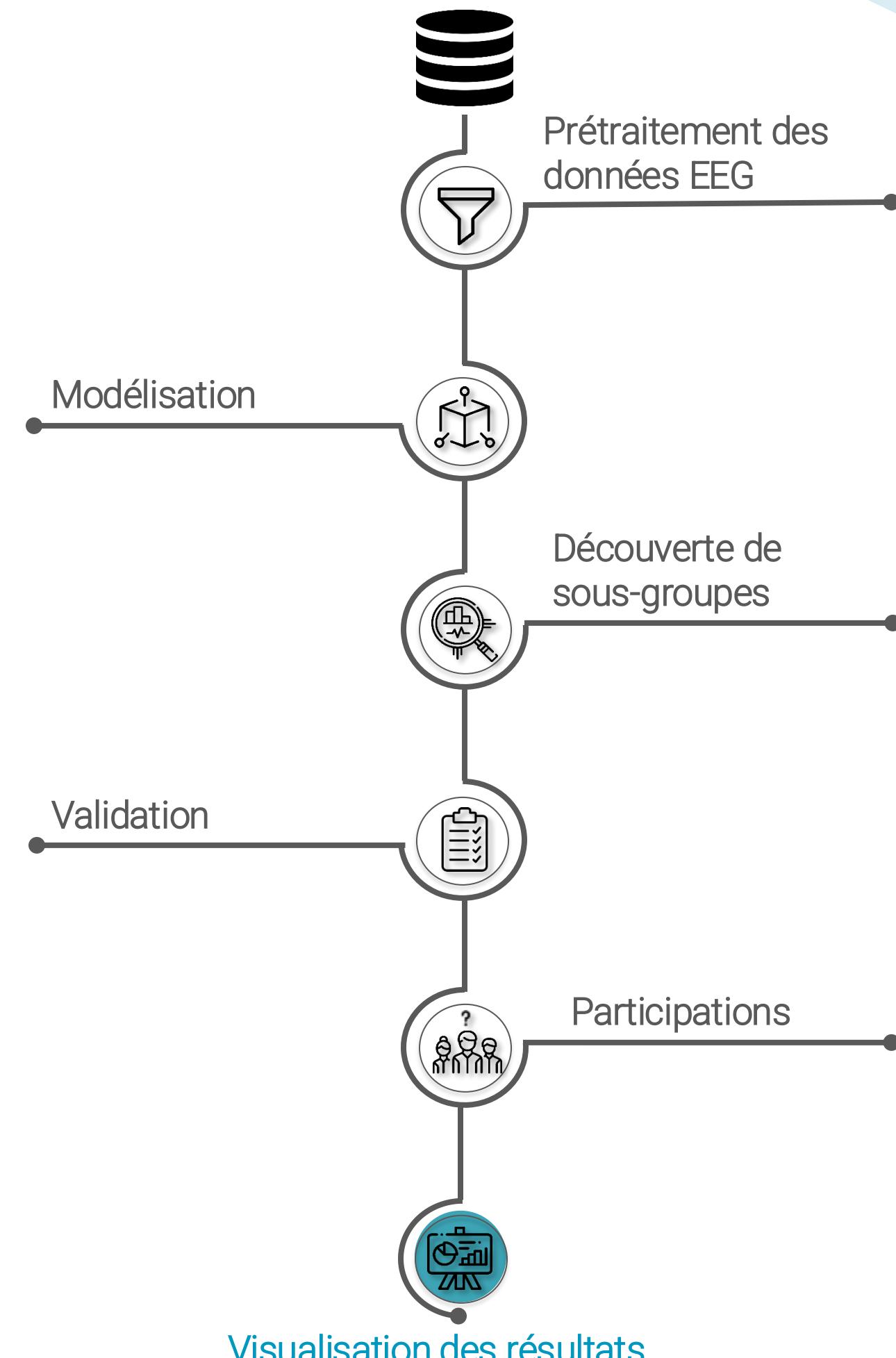
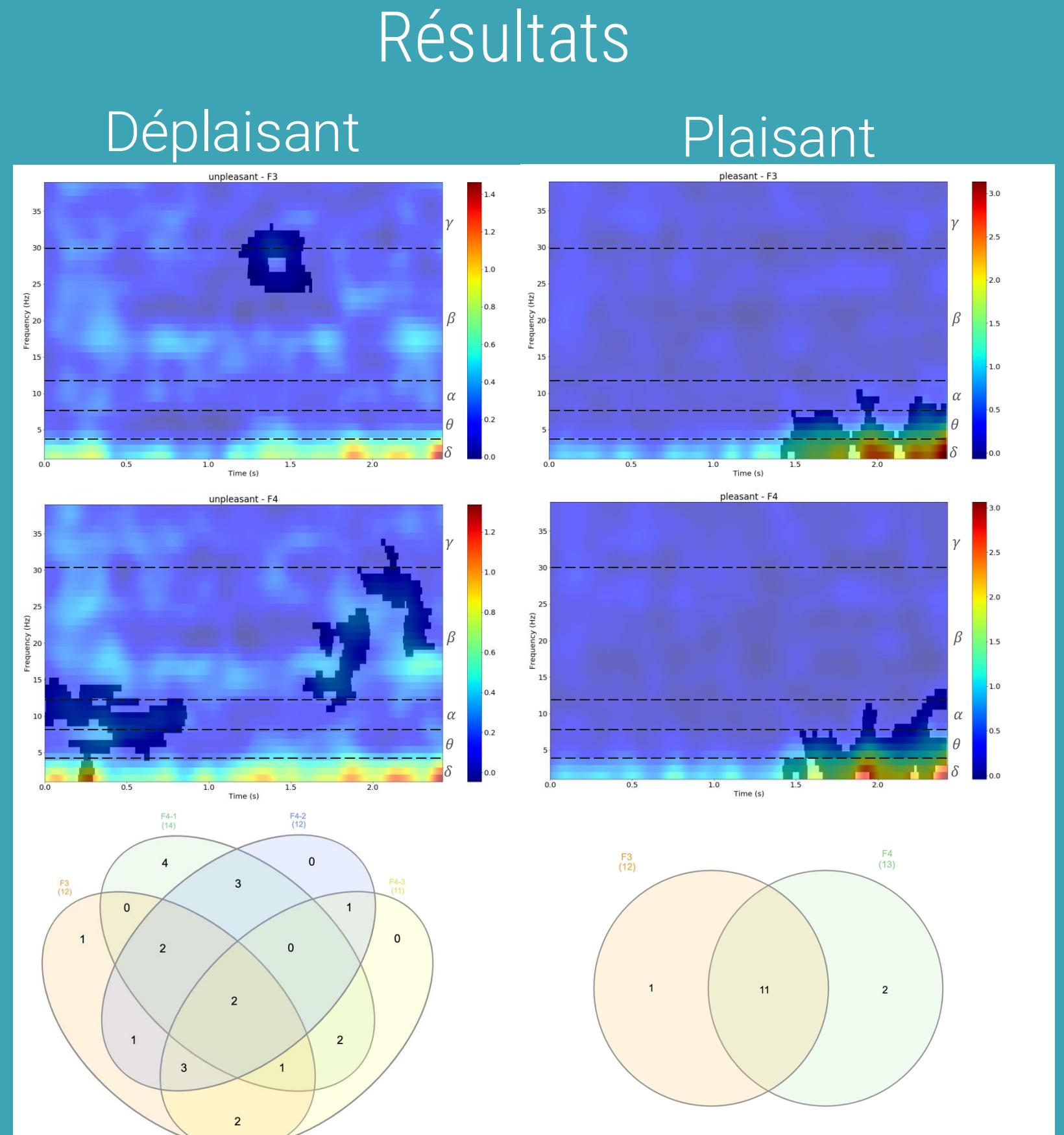
Calcul du nombre d'individus participant au motif et quantification de leur participation

### Valeur de Shapley



Shapley, 1988





# Conclusion

	Étude 3
Résultats en accord avec la littérature	<ul style="list-style-type: none"><li>- Activité plus rapide pour les odeurs déplaisantes que pour les odeurs plaisantes.</li><li>- Traitement plus accentué des odeurs déplaisantes dans l'hémisphère droit.</li><li>- Bandes de fréquence <math>\delta</math>, <math>\beta</math> et <math>\gamma</math> discriminant les odeurs déplaisantes et plaisantes.</li></ul>
Résultats nouveaux	Plus grande variabilité individuelle pour les odeurs déplaisantes que plaisantes.

# Discussion

## Pertinence de l'utilisation de l'approche

---

- Résultats en adéquation avec la littérature
- Résultats informatifs et détaillés
- Prise en compte de plusieurs dimensions simultanément
- Prise en compte de données hétérogènes
- Méthodologie adaptée à un jeu de données de taille moyenne et de grande taille
- Prise en compte de la variabilité individuelle

# Discussion

Représentation de la valeur hédonique au sein du système nerveux

---



IRMf

Activité asymétrique dans le cortex piriforme antérieur : les odeurs déplaisantes sont traitées préférentiellement à gauche et les odeurs plaisantes à droite.

Latéralisation du déplaisant à gauche du cortex piriforme postérieur.



EEG

Activité asymétrique pour le déplaisant avec un traitement plus accentué des odeurs déplaisantes dans l'hémisphère droit.

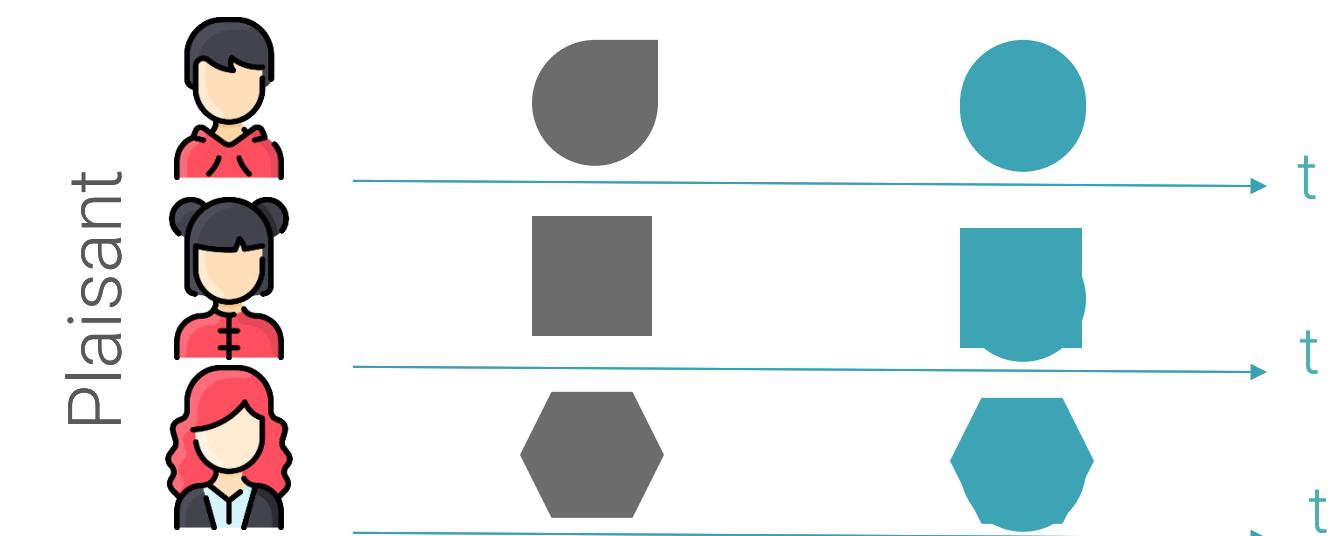
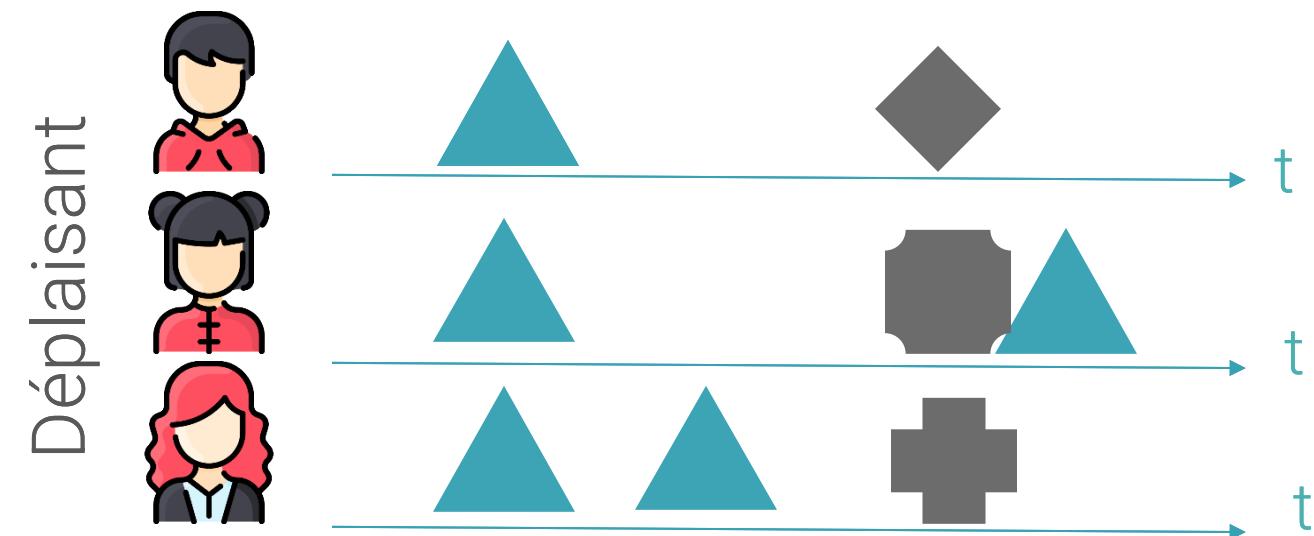
Activité plus rapide pour les odeurs déplaisantes que pour les odeurs plaisantes.

# Discussion

# Représentation de la valeur hédonique et variabilité inter-individuelle

Étude 1	Étude 2	Étude 3
Plus grande variabilité individuelle pour les odeurs plaisantes que déplaisantes	Plus grande variabilité individuelle pour les odeurs plaisantes que déplaisantes	Plus grande variabilité individuelle pour les odeurs déplaisantes que plaisantes

- localisation spatiale
- localisation temporelle



# Limites

---

- Ne pas étudier l'aspect temporel dans les études 1 et 2
- Résultats entre études peu comparables car les technologies utilisées et les participants sont différents
- Peu d'individus et d'odeurs
- Trop peu d'information concernant les facteurs de variabilité pour caractériser les sous-groupes
- Difficultés d'interprétation de motifs multi-dimensionnels ou complexes

# Perspectives

---

Tester les nouvelles hypothèses générées pendant la thèse en :

- étudiant l'aspect temporel dans l'étude 1 de psychophysiologie
- couplant les différentes technologies dans une même expérience

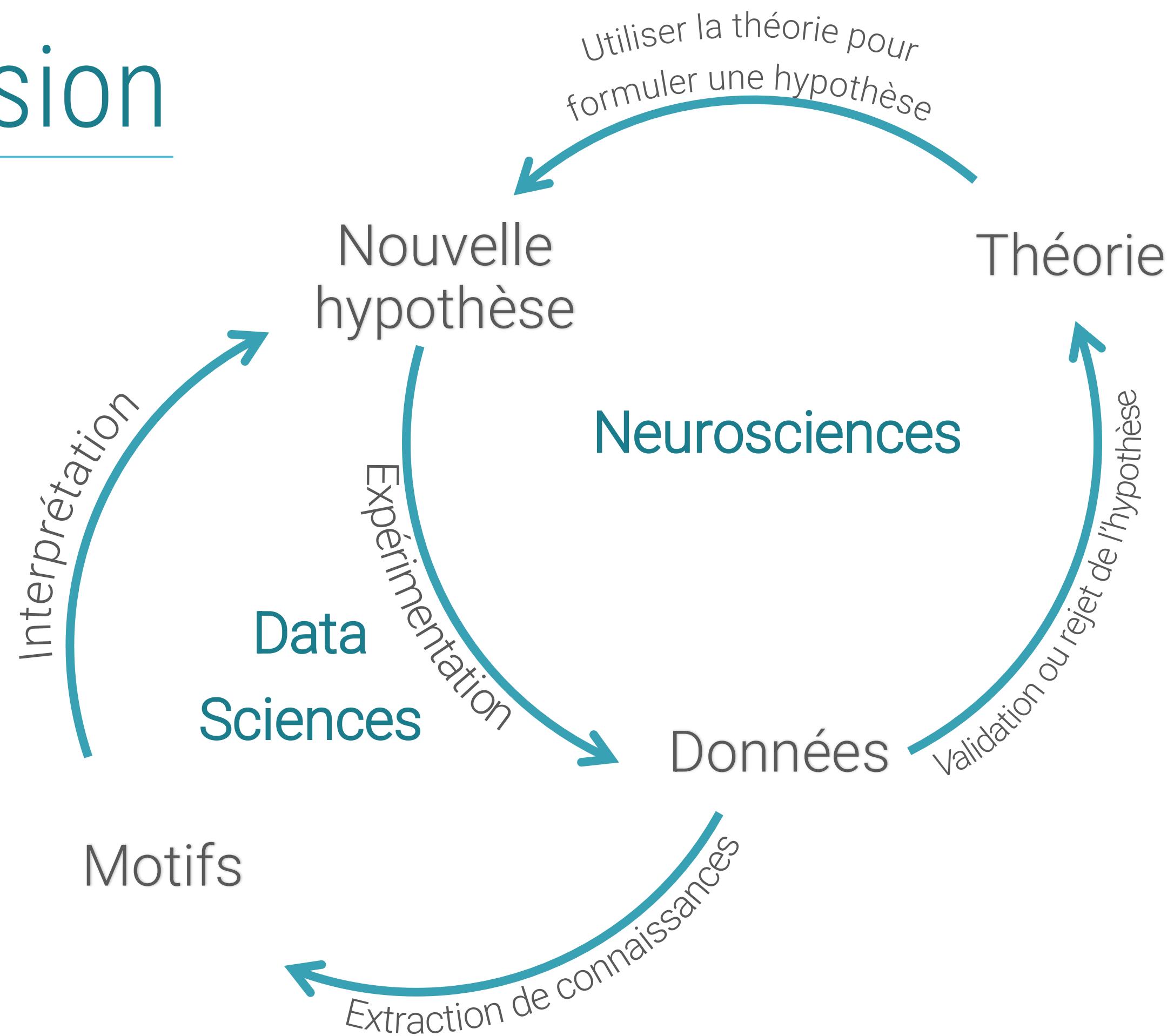
Caractériser les populations dans les sous-groupes :

- Prendre en compte plus de facteurs de variabilité
- Faire des expérimentations avec plus d'individus et d'odeurs ou une méta-analyse afin d'avoir un plus large éventail de données

Approche polyvalente qui peut être utilisée dans d'autres contextes neuroscientifiques

Exemple : données provenant d'expériences écologiques réalisées par de nombreux participants à leur domicile

# Conclusion



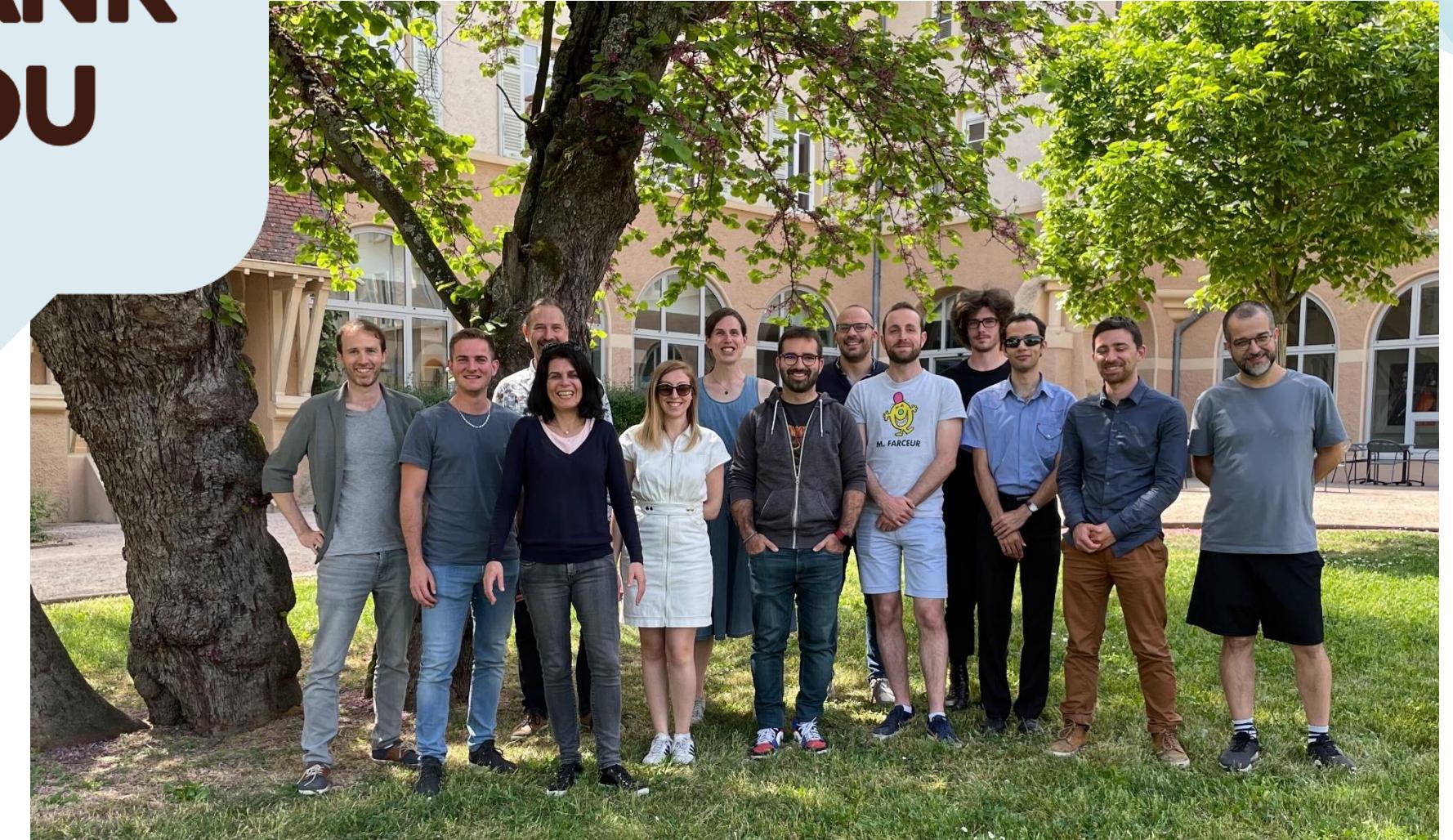
THANK  
YOU



L'équipe Neuropop du CRNL

Les membres de mon jury

Ma famille et mes amis



L'équipe DM2L du LIRIS

Mes participants d'expériences

## Prétraitem ents



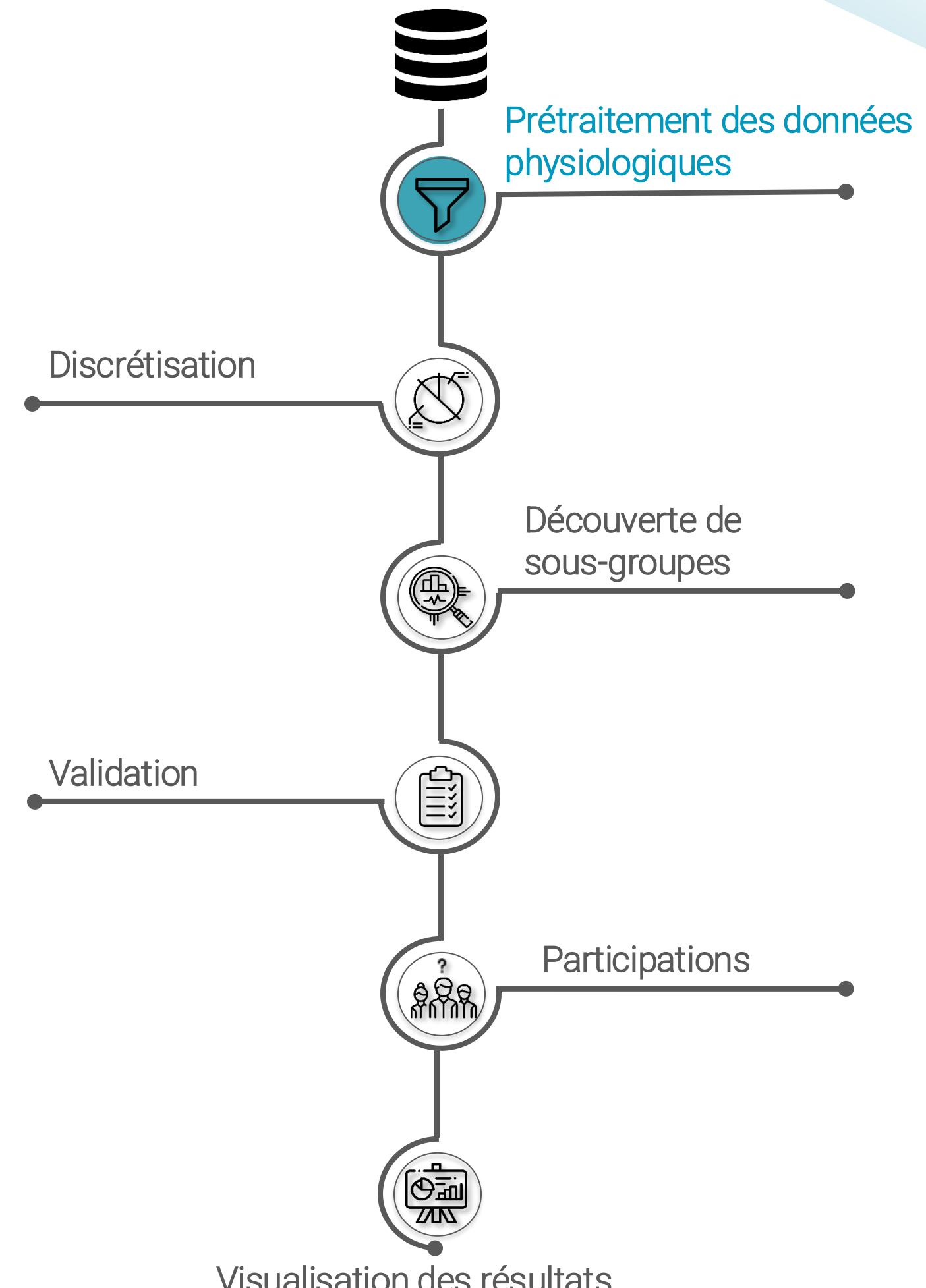
Découpage de la SC en 5 attributs:  
la latence (ms), le temps de monté  
(ms), l'amplitude ( $\mu$ S) and NSSCR  
(le nombre d'événement avant et  
après le stimulus)



Normalisation de la FP, ST, AR  
and NSSCR en soutrayant la  
moyenne de la baseline par la  
moyenne du signal durant les  
30s suivant le stimulus.



La baseline correspond aux  
10sec avant presentation de  
l'odeur.

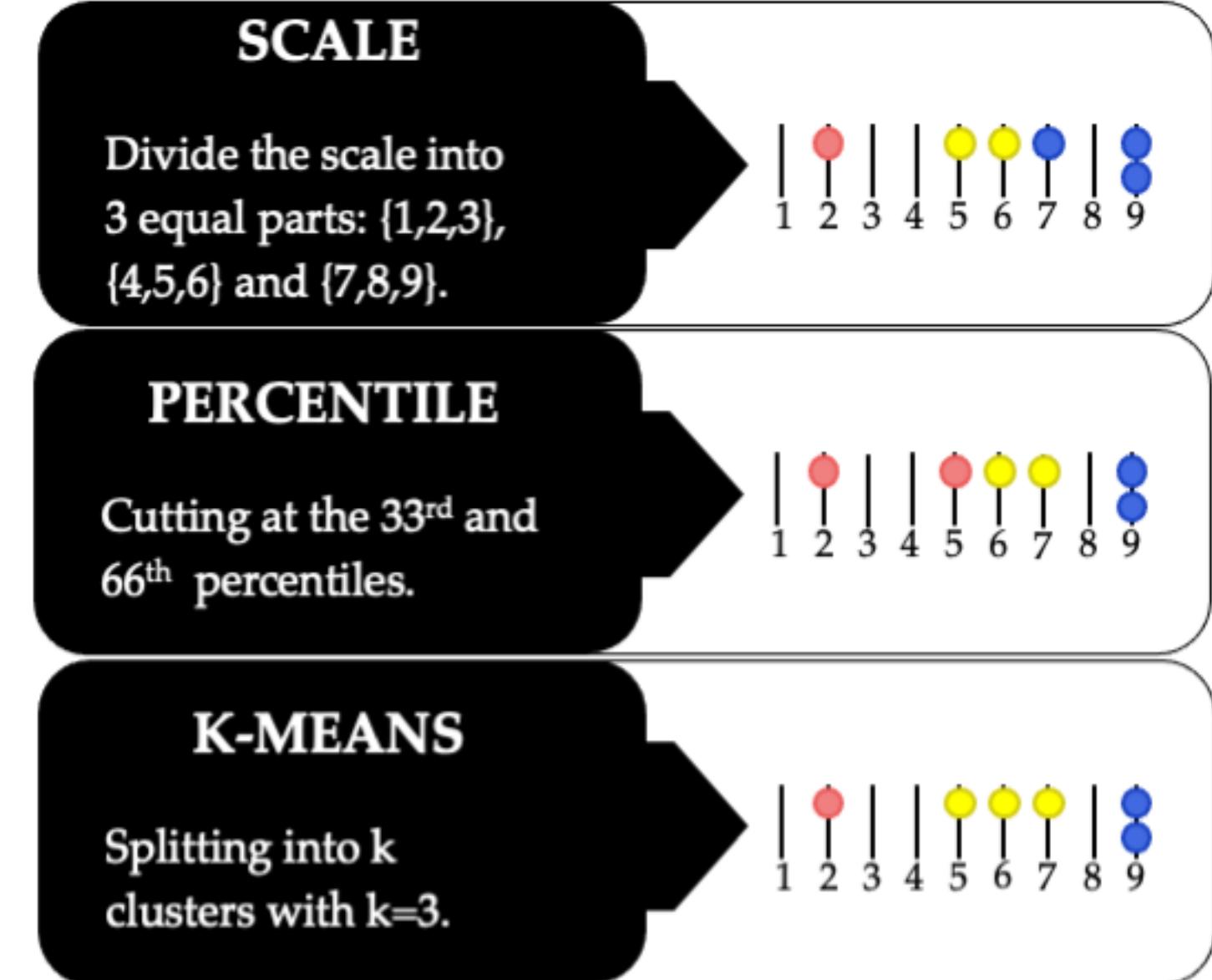


# Discretisation avec les K-moyennes

Problème : La façon de noter ses émotions est unique à chacun : certaines personnes évaluent en utilisant toutes la palette de note, d'autres n'utilisent que des notes hautes, etc.

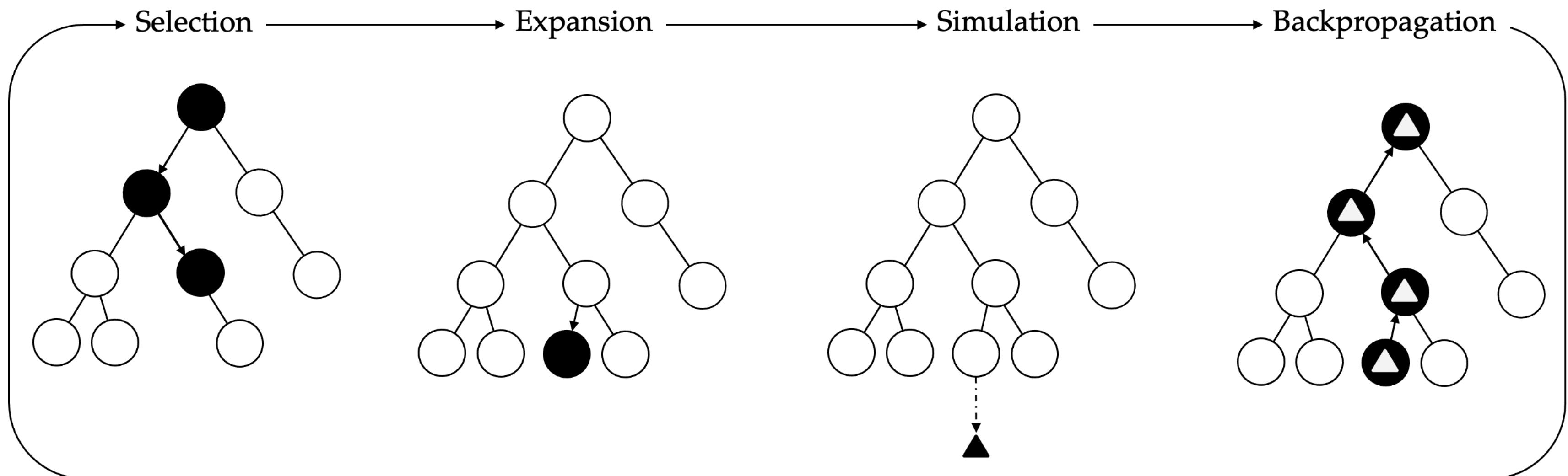
Objectif : séparer les notes en 3 catégories (faible, moyenne et élevée) tout en limitant cette subjectivité.

Solution : clustering avec les k-moyenne et  $k = 3$



- "low" class
- "medium" class
- "high" class

# Monte Carlo Tree Search

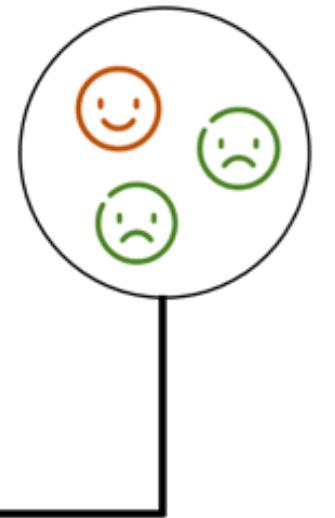


# WRAcc

Latency	Rise-Time	Amplitude	Event	Class
3,16	1,95	0,02	-1	😊
2,98	3,01	0,20	1	😊
3,72	0,97	0,01	0	😊
3,01	6,57	0,03	0	😊
2,82	14,57	0,28	0	😢
3,04	6,58	0,12	0	😢
0,80	3,44	0,08	0	😢
3,58	9,03	0,09	1	😢

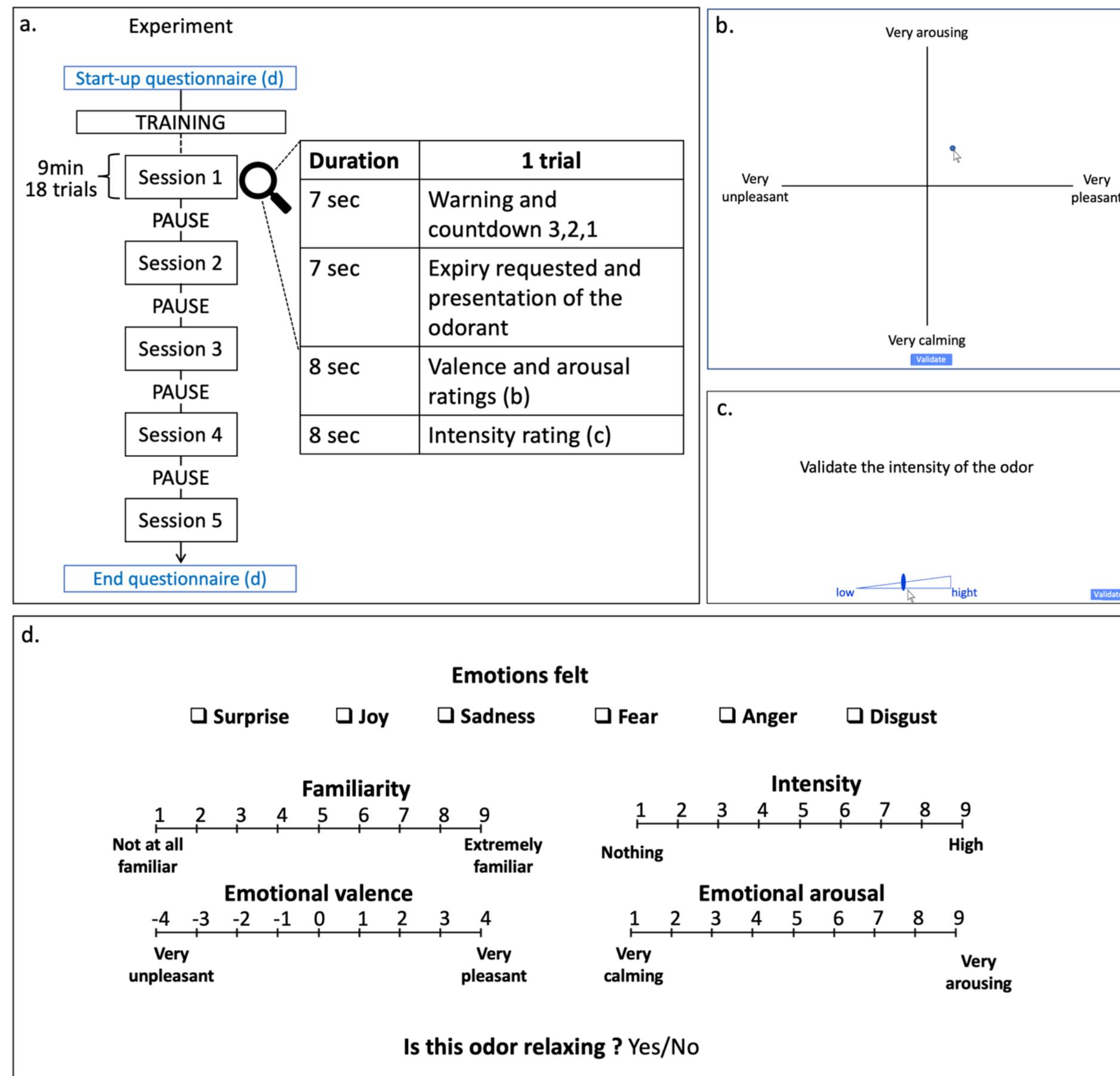


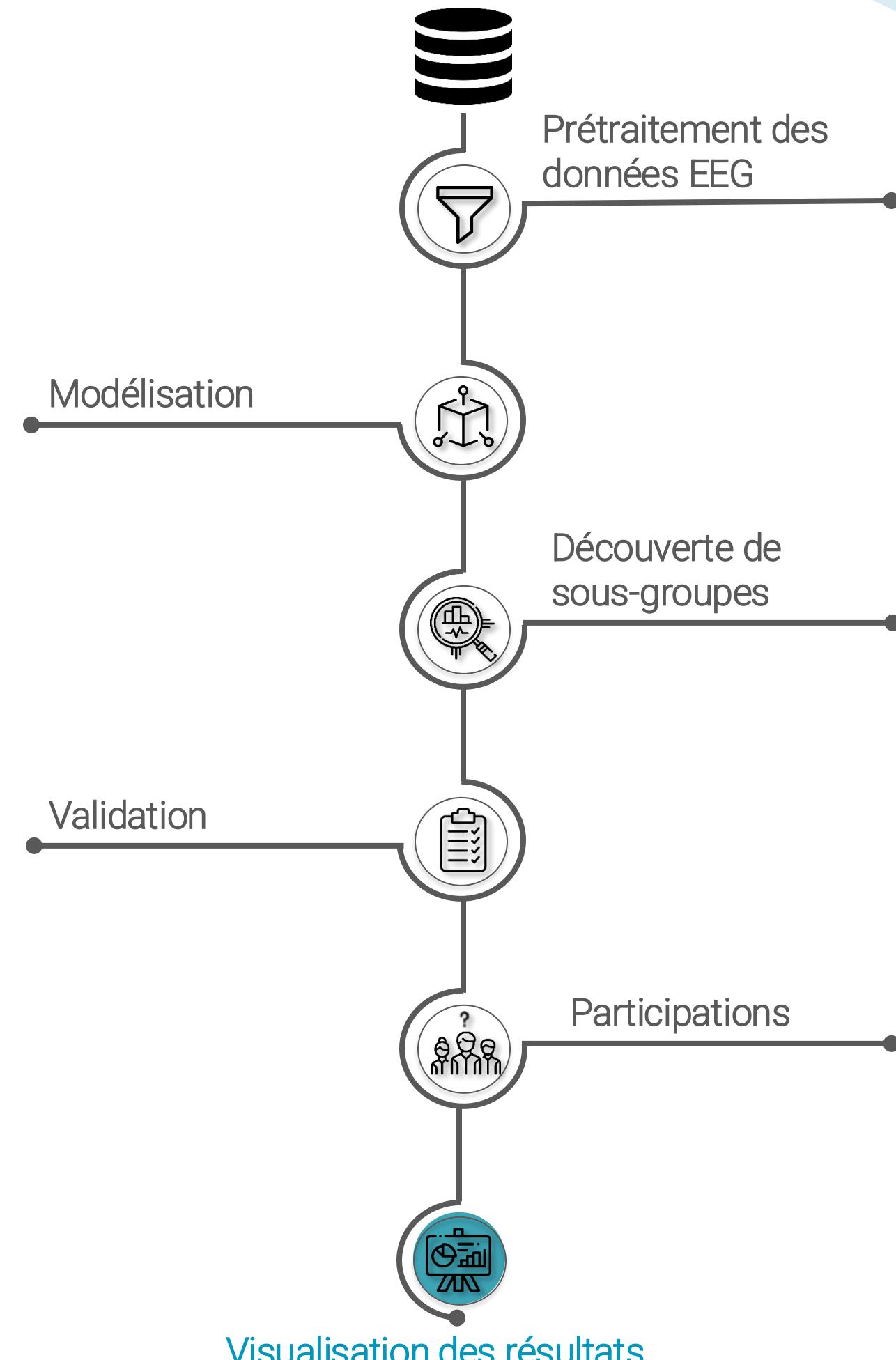
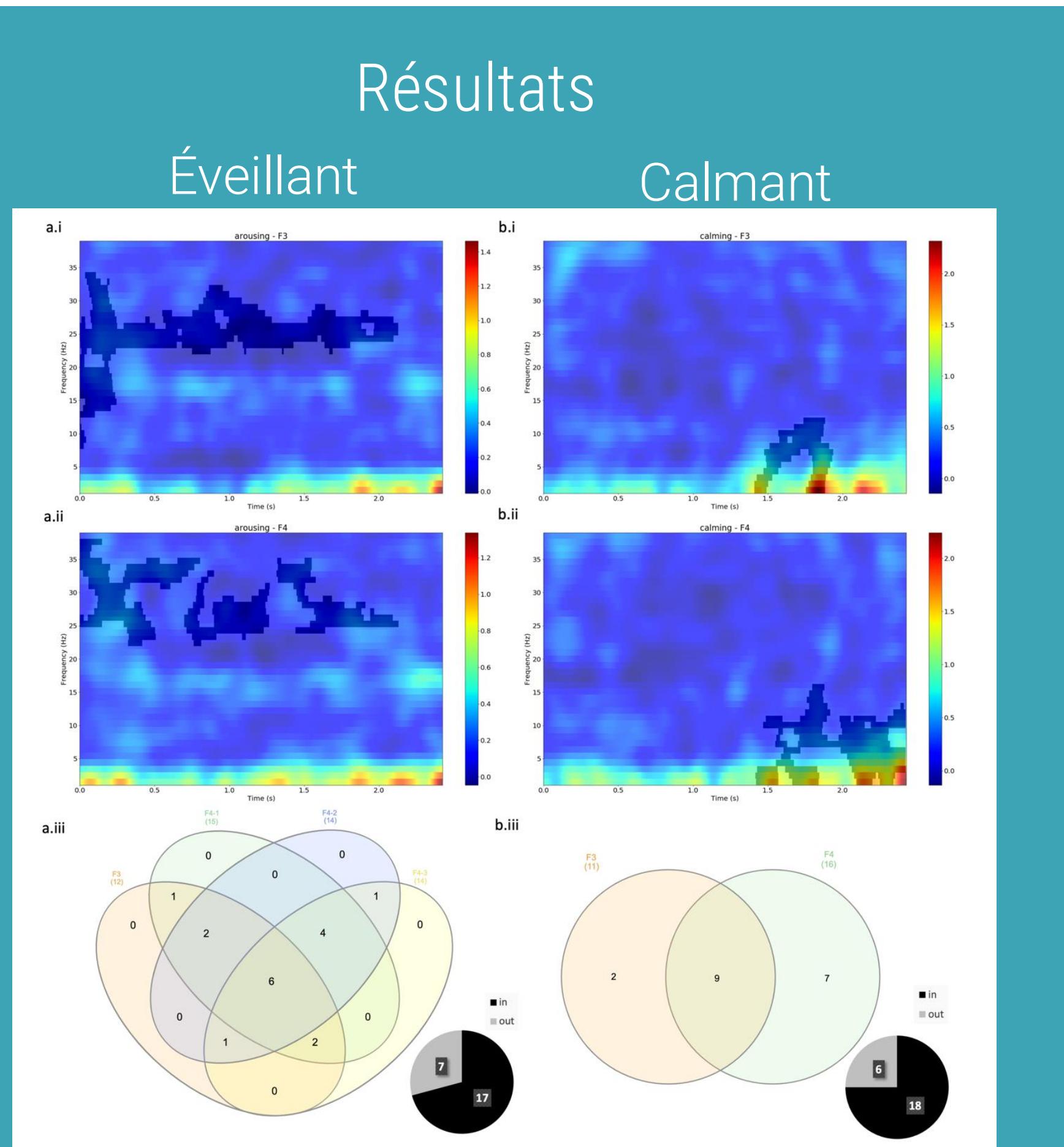
Subgroup



$$WRAcc = \frac{\text{Number of correctly classified samples in the subgroup}}{\text{Total number of samples in the subgroup}} \times \left( \frac{\text{Number of correctly classified samples in the subgroup}}{\text{Total number of samples in the subgroup}} - \frac{\text{Number of correctly classified samples in the entire dataset}}{\text{Total number of samples in the entire dataset}} \right)$$

# Expérience EGG





# L'olfaction

## Variabilité intra-individuelle

Une même odeur peut également être perçue différemment chez un même individu à différents moments de sa journée ou de sa vie.

