

Neuroimagerie fonctionnelle chez le mouton



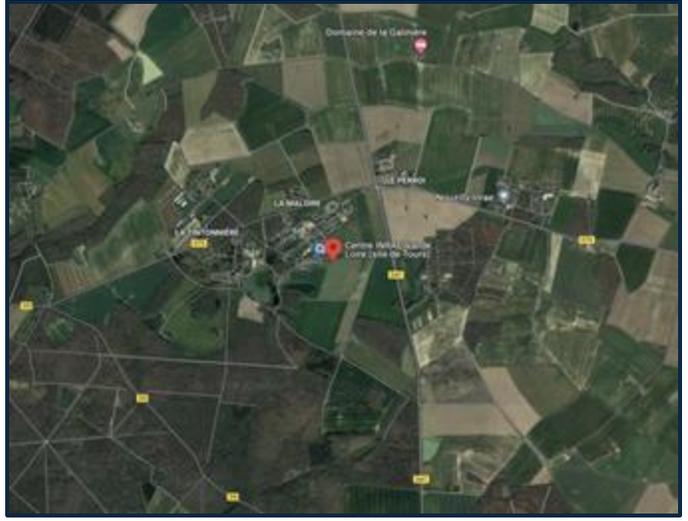
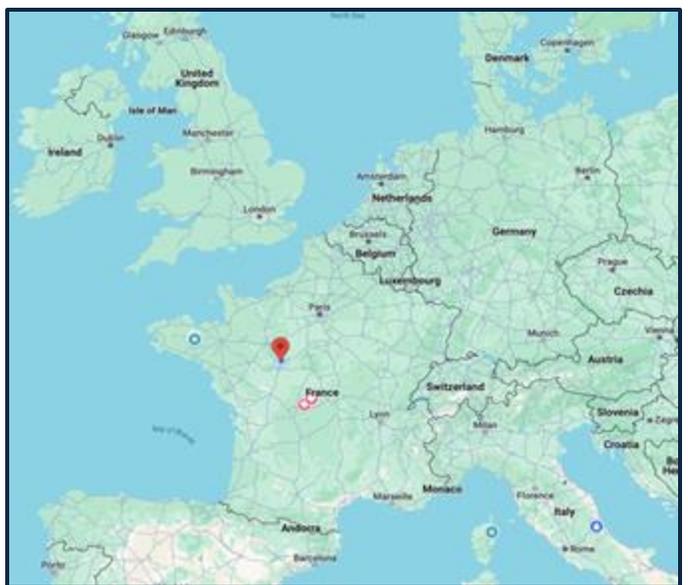
Camille Pluchot & Scott Love

Équipe Neuroéthologie & Cognition Sociale

15 mai 2025

Centre INRAE Val de Loire

Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement



-
-
-
-
-
-
-
-
-
-
-
-
-
-



*Imagerie par
Résonance Magnétique*

“Ne pas bouger d’un millimètre”

1- Anesthésie générale

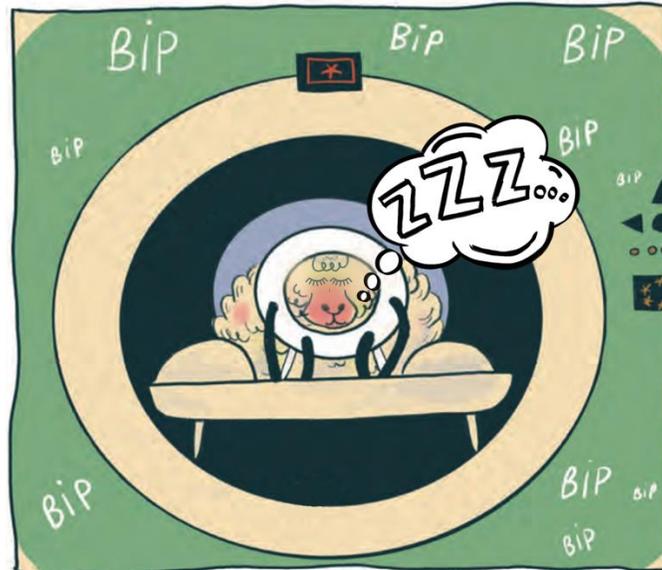
→ IRMf chez le mouton (*Barrière et al., 2019 ; Just et al., 2021 ; Lee et al., 2015*)

Avantages :

- Immobilité
- Session longue durée [$\pm 2.5h$]
- Pas d’entraînement

Inconvénients :

- Effets secondaires
- Délai entre les sessions long
- Modification activité cérébrale (*Aksenov et al., 2015*)



→ IRMf à l’état éveillé



Imagerie par Résonance Magnétique

“Ne pas bouger d’un millimètre”

2- Éveillé avec contention

Avantages :

- Pas de risques liés à l’anesthésie
- Délai entre les sessions court
- Immobilité

Inconvénients :

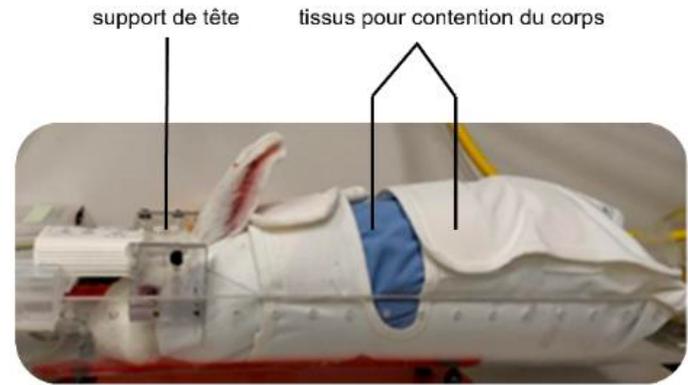
- Chirurgie
- Entraînement

Pigeon



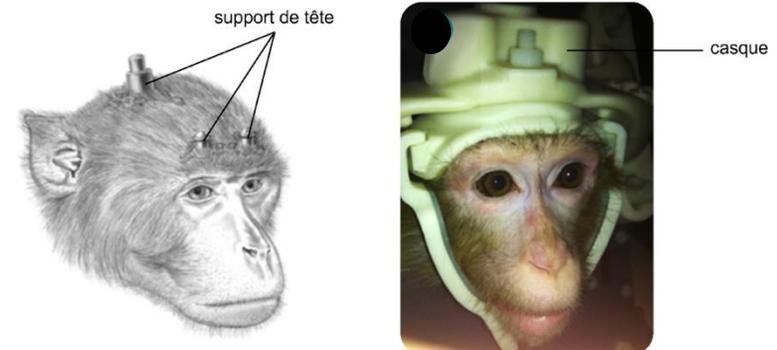
Adapté de Behroozi et al., 2020, (Supplementary figures 1C & 1E)

Lapin



Adapté de Weiss et al., 2022, (figure 2C)

Macaque



Adapté de Kelins et al., 2007 (figure 1B)

Adapté de Hadj-Bouziane et al., 2014, (figure 1)

Souris



Adapté de Derksen et al., 2021, (figures 3 A & B)



Imagerie par Résonance Magnétique

“Ne pas bouger d’un millimètre”

3- Éveillé sans contention

Avantages :

- Pas de risques liés à l’anesthésie
- Délai entre les sessions court

Inconvénients :

- Entraînement

Chien

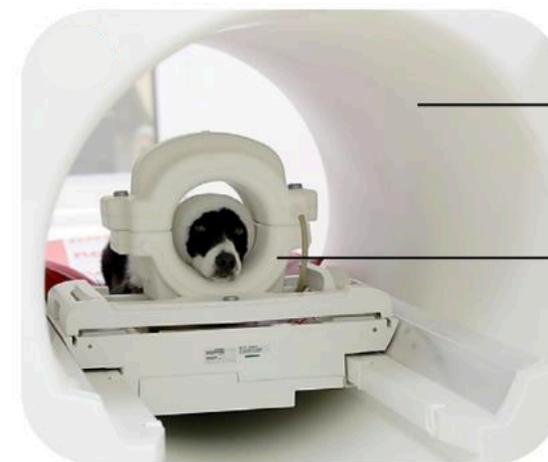


Adapté de Berns et al., 2012, (figure 1A)

réplique tunnel IRM

réplique antenne IRM

repose tête

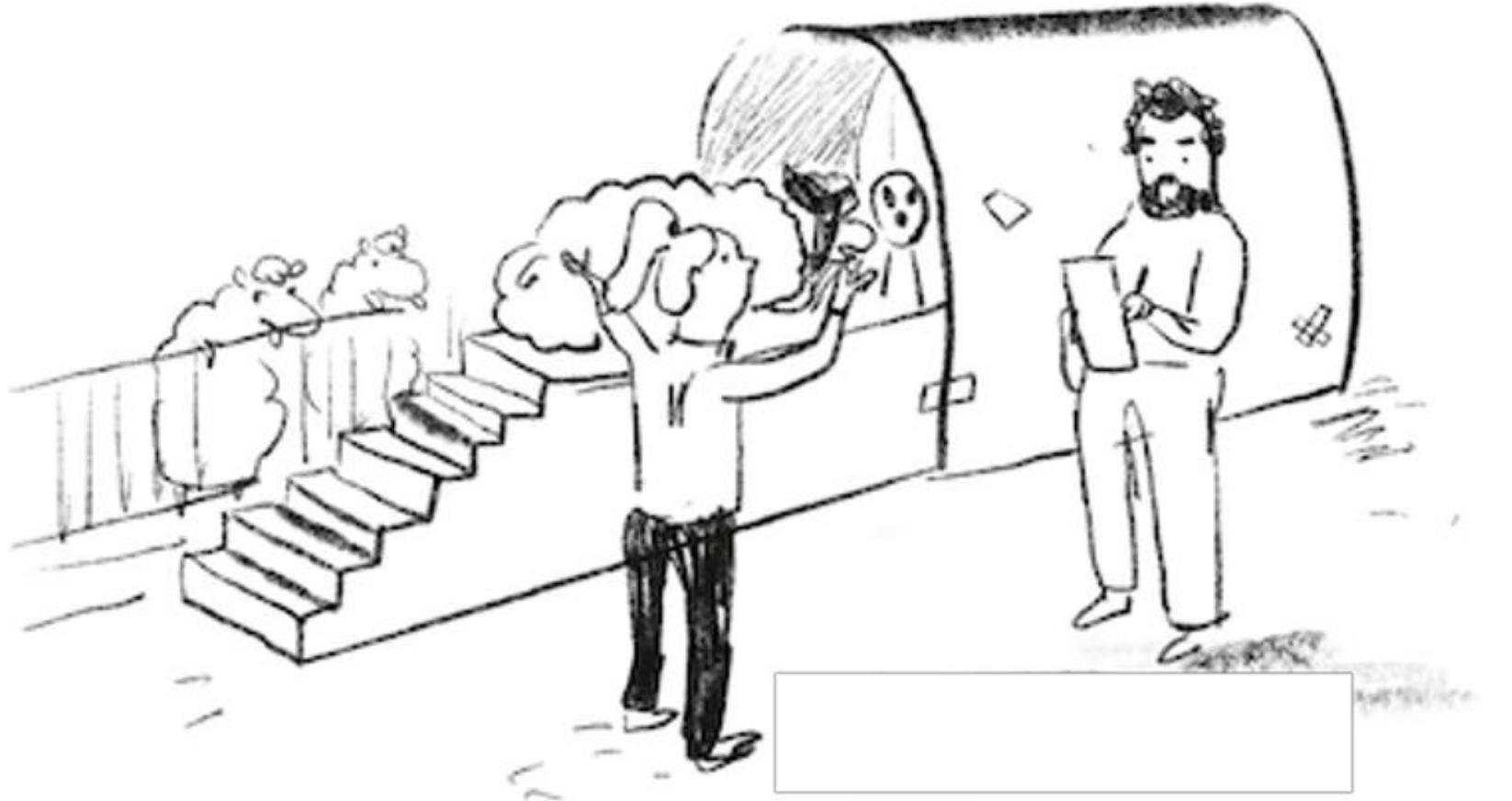


tunnel IRM

antenne IRM

Adapté de Boch et al., 2021, (figure 1A)

Protocole d'entraînement IRM

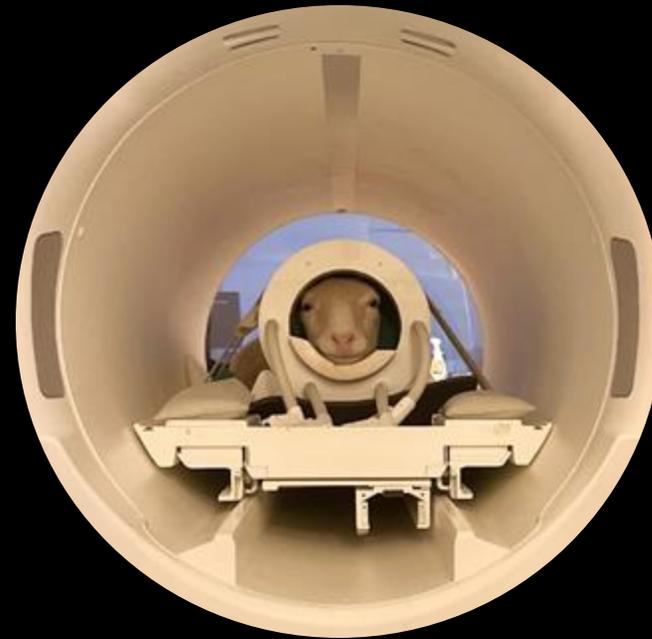
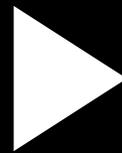


Les entraîneurs

- Aucune expérience en entraînement animal



- **Protocole d'entraînement individuel avec des animaux volontaires** : habitude à être seul avec l'entraîneur, jamais forcé à travailler, ni attaché
- **Renforcement positif** : récompense alimentaire, caresses, éloges verbales
- **Relation positive mouton – l'entraîneur** : coopération, confiance mutuelle



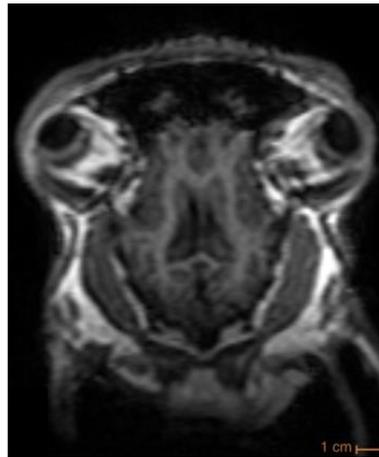
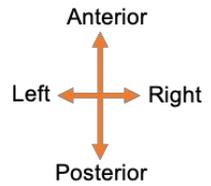
<https://zenodo.org/records/12636387>

Preuve de concept : images IRM pondérées en T1

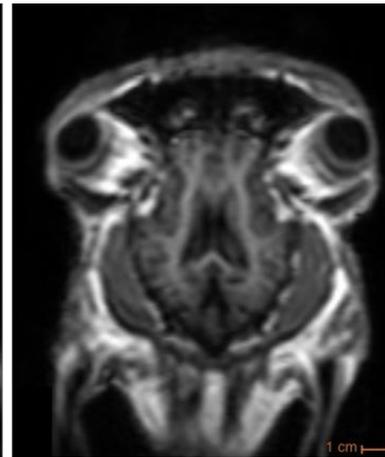
- Temps d'acquisition : 2 min 36

Sheep (*Ovis aries*) training protocol for voluntary awake and unrestrained structural brain MRI acquisitions

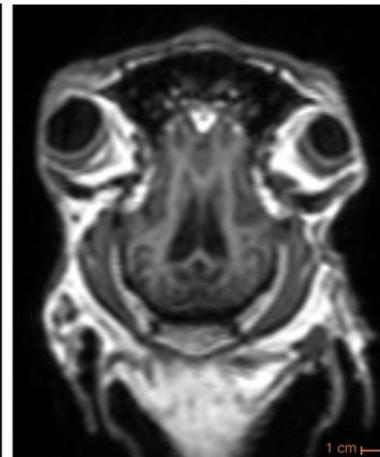
Camille Pluchot¹  · Hans Adriaensen¹ · Céline Parias¹ · Didier Dubreuil² · Cécile Arnould¹ · Elodie Chaillou¹ · Scott A. Love¹



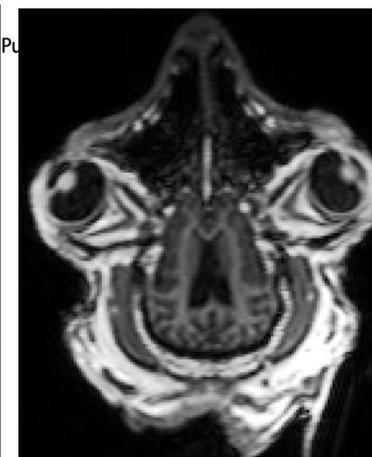
Léonard



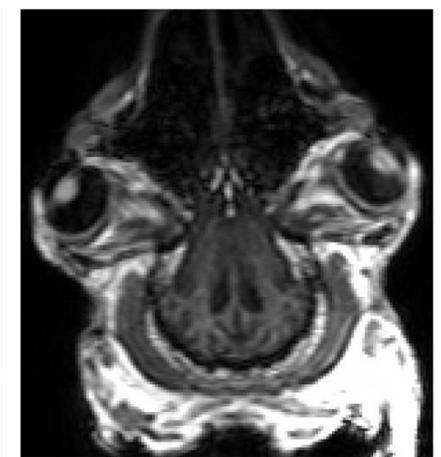
Ted



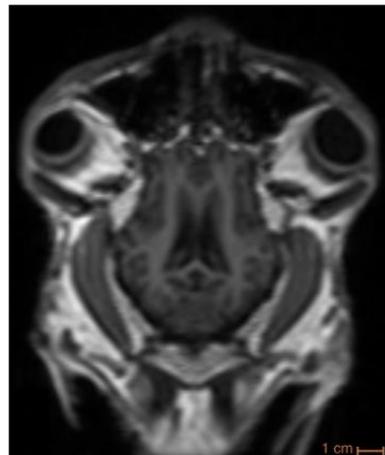
Maggie



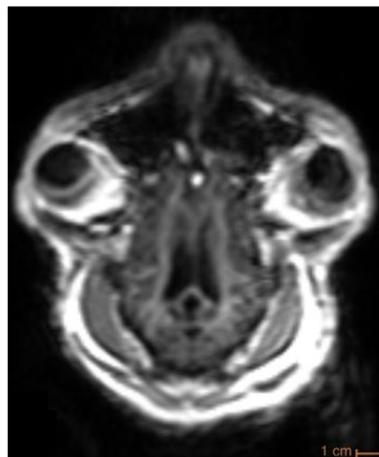
Lily



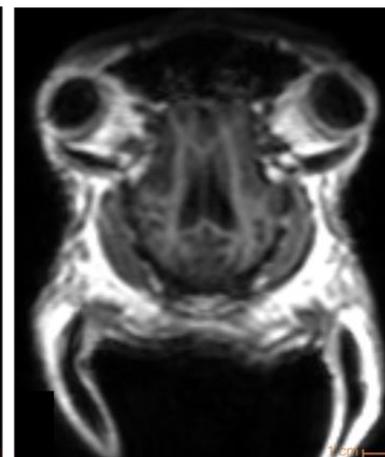
Joe



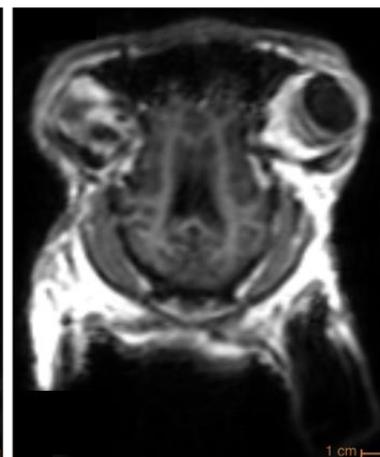
13332



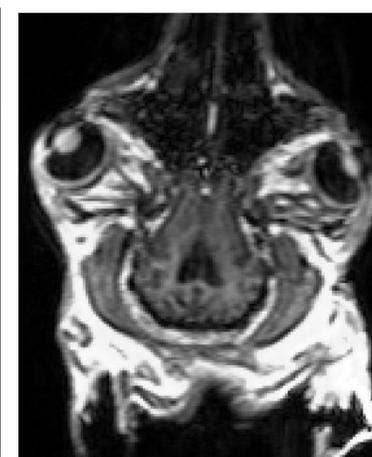
Tony



Robin



Brook



Barnita



Jackson

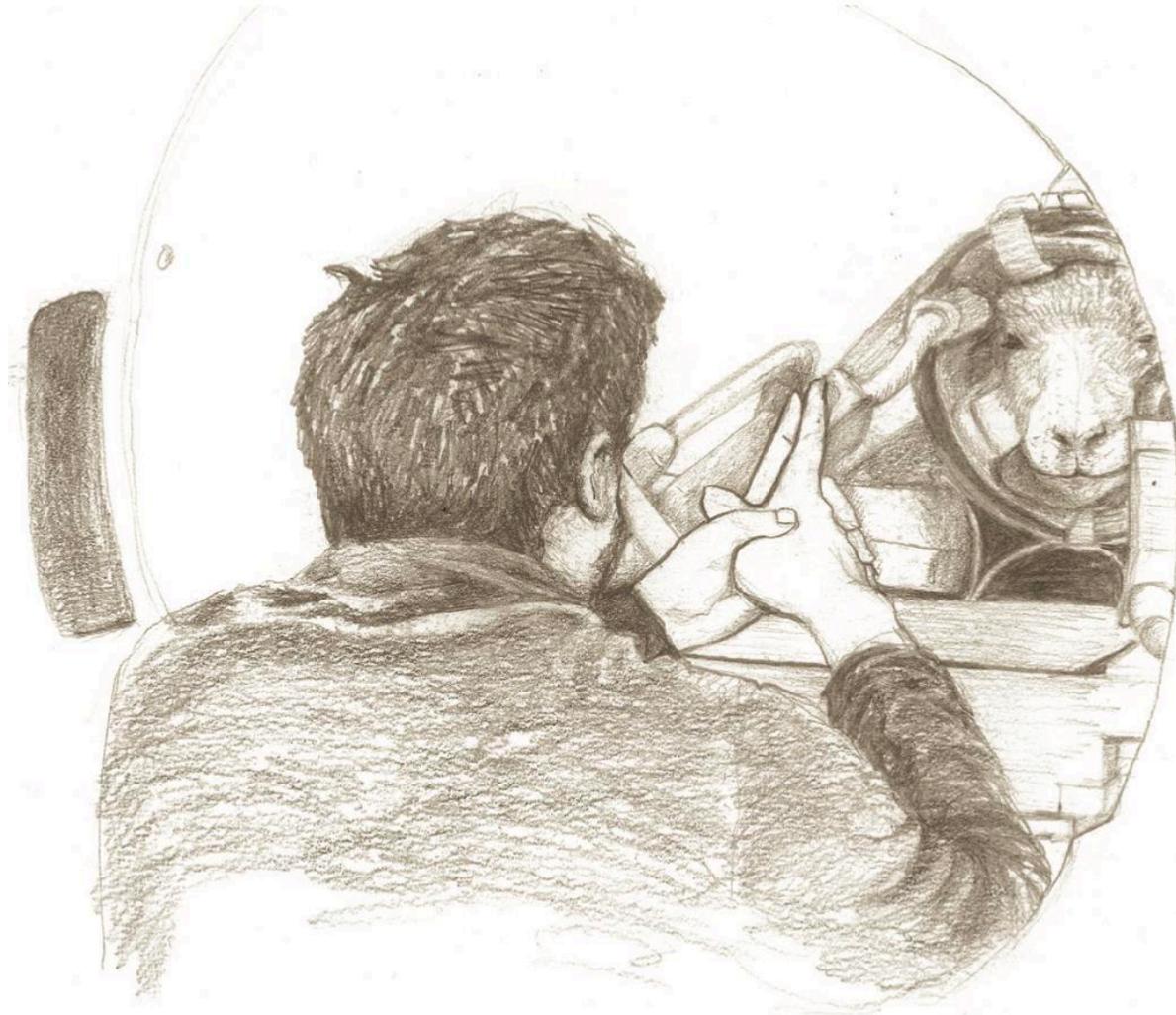
Vers une étude IRM fonctionnelle

➤ Vont-ils accepter des stimulations sensorielles ?



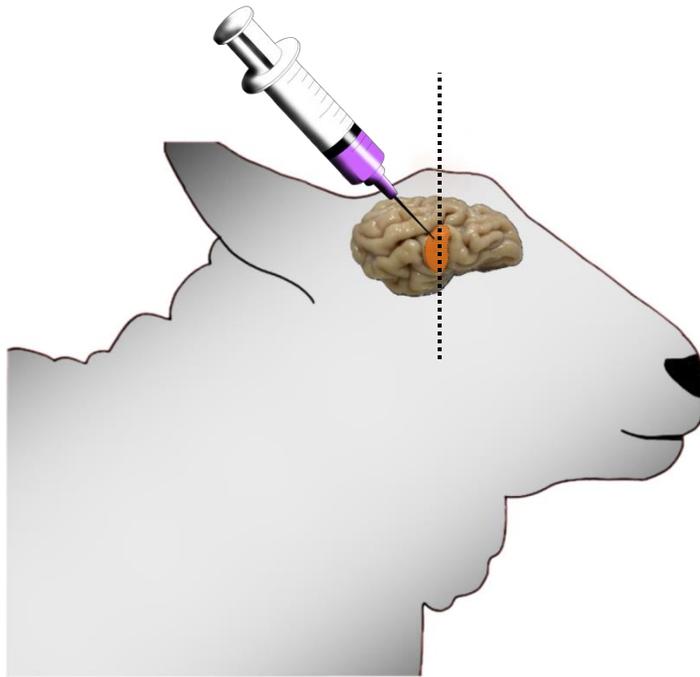
From sound to sensation

Sensory cortical mapping in awake unrestrained sheep



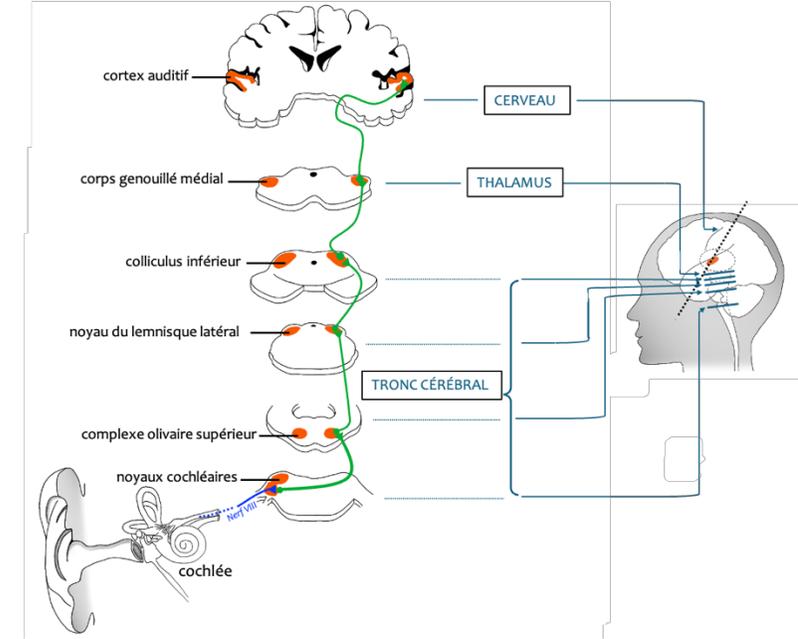
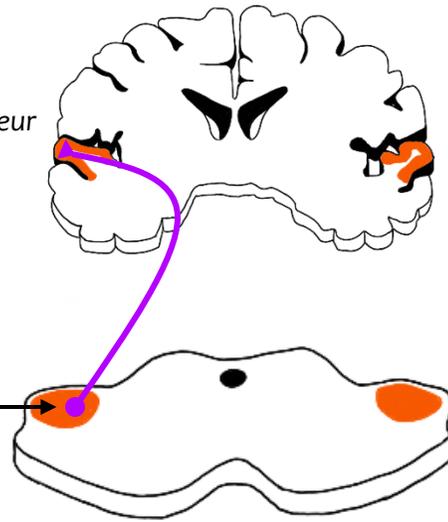
Contexte de l'étude

- Traçage neuronal rétrograde à la peroxydase de raifort (*Michaloudi et al., 1986*)

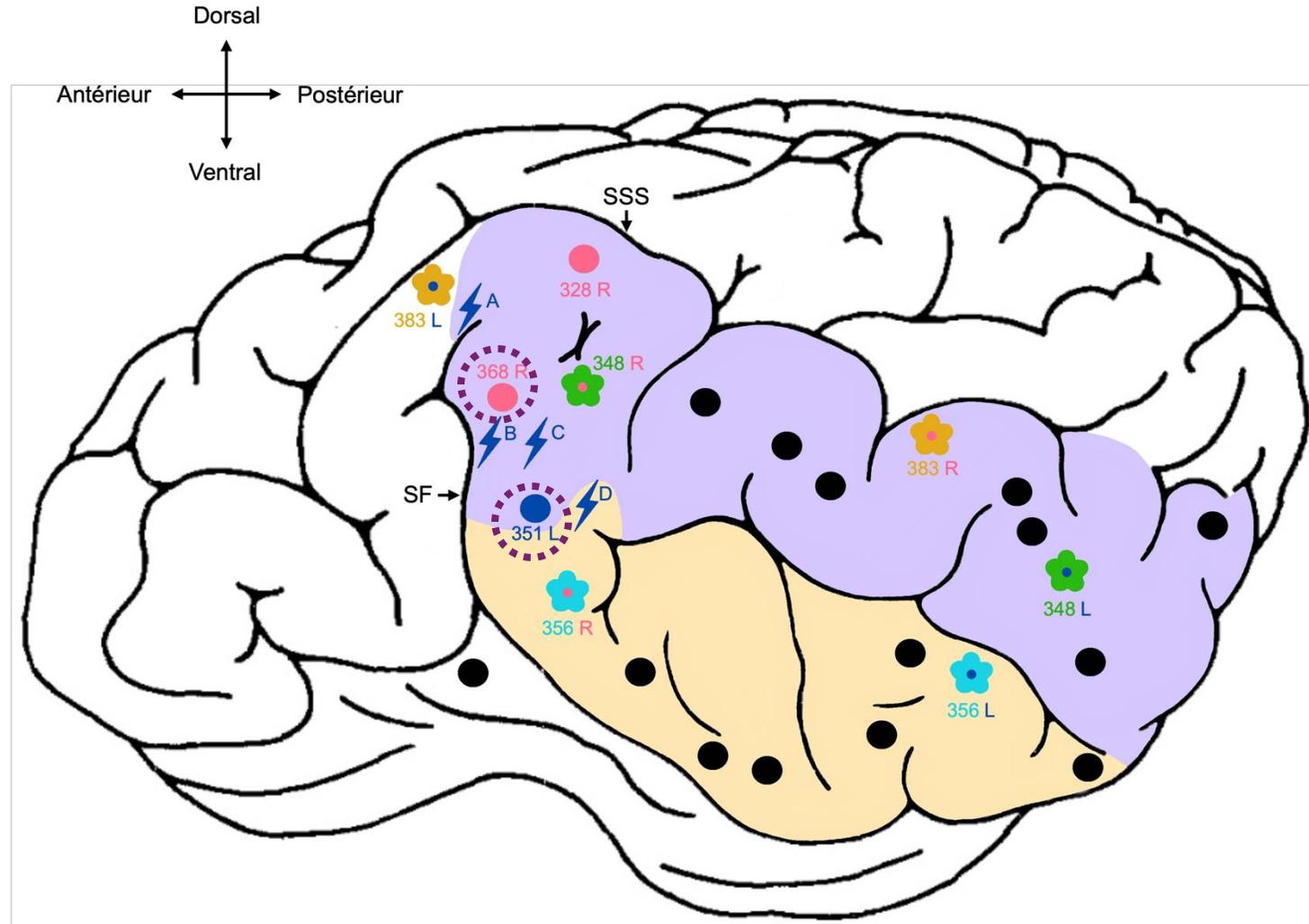


Gyrus ectosylvien postérieur

corps genouillé médial



Contexte de l'étude



| | |
|---|--------------------------|
| Injection dans les deux hémisphères : | |
|  | Site injection 383 |
|  | Site injection 348 |
|  | Site injection 356 |
| Injection unique dans un seul hémisphère : | |
|  | Droit (R) |
|  | Gauche (L) |
| Quatre injections dans l'hémisphère gauche : | |
|  | Site injection 408 |
| | |
|  | Autres sites d'injection |

Adapté d'après Michaloudi et al., 1986

Objectifs

1- Localiser le cortex auditif ovin

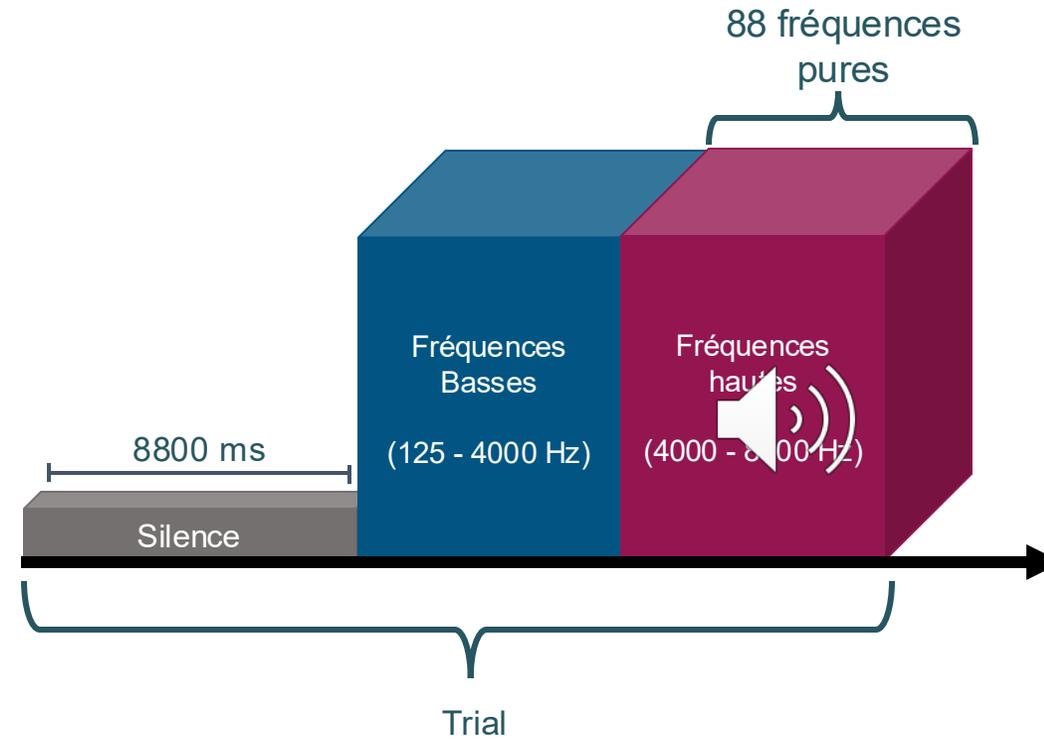
2- Étudier son organisation fonctionnelle

- Tonotopie
- Patchs vocaux

I- Localiser le cortex auditif ovin

➤ Paradigme expérimental en blocs

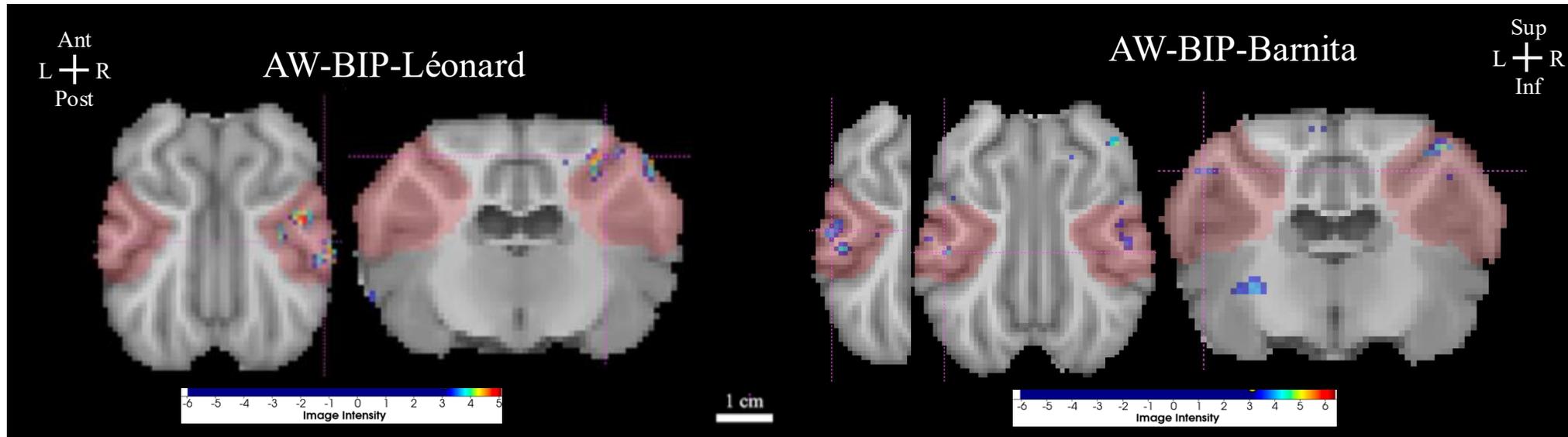
(d'après Langers et al., 2014)



➤ 7 ovins à l'état éveillé et sans contention (4 femelles – 3 mâles)

➤ 27 à 68 trials analysés

I- Localiser le cortex auditif ovin

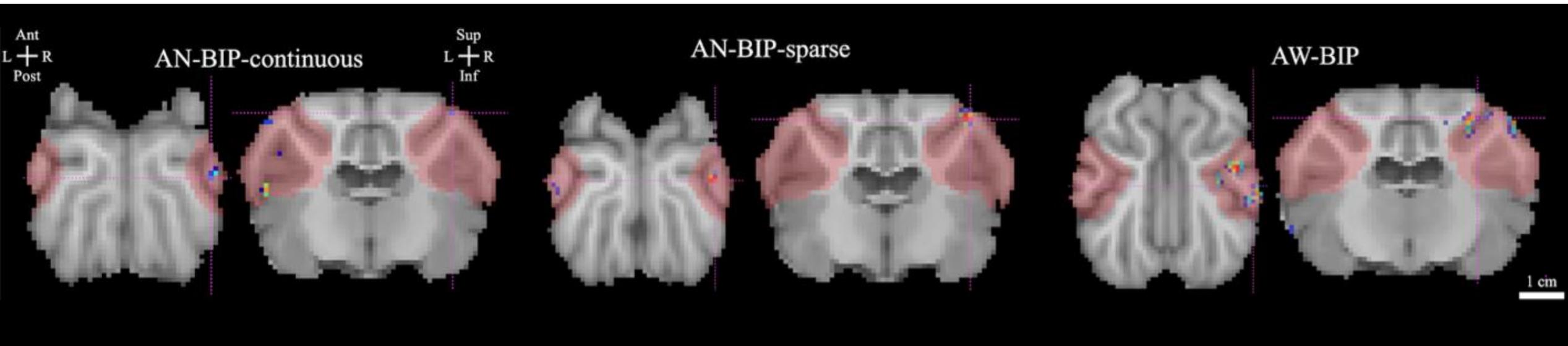


Contraste : Sons > Baseline – échelle de couleurs “jet” – pEG : rouge clair

Gyrus ectosylvien (1 – 169 voxels ; FWE)

- Activations bilatérales (n = 4)
- Activations unilatérales (n = 1)
- Pas d’activations (n = 2)

I- Localiser le cortex auditif ovin



Contraste : Sons > Baseline – échelle de couleurs “jet” – ROI : rouge clair

Gyrus ectosylvien (1 – 11 voxs)

- Activations bilatérales (n = 3)
- Activations unilatérales (n = 1)

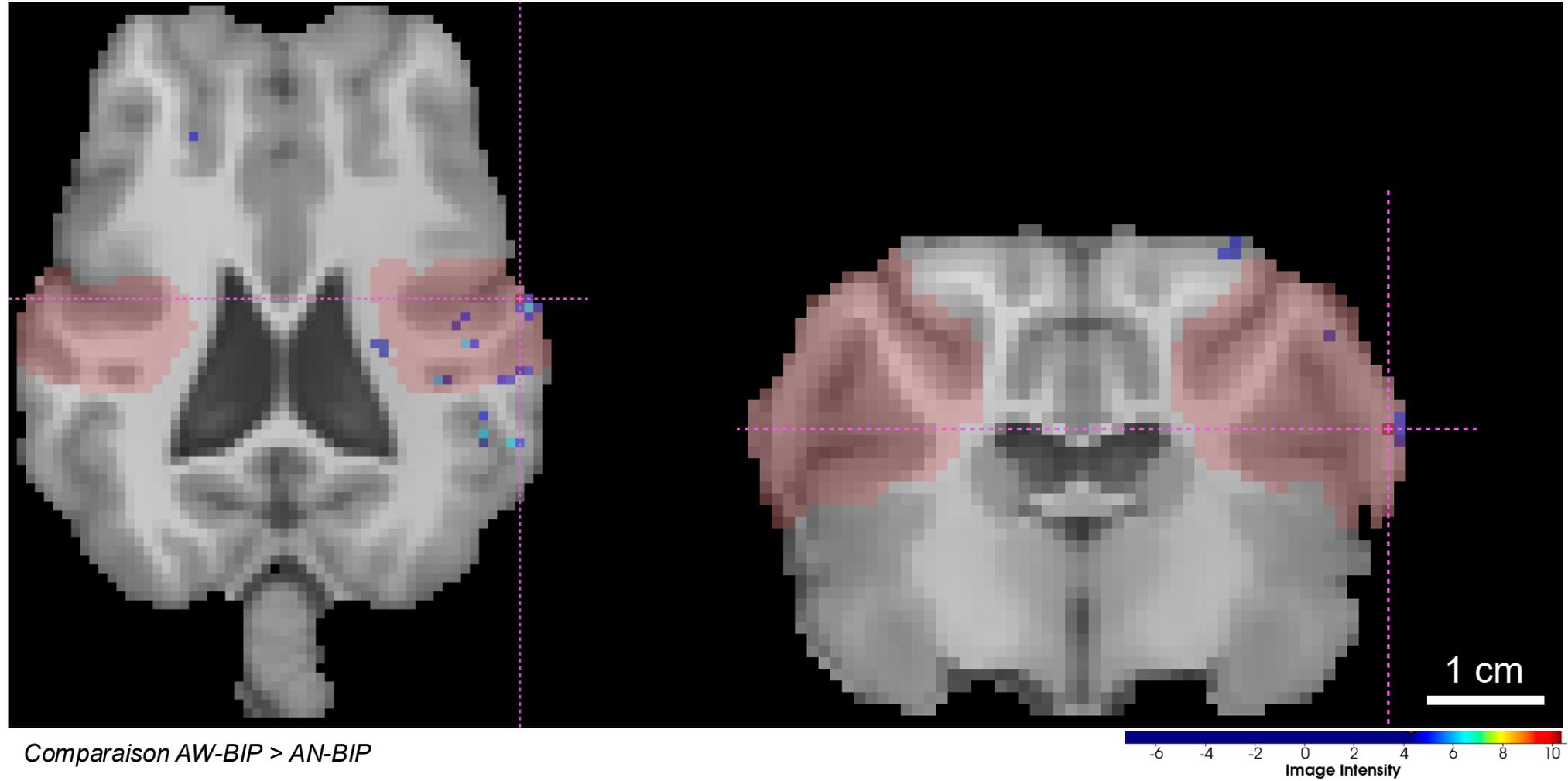
Gyrus ectosylvien (1 – 17 voxs ; FWE)

- Activations bilatérales (n = 3)
- Activations unilatérales (n = 1)

Gyrus ectosylvien (1 – 169 voxels ; FWE)

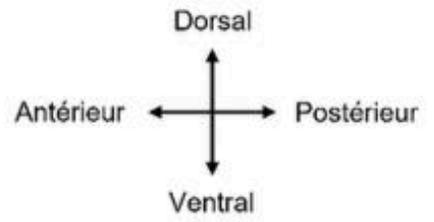
- Activations bilatérales (n = 4)
- Activations unilatérales (n = 1)
- Pas d’activations (n = 2)

I- Localiser le cortex auditif ovin



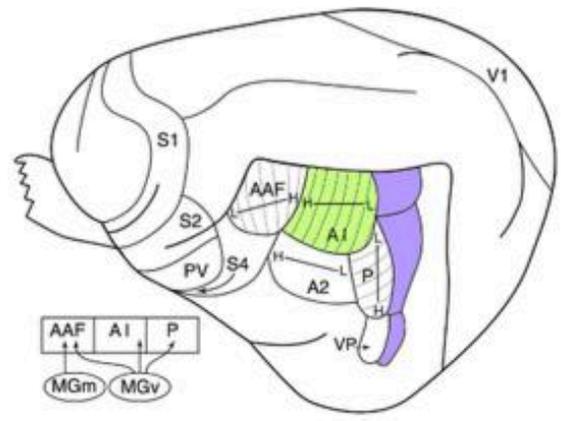
Ila- Organisation fonctionnelle : tonotopie

➤ Représentation spatiale des fréquences sonores dans le cortex auditif

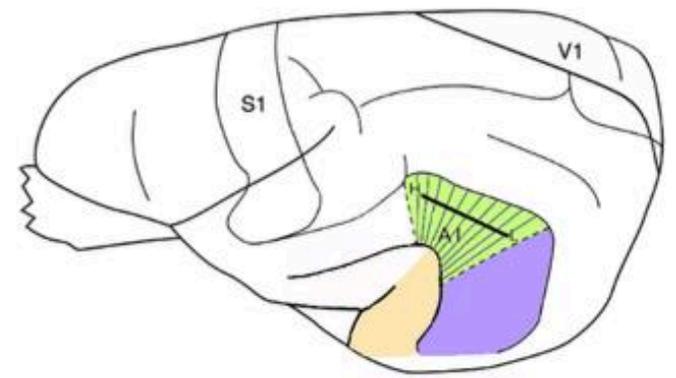


- Gyrus ectosylvien postérieur (pEG)
- Gyrus sylvien postérieur
- Aire auditive primaire

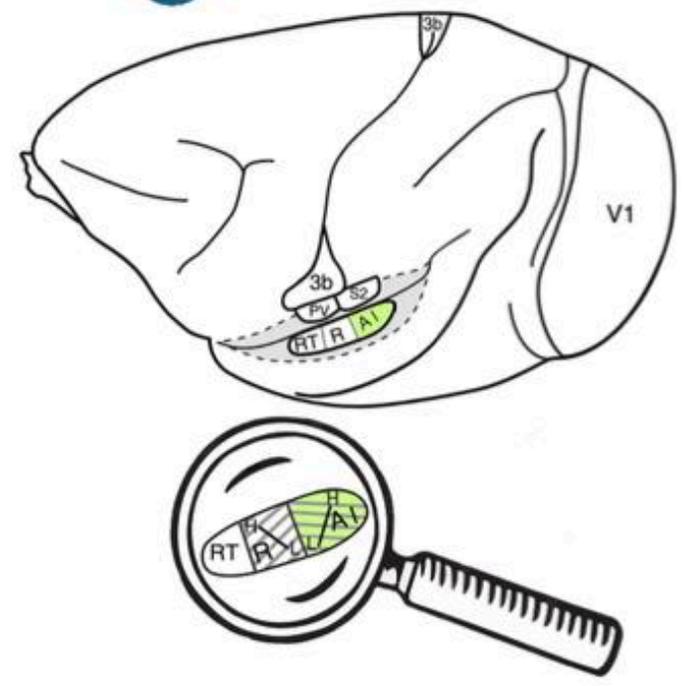
A Chat



B Chien

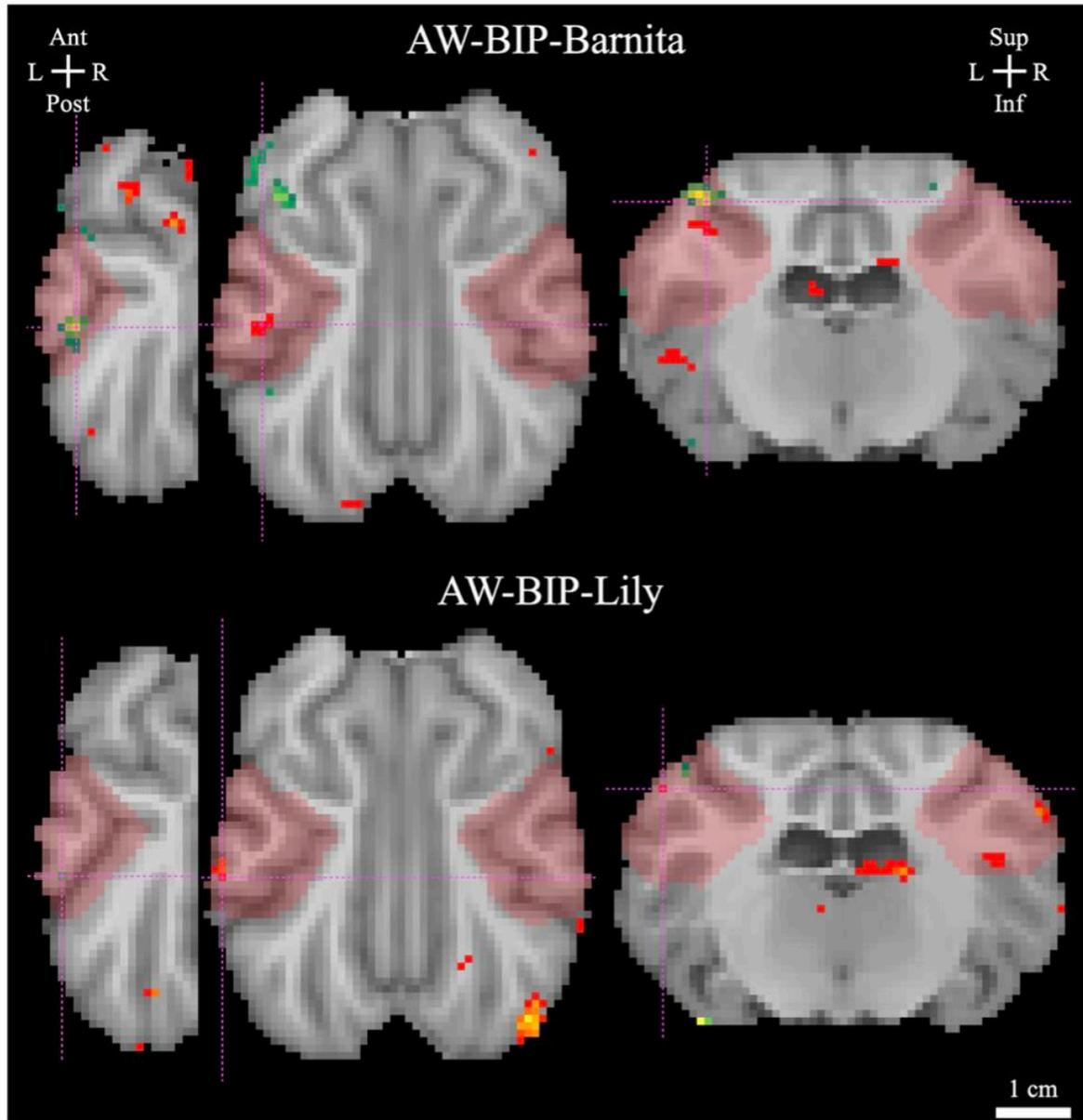


C Macaque



Adapté d'après Kaas 2011

Ila- Organisation fonctionnelle : tonotopie

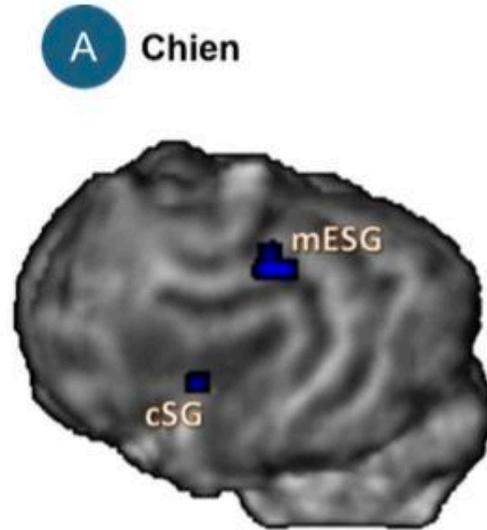
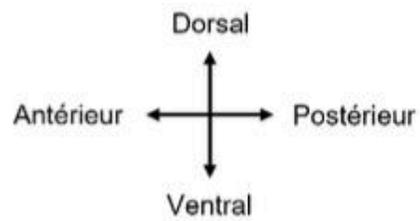


- pEG : gradient dorso-ventral allant des fréquences basses aux fréquences hautes

Contraste : High > Low – échelle de couleurs “autumn” – pEG : rouge clair
Contraste : Low > High – échelle de couleurs “summer”

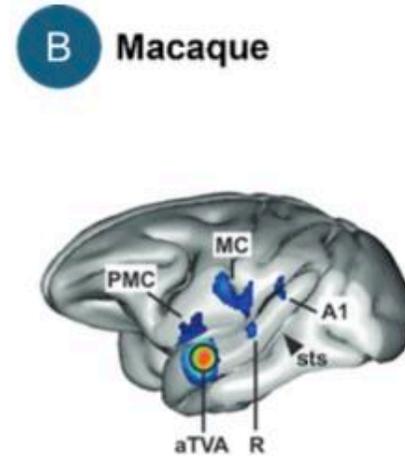
IIb- Organisation fonctionnelle : patches vocaux

- Régions du cortex auditif qui s'activent préférentiellement pour les vocalisations conspécifiques

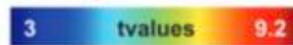


■ Dog preference

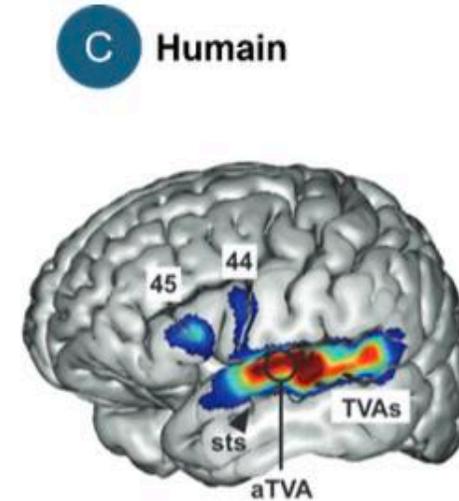
Andics et al., 2014



Macaque voc. > others



Bodin et al., 2021



Human voc. > others

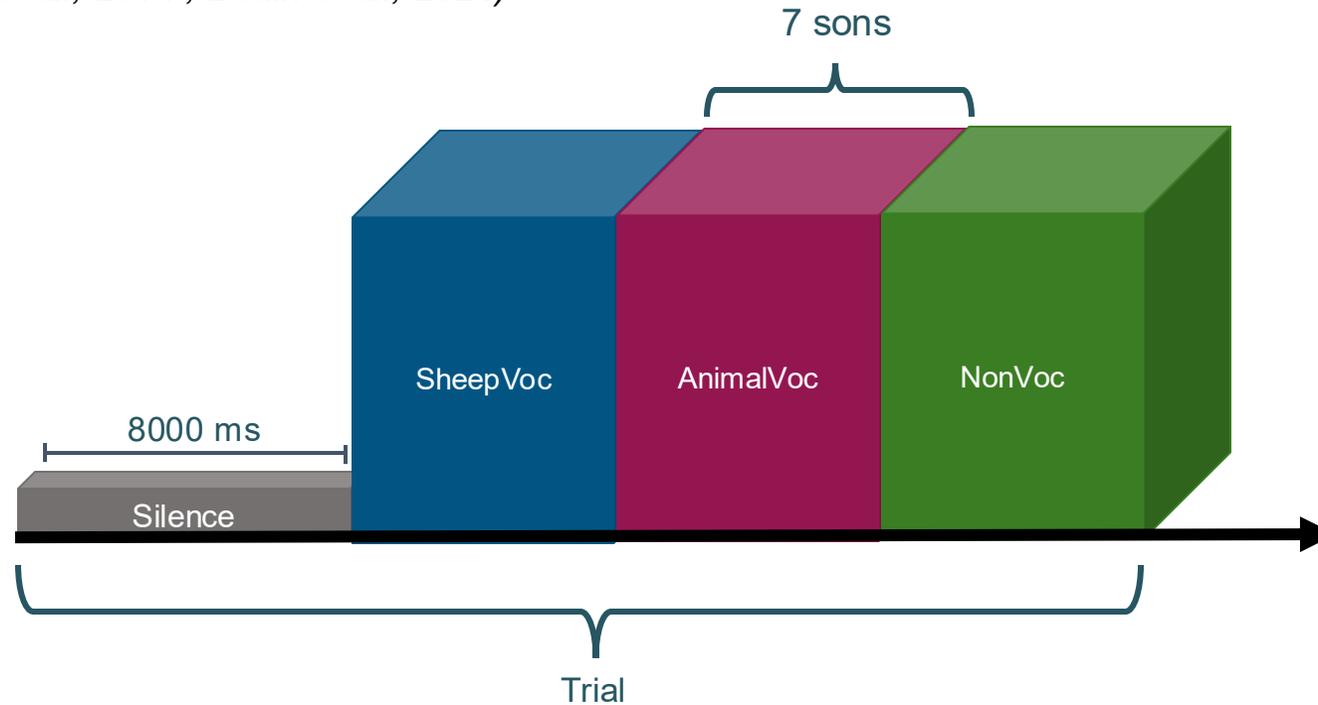


Et chez le mouton ??

IIb- Organisation fonctionnelle : patches vocaux

➤ Paradigme expérimental en blocs

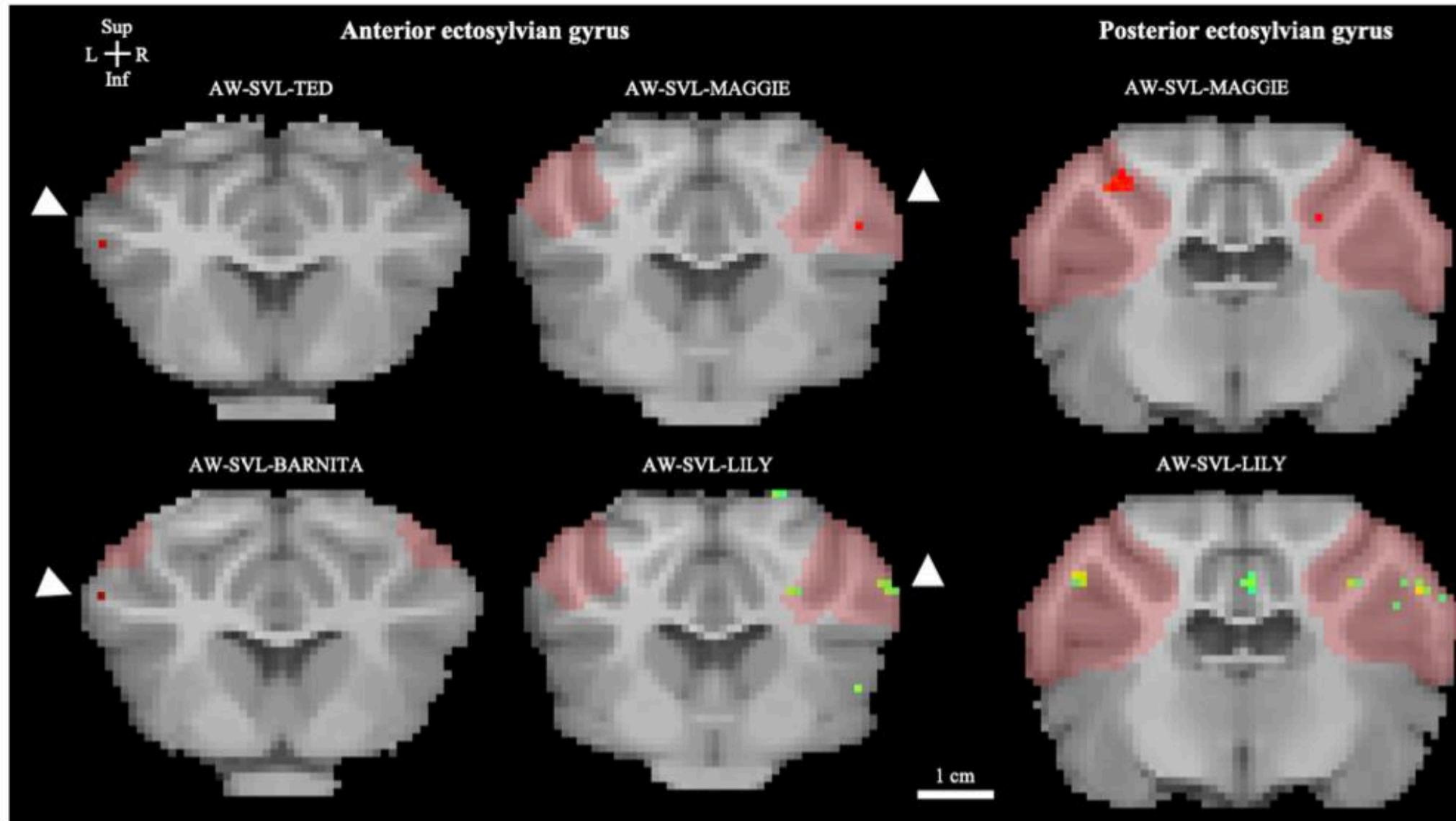
(d'après *Belin et al., 2000 ; Andics et al., 2014 ; Bodin et al., 2021*)



➤ 5 ovins à l'état éveillé et sans contention (3 femelles – 2 mâles)

➤ 44 à 60 trials analysés

IIb- Organisation fonctionnelle : patches vocaux



Contraste : $SheepVoc > AnimalVoc \cap SheepVoc > NonVoc$ – échelle de couleurs “jet” – triangles blancs : aEG – rouge clair : pEG

Résumé

➤ **Capacités d'apprentissage des ovins**

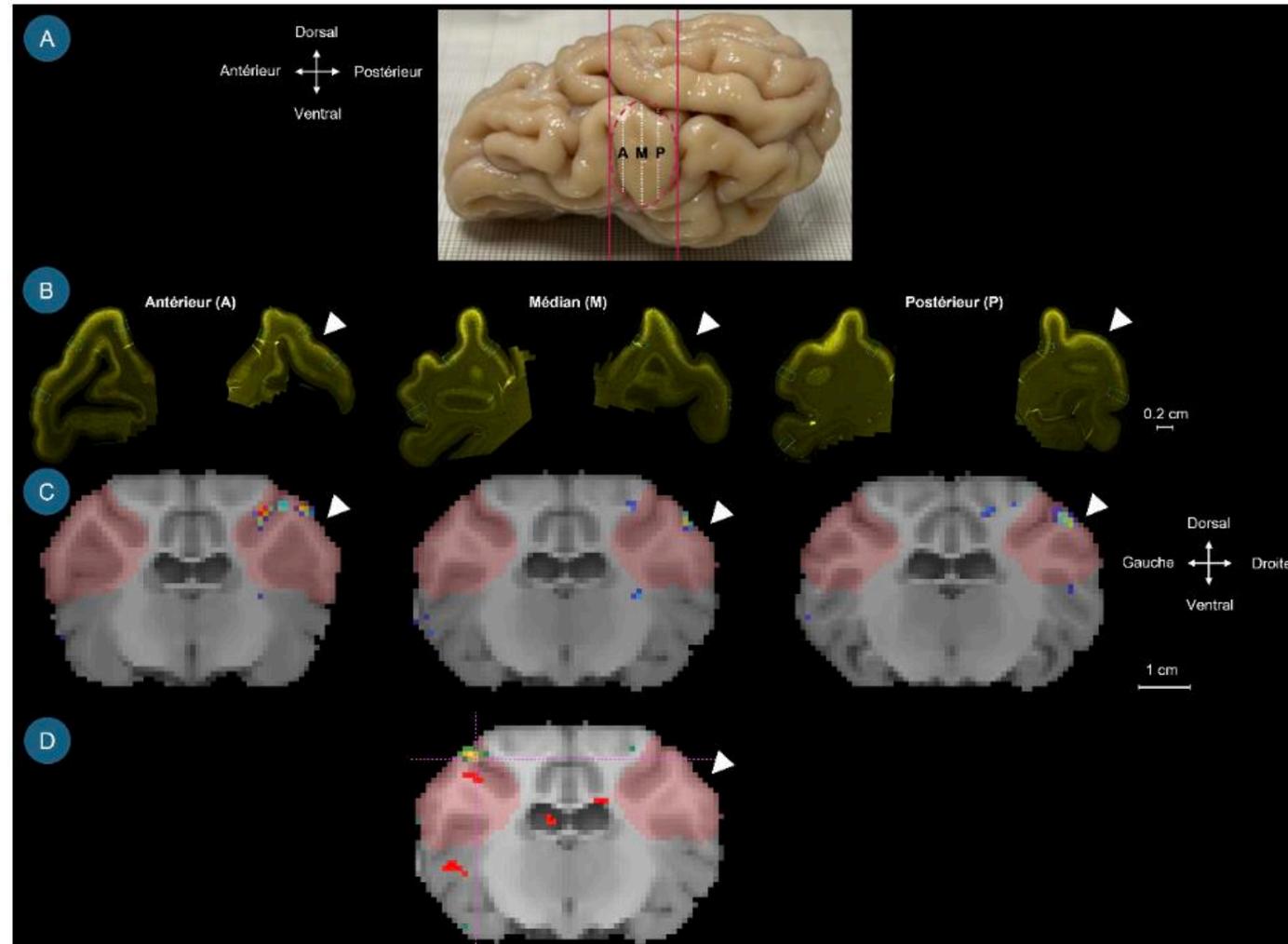
- Preuve de concept

➤ **Mécanismes centraux impliqués dans la perception auditive**

- Localisation du cortex auditif : gyrus ectosylvien antérieur et postérieur
- Tonotopie : gradient dorso-ventral dans le gyrus ectosylvien postérieur
- Patches vocaux : gyrus ectosylvien antérieur – postérieur

Résumé

➤ Identification du cortex auditif primaire



Résumé

- **Capacités d'apprentissage des ovins**

- Preuve de concept

- **Mécanismes centraux impliqués dans la perception auditive**

- Localisation du cortex auditif : gyrus ectosylvien antérieur et postérieur
- Tonotopie : gradient dorso-ventral dans le gyrus ectosylvien postérieur
- Patches vocaux : gyrus ectosylvien antérieur – postérieur

- **Identification du cortex auditif primaire**

- **Nouvelles perspectives de recherche en neurosciences cognitive des ovins**

Merci pour votre attention !



- ❖ Equipe NECOS
- ❖ UEPAO
- ❖ Atelier PRC
- ❖ PIXANIM

- ❖ Lily
- ❖ Robin
- ❖ Brook
- ❖ Barnita
- ❖ Maggie
- ❖ Marshall
- ❖ Ted
- ❖ Léonard
- ❖ Tony
- ❖ Joe
- ❖ Jackson

*Ce projet est financé par
l'ANR SheepVoicesMRI
(ANR-20-CE20-0001-01) et
l'INRAE Département
PHASE.*