



HAL
open science

RAPPORT D'ACTIVITE D'UN PROJET DE RECHERCHE D'INTERET REGIONAL Neurobiologie des comportements des animaux, démarche de sciences participatives au collège

Elodie Chaillou, Marine Siwiaszczyk, Jean-Yves Ramel, Frédéric Andersson,
Christophe Destrieux, Gaetan Galisot, Hans Adriaensen, Poupon Cyril, Scott
A. Love

► To cite this version:

Elodie Chaillou, Marine Siwiaszczyk, Jean-Yves Ramel, Frédéric Andersson, Christophe Destrieux, et al.. RAPPORT D'ACTIVITE D'UN PROJET DE RECHERCHE D'INTERET REGIONAL Neurobiologie des comportements des animaux, démarche de sciences participatives au collège. INRAE UMR PRC; INSERM iBrain; Université de Tours LIFAT; NeuroSpin. 2022. hal-04106607

HAL Id: hal-04106607

<https://hal.inrae.fr/hal-04106607>

Submitted on 27 Sep 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

RAPPORT D'ACTIVITE D'UN PROJET DE RECHERCHE D'INTERET REGIONAL

Titre du projet : Neurobiologie des comportements des animaux, démarche de sciences participatives au collège

Acronyme : Neuro2Co

N° de la convention : n°2017 – 00117257

Auteur du rapport : E. Chaillou, M. Siwiaszczyk, J.-Y. Ramel, F. Andersson, C. Destrieux, G. Galisot, H. Adriaensen, C. Poupon, S. Love

**RAPPORT D'ACTIVITE D'UN PROJET DE RECHERCHE
D'INTERET REGIONAL****Titre du projet :****Neurobiologie des comportements des animaux, démarche de sciences participatives au collège****Acronyme : Neuro2Co****N° de la convention : n°2017 - 00117257****1 - Résumé en langage vulgarisé non confidentiel des résultats scientifiques**

Le projet Neuro2Co visait à tester l'hypothèse selon laquelle l'organisation des connexions cérébrales rend compte des stratégies d'adaptation comportementale des différentes espèces animales. Pour tester cette hypothèse, nous avons choisi d'étudier des animaux dont les stratégies d'adaptation comportementale sont modifiées par la sélection génétique (cailles très émotives E+ et peu émotives E-) ou par l'expérience de vie dans le jeune âge (agneaux élevés en allaitement artificiel avec ou sans musique). De plus, nous avons étudié des animaux d'espèces différentes issues de la faune sauvage avec des comportements adaptatifs contrastés (proie-prédateur ; social-solitaire,...). Initialement focalisé sur l'organisation des connexions cérébrales, le projet Neuro2Co s'est aussi intéressé à l'organisation morphologique de structures cérébrales impliquées dans les comportements. L'ensemble des travaux menés dans le projet Neuro2Co a été présenté et suivi par des collégiens du collège André Bauchant (Château-Renault) avec la création de l'atelier Ciboulot entre 2017 et 2021. Les collégiens et collégiennes ont participé et animé plusieurs événements destinés au jeune public (fête de la science, semaine du cerveau) avec le soutien de l'ensemble des participants du projet Neuro2Co. Dans le cadre des ateliers Ciboulot, les élèves ont pu visiter les différents laboratoires de recherche partenaires du projet Neuro2Co (NeuroSpin, PolyTech, INRAE, ...). A ces occasions, ils ont présenté les développements qu'ils ont réalisés tout au long du projet (robot-cailles, maquette de cerveau, ...). Le projet Neuro2Co a fait l'objet de nombreuses valorisations : articles de recherche et de synthèse, articles grand public sur EchoSciences dans la communauté « Un cerveau dans toutes les têtes », ou dans Frontiers for young investigators ; création de jeux « *A qui appartient ce cerveau ?* » ; et création d'une formation destinée aux enseignants du secondaire « *A la découverte du cerveau* ».

2 - Résumé en langage vulgarisé non confidentiel de l'impact socio-économique et environnemental

Le projet Neuro2Co a eu des retombées pour la formation, l'éducation, la culture scientifique, et l'emploi. Quel que soit le public concerné (collégien.nes, enseignant.es), les participants aux différentes actions du projet Neuro2Co ont découvert les différents métiers de la recherche, l'importance de la pluridisciplinarité et appréhender la démarche scientifique. Pour cette dernière, nous avons pu mesurer la manque de connaissances relatives aux modes de financement de la recherche, aux différentes étapes pour aboutir à la publication d'un article de recherche, voire même à la manière dont les hypothèses sont construites et testées par une démarche expérimentale. Les nombreux étudiants formés au cours du projet Neuro2Co ont constaté la nécessité de s'investir dans les actions de culture et de médiation scientifiques, certains ayant fait le choix de poursuivre dans ce domaine. Au cours des interactions science-société, nous avons pu aborder des questions socialement vives comme l'usage de l'intelligence artificielle en neurosciences (ciné-débat), l'expérimentation animale (formation des enseignant.es), ou la place des femmes en science (forum des métiers). Le projet Neuro2Co a permis à de jeunes diplômé.es (doctorant.es, ingénieurs) de faire leurs premiers pas comme salariés, plusieurs d'entre eux et d'entre elles ayant trouvé un emploi en lien avec leurs compétences en traitement du signal, coordination de projet, et éducation.

3 - Liste des unités de recherche, équipes et personnes effectivement impliquées dans le projet

UMR PRC, INRAE

Tableau prévisionnel relatif au personnel de l'unité

Libellé	Justification scientifique et rôle dans la réalisation du projet	Durée (Homme Mois)	Coût (k€)	Subvention demandée à La Région (k€)	Cofinancements	
					K€	Financier(s)
Elodie Chaillou, CR1, PRC-ER1	Coordinateur du projet, Exp. animale ovin, analyse d'images, sc. participatives, valorisation	20	142	0	142	INRA
Ludovic Calandreau, CR1, PRC-ER1	Expérimentation animale caille, analyse d'images, sc. participatives, valorisation	7	50	0	50	INRA
Raymond Nowak, DR2, PRC-ER1	Expérimentation animale ovin, sc. participatives, valorisation	8	74	0	74	Cnrs
Frédéric Lévy, DR2, PRC-ER1	Expérimentation animale ovins, sc. participatives, valorisation	6	56	0	56	INRA
Hans Adriaensen, IR2, PRC-Cire	Acquisition d'images, validation NeuroBrainSeg, sc. participatives, valorisation	5	32	0	32	INRA
Laurent Cario, IE2, SDAR	Sciences participatives, valorisation	4	22	0	22	INRA
CR2 en cours de recrutement → Scott Love, CRCN, PRC-ER1	Exp. animale ovin, analyse d'images, sc. participatives, valorisation	24	160	0	160	INRA
Mélody Morisse TRNO, PRC-ER1	Analyses d'images, sc. participatives, valorisation	12	48	0	48	INRA
Fabien Cornilleau, TRsup, PRC-ER1 → Céline Parias TRNO, PRC-ER1	Exp. animale caille, ovins. Prélèvements. Valorisation.	6,5	30	0	30	Cnrs INRA
Corinne Robin, TRex, Phase	Gestion financière	1,5	8	0	8	INRA
Gilles Gomot, TRex, PRC-Cire	Préparation des animaux, anesthésie	1	5	0	5	INRA
Frédéric Elleboudt, ATP2, PRC-Cire	Suivi des animaux pré- et post-anesthésie	3	10	0	10	INRA
Partenaires IEM, Budapest, Hongrie	Analyses d'images, sc. participatives, valorisation	1	4	0	4	PHC Balaton
AI à recruter → Contrat doctorale, Marine Siwiaszczyk	Analyses d'images, suivi segmentation, sciences participatives	22 36 + 10 (Covid)	74 94 20	74 74	20 20	Beauval Nature INRAE + Modif. Budget APR Neuro2Co
Doctorant(e) Demande fusionnée avec AI	Ensemble du projet	36				

Suite à la restructuration de plusieurs équipes au sein de l'UMR-PRC, le tableau présenté dans le projet Neuro2Co initial a évolué de la manière suivante :

- Le nouveau chargé de recherche, **Scott Love** s'est fortement impliqué dans le projet Neuro2Co, notamment dans le travail expérimental relatif au modèle Caille. Il a co-encadré le travail de thèse de **Marine Siwiaszczyk**.

- Fabien Cornilleau ayant rejoint une autre équipe, il n'est pas intervenu dans le projet Neuro2Co. Les tâches dans lesquelles il était impliqué ont été gérées par **Céline Parias**, technicienne de recherche en comportement. Céline a organisé et participé au protocole réalisé avec les ovins en soutien à Marine Siwiaszczyk. Elle a pris en charge la formation des différents stagiaires (AgroParisTech) pour l'utilisation du logiciel d'analyse comportementale, Boris®.

- Les membres de la plateforme Pixanim (anciennement Cire) ont été davantage impliqués. **Christian Moussu** a aussi participé à la préparation et le suivi des agneaux soumis à une acquisition IRM. Par ailleurs, **Frédéric Elleboudt** a réalisé des acquisitions au CT-scan des pièces anatomiques prélevées au zooparc de Beauval, tâche non prévue dans le projet initial.

- Le recrutement de l'AI a été transformé en financement d'un contrat doctoral à hauteur d'environ 80%. Le reste du financement a été assuré par **Beauval Nature**. Pour mener ce projet doctoral, nous avons recruté Marine Siwiaszczyk qui a eu la charge de mener son projet scientifique tout en assurant la coordination des actions relatives aux sciences participatives. Suite à la crise sanitaire, l'école doctorale a soutenu la demande de prolongation à hauteur de 10 mois. Cette prolongation a été financée en partie par le département Phase-INRAE et une réaffectation de certains crédits (stage CSTI, équipement informatique) du Projet Neuro2Co.

Stagiaires ayant participé au projet Neuro2Co :

- **Terence Saulnier**, 3 avril au 29 juillet 2018, stage de M1 suivi d'un CDD de 6 semaines : segmentation d'images IRM pour alimenter le logiciel de segmentation (tâche 2). Terence a aussi participé aux ateliers

Ciboulot pour initier les élèves à la segmentation d'images. Aujourd'hui Terence Saulnier est un acteur reconnu de la médiation scientifique, co-créateur de l'*Exploratoire* et de l'exposition *Cell Immersion*.

- **Manon Bellardie**, étudiante de M1 dans le projet APR Ovin2A, a poursuivi en M2 dans le laboratoire de D. Zéléna (IEM) pour étudier le rôle du mésencéphale dans les comportements d'anxiété (PHC Balaton).

- **Guillaume Ubiéma**, 3 février-26 juin 2020, recruté pour un stage de M1 longue durée sur la partie relative au modèle ovin. Guillaume a participé à l'étude de l'impact de l'exposition à la musique, comme enrichissement de l'élevage en l'allaitement artificiel, sur les comportements émotionnels adaptatifs de l'agneau. Il a participé à la mise en place du protocole expérimental fin février, travail expérimental interrompu par le 1^{er} confinement (mars 2020). Dans ces conditions, Guillaume a réalisé l'analyse comportementale des premiers jours d'exposition à la musique. Dans le but de valoriser ces résultats, Guillaume Ubiéma a accepté de prendre en charge une analyse de la littérature pour entreprendre la préparation d'un article de synthèse « The use and impact of auditory stimulations in animals ».

- **Stagiaires ingénieurs AgroParisTech** en master 1 pour l'analyse comportementale. **Romain Boyer** et **Dang Minh Martin Pham** ont réalisé leur stage du 25 mai au 29 juin 2021, essentiellement en distanciel, encadrés par M. Siwiaszczyk. Après une semaine de prise en main et de validation des comportements à analyser, ils ont initié les analyses comportementales des agneaux élevés avec ou sans musique. **Morgane Genin** et **Aurore Harnois-Gremmo** ont réalisé leur stage du 18 avril au 15 juin 2021 au sein de l'équipe. Elles ont poursuivi les analyses comportementales en vue d'accroître l'échantillonnage des périodes analyses pour l'une, en vue d'étudier les transitions de déclenchement de la musique pour l'autre.

- **Quentin Derian** a réalisé son stage du 4 octobre au 17 décembre 2021 dans le cadre de sa 3^{ème} année de licence. Quentin a pris en charge avec Mélody Morisse la segmentation des IRM acquises chez les agneaux exposés ou non à la musique et chez les espèces issues du zooparc de Beauval.

Najoua Arroub a réalisé son stage de M2 du 12 janvier au 11 mai 2022 pour étudier et comparer l'organisation cérébrale du cerf-souris, de l'otarie et du maki-catta. Son travail a été co-encadré par E. Chaillou et F. Andersson (iBrain-Inserm). Le travail réalisé par Najoua a été présenté à la FENS, 2022.

LIFAT, Université de Tours

Tableau prévisionnel relatif au personnel de l'unité

Libellé	Justification scientifique et rôle dans la réalisation du projet	Durée (Homme Mois)	Coût (k€)	Subvention demandée à La Région (k€)	Cofinancements		
					k€	Financier(s)	D/A
J-Y Ramel PR1, Univ. Tours-LI	Recherche algorithme, développement NeuroBrainSeg, Sc. Participatives, valorisation	4	23	0	23	Univ. Tours	A
Thierry Brouard, MC1, Univ. Tours-LI	Recherche algorithme, Sc. Participatives, valorisation, Site web	5	18	0	18	Univ. Tours	A
CDD IE2	Recherche algorithmes	14	44	44			
		0	0	0	0		
TOTAL		23	85	44	41		

Comme indiqué dans le projet Neuro2Co, les missions prises en charge par le LIFAT ont impliqué le CETU Illia3D. Plus particulièrement, **Barthélémy Serres** a participé au développement du logiciel NeuroBrainSeg et à son évolution vers une plateforme d'applications web SILA-3D.

Gaëtan Galisot qui avait réalisé sa thèse dans le cadre de l'APR NeuroGéo a été recruté comme **ingénieur** du **1^{er} mars 2018 au 28 février 2019** pour poursuivre la recherche d'algorithmes de segmentation basée sur des atlas locaux.

Mostafa Darwiche a poursuivi le travail sous contrat d'**ingénieur** du **1^{er} septembre au 17 octobre 2019**.

UMR iBrain, Inserm

Tableau prévisionnel relatif au personnel de l'unité

Libellé	Justification scientifique et rôle dans la réalisation du projet	Durée (Homme Mois)	Coût (k€)	Subvention demandée à La Région (k€)	Cofinancements		
					k€	Financier(s)	D/A
Frédéric Andersson IR2, Inserm	Validation acquisition et traitement d'IRM, connectomes, sc. participatives, valorisation	3	19	0	19	Inserm	A
Christophe Destrieux, PUPH,	Validation acquisition et traitement d'IRM, connectomes, sc. participatives, valorisation	1,5	9	0	9	Inserm	
		0	0	0	0		
TOTAL		4,5	28	0	28		

Igor Lima Moldanado, membre de l'équipe animée par Christophe Destrieux, a apporté son expertise en neuroanatomie et a participé à la dissection et la préparation de certaines pièces anatomiques.

NeuroSpin, CEA

Tableau prévisionnel relatif au personnel de l'unité

Libellé	Justification scientifique et rôle dans la réalisation du projet	Durée (Homme Mois)	Coût (k€)	Subvention demandée à La Région (k€)	Cofinancements		
					k€	Financier(s)	D/A
Cyril Poupon IRHC, CEA-Neurospin	Acquisition IRM ex vivo, extraction des connectomes, sc. participatives, valorisation	2,5	25	0	25	CEA	A
D. Estournet, AI, CEA-Neurospin	Acquisition IRM ex vivo	2	10	0	10	CEA	A
J. Beaujoin, AI, CEA-Neurospin	Acquisition IRM ex vivo	2	10	0	10	CEA	A
		0	0	0	0		
TOTAL		6,5	45	0	45		

Raïssa Yebga Hot, doctorante dirigée par C. Poupon, a participé au projet Neuro2Co pour l'acquisition des IRM *ex vivo* des têtes de caille et des espèces issues du zooparc de Beauval. Raïssa a pris en charge une partie des post-traitements relatifs à la description des connexions cérébrales. Elle a aussi participé à des actions de médiation scientifique lors de l'atelier Ciboulot au collège A. Bauchant et a présenté ses travaux lors de la visite des collégiens et des collégiennes à NeuroSpin.

David Barrière et Ivy Uszynski, ont apporté leur contribution pour l'analyse des images et leur interprétation.

4 - Changements intervenus dans le projet par rapport au dossier initial

Le principal changement intervenu dans le projet est la transformation du CDD d'assistant ingénieur en financement de thèse, modification rendue possible par le soutien de Beauval Nature.

De nombreuses activités ont été réalisées par les collégiens et les collégiennes dont la participation à différents événements comme le *Salon des Jeunes inventeurs et créateurs de Monts* ou *Les rencontres Jeunes Chercheurs* à l'université de Tours.

L'ensemble des interventions a fait l'objet de présentations sous forme d'articles publiés sur EchoSciences (<https://www.echosciences-centre-valdeloire.fr/communautes/un-cerveau-dans-toutes-les-tetes/articles>).

L'application NeuroBrainSeg n'a pas pu être disponible pour le début des ateliers menés au collège dans une forme d'utilisation conviviale. Nous avons fait le choix de nous tourner vers une application accessible gratuitement. Nous n'avions pas anticipé les procédures administratives et informatiques relatives à l'installation de logiciels au sein du collège pour laquelle il a fallu demander l'autorisation. De plus le matériel disponible au collège est peu adapté aux tâches de segmentation et de manipulation des images. Dans ce contexte, nous n'avons pas pu atteindre les objectifs scientifiques que nous nous étions fixés avec les collégiens et les collégiennes. Ce défaut a été largement compensé par l'investissement des élèves qui se sont emparés de notre question de recherche et qui ont inventé, créé, fabriqué de nombreuses activités en vue de participer à des actions de médiation scientifique avec le grand public.

Dans le cadre de notre démarche en sciences participatives, nous avons suscité l'intérêt de la nouvelle direction créée à INRAE La DipSO qui a invité plusieurs membres du projet à venir témoigner lors de séminaires d'évaluation de ces démarches de sciences participatives. De même Centre.Sciences a invité le projet Neuro2Co lors des forums du CSTI pour témoigner des activités menées avec le jeune public. Enfin, plusieurs reportages ont été consacrés au projet Neuro2Co dans la presse écrite et télévisuelle locale.

5 – Bilan des travaux réalisés (maximum 1 page par tâche + 1 page de synthèse)

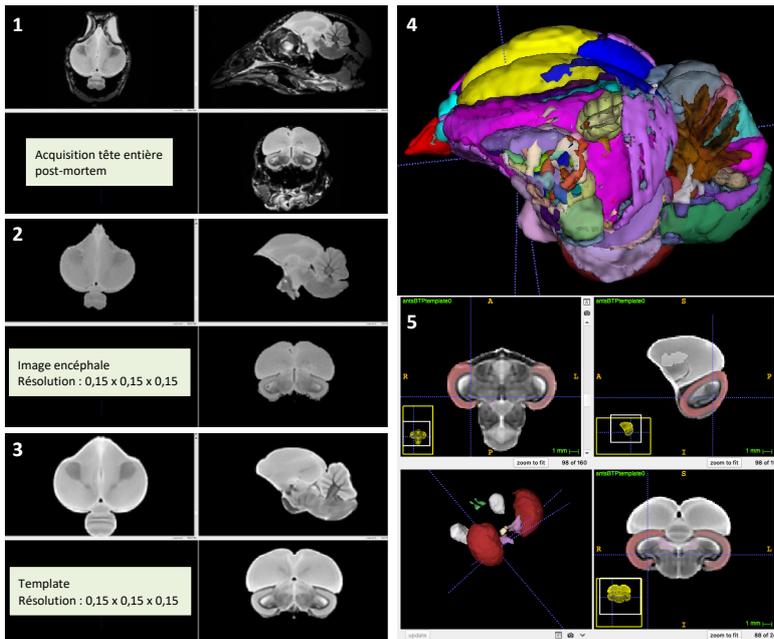
5.1. Tâche 1 : Acquisition et préparation des sets d'images (coordinateur PRC-Inra)

Cette tâche a été organisée en deux phases expérimentales (modèle caille et modèle ovin) et une phase de collecte de pièces anatomiques auprès du zooparc de Beauval.

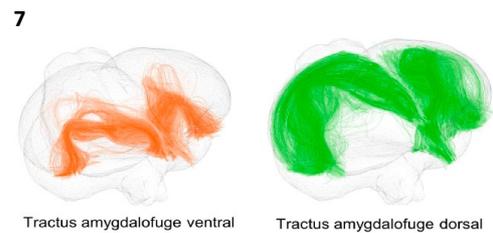
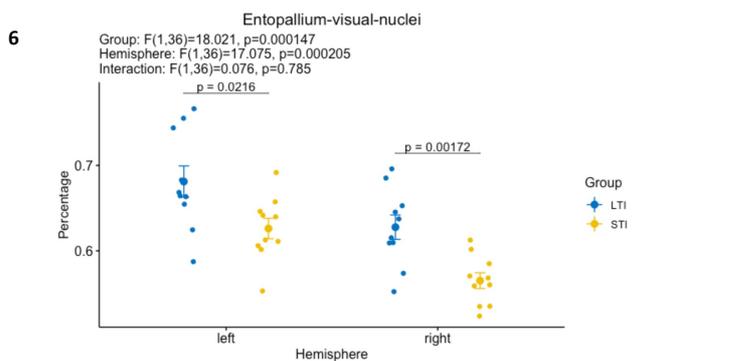
5.1.1. Impact de la sélection génétique d'un comportement de peur sur l'organisation cérébrale

Après quelques adaptations des paramètres de séquences d'acquisition, des IRM anatomiques et de diffusion ont été réalisées sur 21 têtes de cailles mâles sexuellement matures. A partir de 20 têtes imagées

post-mortem (1), les images ont été traitées pour extraire l'encéphale (2). Les 20 encéphales ont été recalés dans un même espace volumique afin de créer un template (3). Celui-ci a été totalement segmenté, chaque



région segmentée a ensuite été identifiée et labellisée. Cette étape a permis la création du premier atlas IRM 3D d'encéphale de caille (4). Après recalage de l'atlas sur chaque individu, le volume de chaque structure a été mesuré (5) et étudié relativement au volume total de l'encéphale. De cette manière, nous avons mis en évidence des différences de volumes relatifs entre les lignées E+ (LTI) et E- (STI), en particulier pour les structures impliquées dans les processus sensoriels (6). Parallèlement, le premier atlas de connectivités structurelles a été créé, au sein duquel différents faisceaux de fibres ont été identifiés (exemples des tractus amygdalofuges ventral et dorsal, 7). La comparaison entre les deux lignées suggère aussi l'existence de différences entre les lignées.

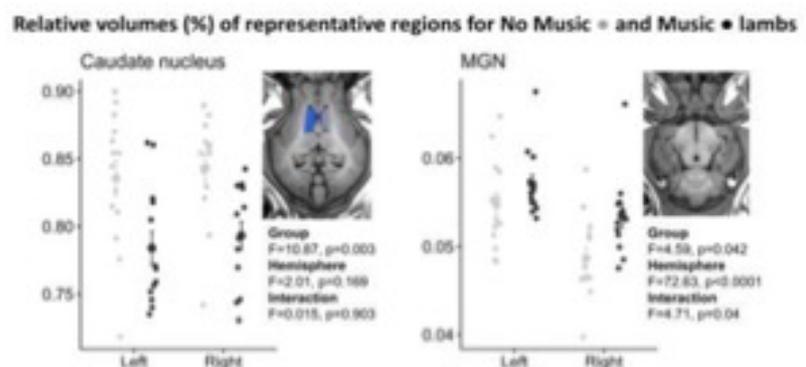


L'ensemble de ce travail a été présenté dans différents congrès, valorisé sous forme de dataset, preprint et publication.

[5.1.2. Utilisation de la musique comme enrichissement de l'environnement d'élevage pour contrecarrer les effets délétères de l'allaitement artificiel sur le développement neurocomportemental](#)

Dans le projet Neuro2Co, nous avons choisi d'évaluer l'impact d'un enrichissement musical comme moyen de contrecarrer les effets négatifs de l'allaitement artificiel, démontrés dans l'IR Ovin2A. Dans ce contexte, nous attendions des modifications des comportements associées à des modifications de l'organisation morphologique de l'encéphale. Ce travail expérimental initié fin février 2020 a été interrompu par le confinement de mars 2020. Dans ce contexte, nous avons initié la rédaction d'une revue dans laquelle nous avons présenté l'état de l'art et rapporté des témoignages d'expérience d'utilisation de la musique en élevage ou en parc zoologique.

Après des aménagements du protocole, nous avons pu organiser notre expérimentation pour les naissances programmées en septembre 2020. Les résultats préliminaires montrent que la musique influence l'expression de comportements comme l'alimentation et le développement du noyau caudé et du noyau géniculé médian (MGN).



5.1.3. Approche phylogénique pour étudier l'organisation cérébrale d'espèces présentant des comportements adaptatifs contrastés

Ce travail a fortement impliqué les équipes du zooparc de Beauval qui se sont mobilisées pour faciliter et améliorer la qualité des prélèvements d'encéphales pratiqués lors des autopsies. Une fois prélevées, les pièces anatomiques ont été fixées par immersion dans du paraformaldéhyde.

Sur toute la durée du projet, plus d'une trentaine de pièces a été collectée. Nous avons examiné les différentes pièces et sélectionné celles qui répondaient à différents critères (tissu non endommagé, animal adulte, ...). Ces pièces ont été imagées à NeuroSpin et nous avons entrepris le travail d'anatomie comparée présenté sous forme de poster (FENS 2022).

Comparative brain morphology of specimens with different adaptive behaviors the bongo, the Java deer mouse, the maki catta and the sea lion.

Elodie Chaillou¹, Scott Love¹, Najoua Arroub¹, Marine Siwiaszczyk¹, Mélody Morisse¹, Quentin Derian¹, Baptiste Mulot², Christophe Destrieux³, Raissa Yebga Hot⁴, Cyril Poupon¹, Frédéric Andersson³

S07-372

Abstract

One aim of comparative neuroanatomy is to better understand brain function among species. It is tempting to try and explain brain differences throughout the animal kingdom by differences in adaptive behaviors as well as ecological factors.

Based on this idea, we explored, with MRI, the brain morphology of three species with different sociality and predator avoidance (Bongo, Java deer mouse and Maki Catta). Brains were collected after death of natural causes and MR-imaged. Brain and body weights were collected, and volumes of brain were estimated after MRI segmentation.

The brain-to-body weight ratio was close to 1 for the Java deer mouse (1.04%) and the maki catta (1.05%) but only 0.26% for the bongo. Encephalization quotients (EQ) were calculated using formulas defined for human (hEQ, constants 0.12 and 2/3; Cairo 2011, doi:10.3389/fnhum.2011.00108) and for dog (dEQ, constants 0.14 and 0.528; Saganuwan 2021, doi:10.1186/s13104-021-05638-0). Whatever the method, the Java deer mouse EQs were the smallest (hEQ=0.98; dEQ=0.88). The maki catta had a higher hEQ (1.23) than the bongo (1.14) whereas the order was reversed for the dEQ (maki catta dEQ=1.21; bongo dEQ=1.96). These values are coherent with the idea that EQ is higher in prey species using active predator avoidance (bongo) and in social species (bongo and maki catta).

Adaptive behaviors of specimen

Specimen	BONGO	JAVA DEER MOUSE	MAKI CATTA	SEA LION
BONGO <i>Tragelaphus eurycerus</i> Herbivore Gregarious Prey (vigilance in group, escape)				
JAVA DEER MOUSE <i>Tragelaphus javanicus</i> Herbivore Solitary Prey (hiding, fight)				
MAKI CATTA <i>Lemur catta</i> Omnivore Gregarious Hierarchy Prey (vigilance in group)				
SEA LION <i>Zalophus californianus</i> Piscivore Gregarious Hierarchy Predator (flouts alone, in group or in cooperation)				

Encephalization quotient

$$dEQ = \frac{\text{Brain weight}}{(0.12 \times \text{Body weight}^{0.75})} \times 10$$

$$hEQ = \frac{\text{Brain weight}}{(0.14 \times \text{Body weight}^{0.75})} \times 10$$

Specimen	BONGO	JAVA DEER MOUSE	MAKI CATTA	SEA LION
Body weight (kg)	150	1.438	2.75	212
Brain weight (kg)	0.386	0.015	0.029	0.4
Brain-body weight ratio	1.14	0.98	1.23	0.94
hEQ	1.96	0.88	1.21	1.69

Flowchart of the process:

```

    graph TD
      A[Declaration of death] --> B[Autopsy]
      B --> C[Brain sample]
      C --> D[Brain Fixation]
      D --> E[MRI acquisition]
      E --> F[T2w]
      F --> G[Images conversion DICOM to NIFTI]
      G --> H[AC-PC reorientation]
      H --> I[Segmentation]
      I --> J[Brain volume]
      I --> K[ROIs volume]
      J --> L[BONGO]
      J --> M[JAVA DEER MOUSE]
      J --> N[MAKI CATTA]
      J --> O[SEA LION]
      K --> L
      K --> M
      K --> N
      K --> O
  
```

Table of brain volumes (mm³):

Specimen	BONGO	JAVA DEER MOUSE	MAKI CATTA	SEA LION
Brain	353600	12080	25590	377800
Caudate nucleus	1988 (0.56% to the brain)	63 (0.52% to the brain)	398 (1.56% to the brain)	4315 (1.14% to the brain)
PAG	704 (0.20% to the brain)	58 (0.48% to the brain)	43 (0.16% to the brain)	214 (0.06% to the brain)
Hippocampus	6320 (1.79% to the brain)	639 (5.29% to the brain)	624 (2.44% to the brain)	N.D.

Graph of Brain mass (g) vs Body mass (g):

Text box: If the proportion of the brain occupied by a structure has a functional significance, is the place occupied by the PAG related to the strategy of a prey against a predator (Bongo and Maki catta: vigilance in group; Java deer mouse: hiding and fight; sea lion: predator)?

The hEQ values found in the four specimens are coherent with the relationships already proposed in the literature between adaptive behaviour and EQ. The highest values are associated with social and gregarious species such as Bongo and Maki catta.

Figure: Brain slices showing brain volume and ROIs volume for BONGO, JAVA DEER MOUSE, MAKI CATTA, and SEA LION.

Project funding: This project has been funded from Région Centre-Val de Loire APRI NeuroCoG grant (Convention 2017 0011257, PI, EC) and partially funded from the European Union Horizon 2020 Framework Programme for Research and Innovation under the Specific Grant Agreement No. 846500 (Human Brain Project SGA3).

Location: Centre Val de Loire – Nouzilly (37)

Contact: Domaine de l'Orfraiseire 37380 NOUZILLY Tel. + 33 (0)2 47 42 76 57 elodie.chaillou@inrae.fr https://www.val-de-loire.inrae.fr/umrprc-etologie-neurobiologie_eng/

Dans la tâche 1, nous avons prévu de réaliser la segmentation des images avec les collégiens et collégiennes. Ce travail n'a pu être réalisé. L'autoévaluation faite par les collégiens et collégiennes, les professeurs du collège et les différents intervenants scientifiques a permis de lister différentes limites relatives au format des ateliers et au matériel informatique disponible. En effet, la plupart des recherches en sciences participatives laisse la liberté du moment de participation alors que dans notre projet, les élèves étaient contraints de segmenter exclusivement lors des ateliers. Idéalement, nous comptons sur l'achat de tablettes graphiques plus adaptées et plus ludiques, la segmentation avec une souris d'ordinateur étant plus contraignante et limitée. Dans ce contexte, nous avons revu nos objectifs et inclus la segmentation dans les ateliers comme une activité et non un objectif scientifique.

5.2. Tâche 2 : Validation de l'application NeuroBrainSeg et Création d'une plateforme collaborative et participative (coordinateur LIFAT-Univ. Tours)

L'application de segmentation a été améliorée et testée avec d'autres organes comme le cœur. Un travail important a été réalisé sur l'ergonomie de l'application. Elle reste toutefois encore complexe pour un usage « tout public » et nécessiterait, pour cela, d'acquérir un caractère ludique. Dans son format actuel, l'application est accessible sur une plateforme hébergée par le LIFAT http://www.rfai.li.univ-tours.fr/PublicData/3D_Brain_Seg/home.html et est d'ores et déjà utilisable pour le modèle d'encéphale ovin ou humain. Profitant d'un appel à projet de prématuration de C-Valo, nous avons fait le choix de

soumettre la plateforme SILA-3D pour laquelle une déclaration d'invention a été déposée. Nous avons reçu un soutien de 5k€ pour lancer une étude de marché, l'idée de s'orienter vers la création d'une start-up a même été envisagée. L'ensemble de cette démarche a été très chronophage d'autant que le bureau chargé de l'étude de marché s'est beaucoup reposé sur les partenaires du projet Neuro2Co pour identifier les cibles. Au final, nous n'avons pas poursuivi dans cette voie et avons fait le choix d'une valorisation scientifique et de poursuivre le développement de la plateforme en soumettant de nouveaux projets de recherche (pré-proposition de projets soumis ANR Brain_Welfare ; APR ModeloCervo).

Il faut aussi noter que la tâche 2 a souffert du manque de données d'images segmentées, leur acquisition et/ou leur annotation ayant été retardées avec la pandémie. Pour compenser ce manque, le projet a pu exploiter des données acquises dans le projet IR NeuroGéo et par le partenaire iBrain-Inserm.

A ce stade, la plateforme SILA-3D est accessible et propose une application de segmentation, de visualisation et une nouvelle application de création de graphes cérébraux est en cours de validation. Le travail relatif à ces recherches d'algorithmes et de développement se poursuit dans le cadre d'une thèse (Oct. 2023-) co-dirigée par le LIFAT (J.-Y. Ramel) et la PRC (E. Chaillou) avec le soutien conjoint d'INRAE (Dpt PHASE) et de la Région Centre Val de Loire, le contrat doctoral étant géré par l'université de Tours.

5.3. Tâche 3 : Organisation de la démarche en science participative (coordinateur Centre Sciences, CC CastelRenaudais, enseignants)

La CCCR a rapidement orienté le consortium scientifique vers le collègue André Bauchant de Château-Renault qui répond à plusieurs des missions de médiation et de culture scientifique portées par la Région Centre Val de Loire (public éloigné, mixité socio-culturelle,...). Deux réunions de prise de contact ont été organisées par le chef d'établissement dès mai 2017 alors que le résultat des projets retenus n'était pas encore connu. Très rapidement, 3 enseignants (technologie, SVT, physique-chimie) ont témoigné leur intérêt pour la démarche et ont proposé de créer des ateliers hebdomadaires. Contrairement à ce qui avait été annoncé, les ateliers ont été organisés afin qu'ils puissent démarrer dès la rentrée 2017-2018.

La planification des ateliers a été organisée sur la base des périodes scolaires avec des thématiques précises correspondants aux différentes disciplines du projet Neuro2Co. De plus, nous avons fait le choix de réserver les ateliers pour les élèves à partir de la 4^{ème}, de limiter le nombre de participant.es à 12-16 élèves, et de sélectionner les élèves sur la base de leur.s motivation.s.

Cette démarche a été mise en œuvre avec 1 réunion de planification au printemps de l'année scolaire n-1, une validation dans la première quinzaine de septembre de l'année scolaire n et une réunion bilan en mai-juin de l'année scolaire n en même temps que la planification de l'année n+1.

Les ateliers ont ainsi été organisés en 2017-2018, 2018-2019, 2019-2020, 2020-2021 et 2021-2022. Pour les deux premières sessions, E. Chaillou (coordinateur) et M. Siwiaszczyk ont été les principales interlocutrices pour la planification et l'organisation des ateliers. Tous les membres du projet Neuro2Co ont participé aux ateliers et/ou à l'accueil des élèves lors des visites. Malgré la pandémie, nous avons pu maintenir un lien avec les élèves sur les deux années 2019-2020 et 2020-2021 avec des interventions en visioconférence. Pour l'année 2021-2022, les ateliers ont été portés par l'équipe enseignante, M. Siwiaszczyk se consacrant à la préparation de sa thèse.

Au final, alors que nous avions prévu d'intervenir sur 2 à 3 années scolaires, les échanges avec les collégiens et collégiennes ont finalement concerné presque 5 années scolaires.

5.4. Tâche 4 : Mise en œuvre et coordination de la démarche en sciences participatives (coordinateur Centre Sciences)

Cette tâche a rapidement évolué avec l'implication forte de l'équipe enseignante qui a organisé sa participation dans le cadre professionnel de l'éducation nationale (quotas d'heures supplémentaires disponibles, réunions sur le temps scolaire, ...). De plus, il a fallu tenir compte du fait que plusieurs élèves ayant participé la première année se sont réinscrits pour une seconde année. Nous avons donc adapté nos interventions pour ne proposer de nouvelles activités tout en donnant les éléments de base du projet aux élèves intégrant l'atelier pour la première fois. Par ailleurs, les thèmes abordés lors des ateliers ont été adaptés en fonction des matières enseignées. Par exemple, les élèves ont abordé la question de l'intelligence artificielle et de la modélisation en technologie, la neurobiologie avec la découverte de l'anatomie cérébrale en SVT, et tout ce qui relève des propriétés électromagnétiques de l'IRM en physique-chimie. Dans ce cadre, les enseignants ont fait preuve d'inventivité et d'appropriation de la thématique

scientifique du projet Neuro2Co a été telle que les élèves ont très vite proposer de créer et d'inventer des objets illustrant les objectifs du projet. La première année, les élèves ont programmé des robots imitant le comportement des cailles issues des lignées émotives et non émotives. La seconde année, ils ont créé une maquette illustrant la transmission du message électrophysiologique dans l'encéphale. Sur les dernières sessions, les élèves ont créé un escape game.

Centre Sciences a été un soutien fort pour organiser les visites des différents partenaires, relayer et mettre en lumière les démarches de médiation scientifique menées dans le projet Neuro2Co : intervention en public sur radio campus pour la fête de la science 2021 ; invitations pour les tables rondes des forums du CSTI... Par ailleurs, Centre Sciences a encouragé et accompagné la rédaction et la publication des articles sur le site EchoSciences ; a organisé et soutenu l'organisation de ciné-débats au cinéma Le Balzac de Château-Renault avec L. Cario (chargé de communication INRAE). Ces ciné-débats ont été organisés pour les élèves de 6^{ème} (Film Vice-Versa), de 3^{ème} (Films : La fabrique du cerveau, Malin comme une chèvre, Démocraties animales) et du grand public en soirée. Pour chacun de ces films, plusieurs partenaires du projet Neuro2Co sont intervenus pour répondre aux questions des spectateurs. Sur la période de la pandémie, nous avons pu maintenir ces échanges par visioconférence.

Il est à noter que malgré les efforts de Centre.Sciences, la mise en place d'une émission de radio avec les élèves de l'atelier ne s'est pas concrétisée à la fois à cause de la pandémie mais aussi la difficulté à mobiliser l'équipe enseignante sur des formations, des investissements qui sortent parfois du cadre scolaire.

Enfin, alors que nous avons pu créer énormément de supports pour animer des ateliers avec le grand public (démonstration, jeux, escape game,...), nous n'avons pas pu organiser l'évènement de clôture tel que nous l'avions imaginé en accord avec la CCCR. Là encore, la pandémie a beaucoup nui à la dynamique des ateliers et la difficulté à mobiliser les membres du consortium sur une phase du projet consacrée à la valorisation des résultats scientifiques et la reprise d'activité d'après confinement.

Au-delà de ces livrables non atteints, il est à noter que de nombreuses actions qui n'avaient pas été prévues ont été réalisées avec un relai par la presse écrite et télévisuelle qui ont participé à valoriser le travail des élèves. Dès la première année, des portes ouvertes ont été organisées pour les élèves des écoles primaires avec des ateliers organisés et animés par les élèves des ateliers. Sur ce modèle, un partenariat a été organisé par l'équipe enseignante et la médiathèque de Château-Renault pour accueillir le grand public et des classes de cours élémentaire et moyen à l'occasion de la semaine du cerveau ou la fête de la science. Les élèves ont aussi participé à des salon et des concours de science sous l'impulsion de Centre.Sciences et des enseignants du collège. Dans cette dynamique, les élèves ont présenté leurs travaux aux visiteurs et jury de ces évènements ainsi qu'au public scientifique présent lors des visites des sites académiques partenaires du projet Neuro2Co (NeuroSpin, Zooparc de Beauval,...).

[5.5. Tâche 5 : Valorisation de la démarche en sciences participatives sous forme de formation \(coordinateur Maison Pour La Science Val de Loire\)](#)

La première édition de la formation a été imaginée et soumise à La Maison Pour La Science courant 2018 pour être inscrite au catalogue en décembre 2018.

La formation intitulée *A la découverte du cerveau... des animaux* est organisée sur 2 jours en respectant le cahier des charges de La Maison Pour La Science : mise en pratique, interaction, point de vue d'un pédagogue. Dès la deuxième édition, nous avons ajouté un module dédié à l'expérimentation animale ce qui a permis de présenter l'ensemble de la démarche scientifique en neurosciences avec les différentes obligations des équipes de recherche (cf. exemple de programme ci-dessous).

Là encore, la pandémie a cassé la dynamique même si nous avons pu proposer une version en distanciel (2020) avec le soutien de la MPLS pour organiser les phases interactives (sondage, vidéo,...). En revanche, pour l'édition planifiée en 2022, alors qu'il y avait plus de préinscriptions que de places (nombre limité à 16), les désistements de dernière minute nous ont poussé.es à annuler la semaine qui a précédé la formation. Plusieurs inscrit.es ne souhaitaient pas se déplacer et pensaient que c'était en distanciel. Dans ce contexte, avec l'accord de la MPLS, un courriel a été adressé aux participant.es afin de leur rappeler que la formation proposée mobilise beaucoup de moyens humains, qu'elle bloque les installations dédiées à la recherche pour leur permettre de les visiter.

Toutefois, les retours des participant.es témoignent de l'intérêt de parler des neurosciences des animaux et des recherches en sciences animales.

Fort de cette expérience, une proposition de plan de formation a été déposée à l'AMI SAPS de l'ANR par un consortium réunissant INRAE (E. Chaillou), Centre.Sciences, LMPLS et une équipe de recherche en sciences de l'éducation (Toulouse).

Programme

• Jeudi 12 décembre 2019 (9h - 17h), INRA Val de Loire, site de Nouzilly, salle Ortavant unité PRC		• Vendredi 13 décembre 2019 (9h - 17h), INRA Val de Loire, site de Nouzilly, salle ORTAVANT unité PRC	
8h30 - 9h	Accueil des participants, distribution des badges, émargement	8h30 - 9h00	Accueil des participants
9h - 9h15	Présentation de la Maison pour la science , de l'action et de son déroulement	9h00 - 9h45	Mise en pratique d'un atelier scientifique. Exemple de Ciboulot (Eric Ravaud)
9h15 - 9h30	Présentation des intervenants de la formation	10h00 - 11h30	Comment étudier le cerveau (des animaux) La pratique (visite de la plateforme Cire, Xavier Druart & Valérie Labas)
9h30 - 10h	Tour de table des participants	11h30 - 13h	Comment étudier le cerveau (des animaux) La pratique (ateliers en sous-groupes, Mélody Morisse, Marine Siwiaszczyk, Scott Love)
10h00 - 10h45	« Le cerveau des animaux en 10 questions-réponses! » Elodie Chaillou, INRA. <i>Lors de cette présentation interactive, seront annoncés les éléments pouvant être utilisés dans le cadre de mise en pratique avec les élèves ou d'enseignement pour les enseignants)</i>	13h-14h	Pause repas
10h45-11h	Pause	14h00 - 15h	A quoi sert le cerveau des animaux ? Elodie Chaillou
11h - 11h45	« Le cerveau des animaux en 10 questions » suite et fin	15h - 16h30	Mise en pratique, Notion d'actions participatives Elodie Chaillou
12h45 - 13h45	Pause repas	16h15 - 17h00	Bilan - Conclusions
13h45-14h15	Visite de l'unité expérimentale Physiologie Animale de l'Orfrasière Olivier Lasserre		
14h15 - 15h	« Le point de vue de la pédagogie » <i>Quelques chiffres par Elodie Chaillou, INRA</i>		
15h - 16h15	Regard phylogénétique Baptiste Mulot		
16h15 - 17h00	Ethique et expérimentation animale Elodie Chaillou		

5.6. Tâche 6 : Valorisation, dissémination (coordination collective)

Le consortium s'est réuni pour le suivi du projet (réunion de lancement, réunions de planification), des réunions de travail en comité restreint ont aussi été organisées pour finaliser les protocoles et analyser les résultats. La réunion de bilan a été organisée le 4 février 2022 mais n'a pu réunir l'ensemble des partenaires.

L'ensemble des actions prévues a été réalisé, les différentes productions étant présentées dans le point 6.

6 – Liste des productions obtenues dans le cadre du projet

○ Rappels des indicateurs

Nature de l'indicateur	Valeur au début du projet	Valeur attendue à la fin du projet	Valeur atteinte à la fin du projet
Publications dans une revue internationale à comité de lecture	2	5	3
Préprint	0	0	1
Data set	0	0	1
Formation d'un.e doctorant.e	0	1	1 + 1
Formation M2	0	2	1
Formation Ingénieur, L3, M1	0	0	7
Formation Licence Pro Médiation scientifique	0	3	0
Création d'une formation destinée aux enseignant.es du secondaire	0	1	1
Session de formation destinée aux enseignant.es du secondaire	0	2	3
Communication dans des congrès nationaux et/ou internationaux	2	6	
Plateforme collaborative et participative en libre accès	0	1	1
Banque de tractogrammes individuels multi-espèces	0	3	0
Evènements de médiation scientifique tournée vers le grand public (conférences, expositions,...)		+4	> 10
Opérations de sciences participatives avec le collège	0	2	5
Participation à des séminaires de retour d'expérience en sciences participatives	0	0	2
Article scientifique dédié au jeune public	0	0	1

○ **Publications scientifiques, preprint, dataset**

1. G. Ubiema, M. Siwiaszczyk, C. Parias, R. Bresso, C. Hay, B. Mulot, S. A. Love, E. Chaillou. The use and impact of auditory stimulation in animals. 2022 *Journal of Interdisciplinary Methodologies and Issues in Science*. Vol. 9 Methods to assess the effects of sensory stimulations on wellness. doi:10.46298/jimis.9971
2. G. Galisot, J.-Y. Ramel, T. Brouard, E. Chaillou, B. Serres. Visual and structural feature combination in an interactive machine learning system for medical image segmentation. 2022 *Machine Learning with Applications* 8, 100294 doi:10.1016/j.mlwa.2022.100294
3. R. Yebga Hot, M. Siwiaszczyk, S. A. Love, F. Andersson, L. Calandreau, F. Poupon, J. Beaujoin, B. Herlin, F. Boumezbeur, B. Mulot, E. Chaillou, I. Uszynski, C. Poupon. A novel male Japanese quail structural connectivity atlas using ultra-high field diffusion MRI at 11.7T. 2022 *Brain Structure And Function*, 227 (5), 1577-1597. doi:10.1007/s00429-022-02457-2, <https://hal.inrae.fr/hal-03627385>

○ **Preprint**

1. M. Siwiaszczyk, R. Yebga Hot, M. Morisse, L. Calandreau, D. A. Barrière, J. Beaujoin, B. Mulot, F. Andersson, C. Poupon, S. A. Love, E. Chaillou (2021-10-21). Selection of high-trait emotivity affects the volume of sensory and emotional-related brain regions in male Japanese quails. <https://hal.inrae.fr/hal-03595578>

○ **Dataset**

1. **2021** Dataset: Selection of high-trait emotivity affects the volume of sensory and emotional-related brain regions in male Japanese quails. M. Siwiaszczyk, R. Yebga Hot, M. Morisse, L. Calandreau, D. A. Barrière, J. Beaujoin, B. Mulot, F. Andersson, C. Poupon, S. A. Love, **E. Chaillou**. <https://zenodo.org/record/5584517>

○ **Réunions, séminaires, conférences**

Réunion de lancement, **20 décembre 2017** (cf. OJ)

Réunion dédiée à l'organisation de la formation LMPS,

16 janvier 2018

Réunion intermédiaire année 1, **7 juin 2018**

Réunion Bilan et Planification année 2, **12 juil. 2019**

Réunion Travail SILA-3D, **5 novembre 2019**

Réunion Travail Atlas Cailles, **juillet 2020**

Réunion Bilan, **4 février 2022**

10h00 – 10h45 Présentation du projet Neuro2Co

10h45 – 11h15 Point sur le budget

11h15 – 12h15 Mise en place des ateliers et premiers retours

12h15 – 12h30 Validation du calendrier pour les événements des ateliers

12h30 – 14h00 : repas au Botanique (menu indiqué ci-dessous)

14h00 – 15h00 Organisation Manipe Année 1 – cailles.

15h00 – 15h45 Plan de formation pour répondre à l'AP Maison pour la Science

15h45 – 16h00 Planification d'une date en mai / juin pour faire bilan « année 1 » .

Réunions planification Ateliers collège : 2 à 3 par an (mai-juin de l'année n-1, septembre de l'année n)

Ateliers 2017-2018 (cf. Programmation en annexe) :

Sont illustrés ci-dessous quelques exemples d'actions de médiation menées avec les élèves du collège et les élèves de l'atelier Ciboulot.

Séance Ciné-Débat 9 novembre 2017 avec la présentation des ateliers aux élèves de 6^{ème}, Cinéma Le Balzac



Après la présentation de l'atelier Ciboulot et l'introduction du film *Vice-Versa*, les élèves de 6^{ème} ont pu poser des questions sur les émotions, le cerveau, et donner leur opinion sur le film.

Inauguration 19 décembre 2017

Les élèves du collège André Bauchant de Château-Renault ont le plaisir de vous convier à l'inauguration de l'Atelier Scientifique *Ciboulot*.

Le mardi 19 décembre à 14h
6, rue Torchanais 37110 Château-Renault

Démonstrations, observations, expériences seront au rendez-vous avec le concours des élèves de l'atelier, de leurs professeurs et des partenaires du projet Neuro2Co.

Ces ateliers sont réalisés dans le cadre du Projet d'Intérêt Régional Neuro2Co coordonné par Mme Elodie Chaillou, chargée de recherche à l'Inra.

Merci de nous informer de votre présence avant le 12 décembre 2017 à l'adresse ce.0370007g@ac-orleans-tours.fr



Visite NeuroSpin 12 juin 2018



Les élèves de l'atelier ont été accueillis par C. Poupon (NeuroSpin) avant de visiter les différentes installations (ex : IRM factice utilisée pour rassurer les enfants). Ils ont ensuite présenté l'atelier Ciboulot au personnel de NeuroSpin présent.

o Valorisation et communication

1. G. Galisot, T. Brouard, J.-Y. Ramel, E. Chaillou. A Comparative Study on Voxel Classification Methods for Atlas based Segmentation of Brain Structures from 3D MRI Images. 2019 Presented at : 14th International Conference on Computer Vision Theory and Applications, Prague, (2019-02-25 - 2019-02-27), doi:10.5220/0007358503410350, <https://hal.inrae.fr/hal-02333748>

2. M. Siwiaszczyk, S. A. Love, E. Chaillou (2021-04-23). « Baa, Baa »: Can sheep talk to each other? 2022 *Frontiers for Young Minds. Neuroscience and psychology*. 10:703514. doi: 10.3389/frym.2022.703514
3. [Présentation orale] R. Yebga Hot*, M. Siwiaszczyk, J. Beaujoin, D. A. Barrière, I. Uszynski, S. A. Love, L. Calandreau, B. Mulot, E. Chaillou, C. Poupon. A novel 11.7T ultra-high field dmri connectivity atlas of the japanese quail. *Presented at : International Society for Magnetic Resonance in Medicine Annual Meeting*, Montreal, Canada (2019-05-11 - 2019-05-16), <https://hal.inrae.fr/hal-02786134>
4. [Poster] R. Yebga Hot*, M. Siwiaszczyk, J. Beaujoin, D. A. Barrière, I. Uszynski, S. A. Love, L. Calandreau, B. Mulot, E. Chaillou, C. Poupon. A novel 11.7T ultra-high field dmri connectivity atlas of the japanese quail. *Presented at : 25th Annual Meeting of the Organization for Human Brain Mapping*, Rome, Italie (2019-06-09 - 2019-07-13), <https://hal.inrae.fr/hal-02786121>
5. [Poster] M. Siwiaszczyk*, R. Yebga Hot, C. Poupon, L. Calandreau, B. Mulot, S. A. Love, E. Chaillou. Impact de la sélection d'un comportement de peur sur l'anatomie de l'encéphale de caille. Utilisation de l'imagerie par résonance magnétique (IRM) ex vivo. *Presented at : 31e Colloque Biotechnocentre*, Seillac, France (2018-10-11 - 2018-10-12), <https://hal.inrae.fr/hal-02786926G>
6. [conférence invitée] E. Chaillou*. Neurobiological approaches dedicated to the study of animal (sheep) behaviour. *Presented at : NeuroEtho Meeting CRCA*, Toulouse, France (2018-09-19)
7. Thèse de M. Siwiaszczyk. Plasticité anatomique des régions cérébrales associées aux comportements adaptatifs. Neurobiologie. Université de Tours (UT), soutenue le 3 février 2022. Français. (tel-03834670)

o Déclarations d'invention

1. **2018-12**. DI CuBBox (Customized Brain Box) – DI RV 17 0051[Présentation orale] A. Andersson (30%), E. Chaillou (30%), B. Serres (30%), C. Destrieux (5%), L. Barantin (5%).
2. **2018-12**. DI SILA 3D (Segmentation and Interaction with Local Atlas in 3D) G. Galisot (33%), J.-Y. Ramel (22%), T. Brouard (15%), E. Chaillou (10%), B. Serres (10%), J. Forte (5%), F. Andersson (5%).

o Autres

Articles publiés dans EchoSciences tout au long du projet

7 - Impact du projet en termes de recrutements

Le projet Neuro2Co a permis le recrutement de 2 ingénieurs au sein du LIFAT.

Un contrat doctoral a été créé avec le soutien de Beauval Nature et le budget dédié au recrutement d'un AI. Cette formation originale associant projet de recherche et actions de médiation scientifique a permis à M. Siwiaszczyk d'être recrutée comme coordinatrice du Domaine d'intérêt majeur C-BRAINS.

Plusieurs stages de moins de 45 jours et deux stages gratifiés ont été réalisés.

8 - Evaluation de l'impact du projet, pendant et après sa réalisation, par le(s) partenaire(s) non académique(s) : retombées potentielles, plus-value apportée, pas d'apport... (document à faire figurer en PJ, rédigé et signé par chaque partenaire non académique sous forme de lettre sur papier à en-tête avec indication de la qualité du signataire)

Cf. les documents fournis en annexe

9 - Conclusion générale (dont suites envisagées au projet)

Modèle génétique, caille. Les résultats relatifs à l'impact de la sélection divergente sur un comportement adaptatif (l'immobilité tonique) ouvrent des perspectives scientifiques originales qui mériteraient d'être poursuivies :

- nous montrons l'impact de la sélection sur un large nombre de structures impliquées dans les processus sensoriels. Pour confirmer cet effet d'un point de vue comportemental, il serait pertinent d'évaluer les capacités cognitives de perception des cailles E+ et E- ;

- les effets que nous mettons en évidence au niveau des fibres blanches pourraient être étudiés par des approches ciblées de type histologique ou optique. Pour cela nous pourrions utiliser l'outil CuBBox que nous avons prototypé avec un encéphale de caille ;

- l'atlas mis à la disposition de la communauté scientifique est le premier atlas IRM complet d'encéphale d'oiseau.

Modèle environnemental, agneau. Les résultats préliminaires relatifs à l'usage de la musique montrent que la diffusion de musique influence l'expression comportementale des agneaux et agnelles ainsi que le développement de certaines structures cérébrales. Pour confirmer les résultats comportementaux, nous avons complété l'échantillonnage des enregistrements audiovisuels et la rédaction d'un article de recherche a été initié (première version incluse dans le manuscrit de thèse de M. Siwiaszczyk).

Suite envisagée :

Ces résultats associés à ceux acquis dans le projet IR Ovin2A montrent l'importance de l'environnement précoce sur le développement cérébral. Pour poursuivre dans la compréhension des conséquences, nous devons avoir une approche globale de l'encéphale, comme nous l'avons eue pour le modèle caille. La singularité des images d'un encéphale en développement rend leur analyse complexe (images avec peu de contraste dans le jeune âge, dynamiques de développement non linéaires entre les différentes régions cérébrales,...). Dans ce contexte, les outils numériques de modélisation comme la représentation de graphes ont fait leur preuve, notamment dans les développements que nous avons menés dans les IR NeuroGéo puis Neuro2Co. Ces outils sont une opportunité sans précédent pour comprendre l'impact de l'environnement précoce sur le développement cérébral et ses conséquences sur les comportements adaptatifs, plus largement les états affectifs. Dans cette dynamique, le LIFAT, iBrain et la PRC, ont initié des échanges avec une équipe du CHU d'Angers qui s'intéresse à la problématique du développement cérébral chez le bébé humain. De plus, E. Chaillou et R. Nowak ont reçu le soutien d'INRAE pour créer et animer le consortium ADAMEP, *Améliorer le Développement de l'Animal en Maîtrisant l'Environnement Précoce*.

Cette question a fait l'objet d'une réflexion à l'échelle européenne dans laquelle, plusieurs partenaires du projet Neuro2Co ont participé. Ces réflexions ont donné lieu au montage d'une action Cost « *Affective states across species* » récemment soumise à l'Europe, en mettant en lumière les démarches du projet Neuro2Co en matière de biologie comparée.

Pour approfondir cette question, nous avons répondu à l'AAP PRC de l'ANR. La préproposition **Brain_Welfare** regroupe les partenaires LIFAT et iBrain pour les objectifs relatifs à l'étude des encéphales sous forme de graphes, et des partenaires INRAE qui nous permettent d'élargir notre questionnement au lapin, animal dont les conditions d'élevage modifient de façon drastique les comportements.

Modèle Phylogénique :

Les premiers résultats montrent combien les encéphales de mammifères présentent des morphologies spécifiques. Même si l'organisation des structures les unes par rapport aux autres reste très conservée d'une espèce à l'autre, nous avons pu observer des différences de formes notables comme au niveau de l'hippocampe. En poursuivant nos investigations, nous participons à mieux comprendre la relation entre anatomie cérébrale et comportements adaptatifs et comment cerveau et comportement ont pu coévoluer. Enfin, ces travaux, associés aux travaux menés par iBrain et NeuroSpin participent à mieux appréhender la singularité de l'encéphale humain.

Pour atteindre cet objectif, nous pensons que la modélisation de l'organisation anatomique des encéphales est une méthode pertinente et originale pour mener des travaux d'anatomie comparée. Dans ce but, nous avons soumis le projet **ModeloCervo** à l'appel à projet régional. Fort de notre expérience en terme de médiation scientifique, nous voulons poursuivre le développement de la plateforme SILA-3D pour la recherche mais aussi pour la formation en médecine humaine et vétérinaire, l'éducation et des activités ludiques. De plus, en poursuivant ce projet, nous apportons des connaissances sur les corrélats neurobiologiques des états affectifs des animaux, connaissances cruciales pour mieux comprendre le règne animal et participer aux questionnements relatifs au statut de l'animal.

Pour profiter de cette dynamique, les partenaires du projet Neuro2Co envisagent de présenter un consortium Le Studium qui visera à fédérer des équipes internationales en neuroanatomie comparée des états affectifs.

Quel que soit le projet scientifique, Brain_Welfare ou ModeloCervo, les partenaires poursuivent leur engagement dans les sciences participatives, *a minima* par des actions de médiation scientifique. Les étudiants et membres des laboratoires sont invités à participer à ces actions et à ne pas négliger les

interactions science-société. Pour aller plus loin dans ces démarches, il serait intéressant d'évaluer l'impact de ces actions et interactions sur les participants. Pour cela, il faudrait pouvoir disposer des coordonnées

10 - Article de vulgarisation prêt à publier sur Echosciences et supports de communication régionaux valorisant le projet (document joint à remplir et conseils en annexe)

Les différentes actions de médiation scientifique ont fait l'objet d'articles publiés sur le site EchoSciences. Les articles ont été rédigés par E. Chaillou et M. Siwiaszczyk en utilisant les notes prises par les collégiens et collégiennes lors des différentes activités scientifiques. Ces articles sont accessibles sur <https://www.echosciences-centre-valdeloire.fr/communautés/un-cerveau-dans-toutes-les-têtes/articles> .

ARTICLE DE VULGARISATION SUR LE PROJET ET DE VALORISATION DE LA DEMARCHE

Titre du projet : Neurobiologie des comportements des animaux, démarche de sciences participatives au collège

Acronyme : Neuro2Co

Etablissement de tutelle : INRAE

Unité de recherche coordinatrice : UMR PRC

Responsable scientifique du projet : Elodie Chaillou

Partenaires : iBrain (Inserm), LIFAT (Univ. Tours), La Maison pour la science, Centre.Sciences, Beauval Nature, Zooparc de Beauval, Communauté de communes du Castelrenaudais.

APR IR de l'année : 2017

Montant de la subvention régionale attribuée : 210k€

Dates de réalisation : Janvier 2018 – 30 novembre 2022 avec mise en œuvre des ateliers au collège dès septembre 2017

Noms et coordonnées de l'auteur de l'article : Elodie Chaillou, NECOS, UMR PRC, INRAE Centre Val de Loire

TEXTE DE L'ARTICLE PRET A PUBLIER (envoi d'1 page maximum sous Word) :

A l'occasion d'un numéro spécial du journal NOVAE, une interview a été réalisée pour évoquer les spécificités à travailler avec un public scolaire. Le témoignage fait essentiellement référence au projet Neuro2Co.

Cet interview fait le bilan de la partie participative du projet Neuro2Co.

https://www6.inrae.fr/novae/content/download/5471/55445/version/1/file/14_Encart_Chailou_NOVAE_2021.pdf

.....

Projet soutenu par la Région Centre-Val de Loire

dans le cadre de son Appel à projets de recherche d'intérêt régional annuel



Objet : Evaluation de l'impact du projet, pendant et après sa réalisation, par le ZooParc de Beauval et Beauval Nature

Les objectifs scientifiques du projet Neuro2Co s'inscrivent pleinement dans les actions soutenues par Beauval Nature permettant de mieux connaître les animaux et de les protéger efficacement. Les résultats scientifiques relatifs aux espèces d'animaux sauvages hébergées au ZooParc de Beauval, vont participer à une meilleure compréhension du rôle de l'encéphale dans les comportements et les états affectifs des animaux.

Par ailleurs, la proposition de mener ce projet de recherche en y associant un public de collégiens et collégiennes répond à nos missions de sensibilisation du grand public, en particulier les visiteurs du ZooParc de Beauval.

Dans ce contexte, nous avons reçu favorablement la demande de soutien pour participer au financement d'un contrat doctoral à hauteur de presque 20%. Le directeur de la recherche, B. Mulot, de notre association Beauval Nature a participé au suivi du programme de thèse comme membre du comité de thèse.

Le personnel du ZooParc a été sollicité pour réaliser les prélèvements des pièces anatomiques lors des autopsies des individus décédés. Sur la durée du projet, plus d'une trentaine de pièces a été collectée, gérée et stockée avant d'être remise au porteur du projet (INRAE-PRC).

Le ZooParc a accueilli les élèves pour une visite du parc, avec un temps dédié à l'observation des animaux étudiés pour appréhender l'éthologie. Ils ont notamment observé les bongos, les maki-catta et les sitatunga. De plus, le directeur de recherche, B. Mulot, est intervenu au cours des différentes sessions de la formation *A la découverte du cerveau*, créée dans le projet Neuro2Co ; au cours du forum *Réussir en Castelrenaudais*.

Le projet a été nommé pour les premiers prix Beauval Nature et les premières images illustrant les connexions cérébrales du cerf-souris sont présentées au public au point Beauval Nature du ZooParc de Beauval.

Le travail réalisé dans le projet Neuro2Co a donné lieu à plusieurs communications scientifiques. En particulier, un article relatif à l'impact des stimulations auditives intègre les pratiques en usage au ZooParc de Beauval auprès des espèces herbivores.

Le partenariat avec les différents acteurs du projet Neuro2Co a pris la forme d'une collaboration forte entre l'INRAE, le ZooParc de Beauval et Beauval Nature. Cette collaboration se traduit par la participation de nos structures à la rédaction de différents projets de recherche pour répondre aux appels à projet (ex. APR ModeloCervo), à la participation à des consortium nationaux (ADAMEP) et internationaux (Affective states across species).

Le ZooParc de Beauval et Beauval Nature souhaitent poursuivre le développement d'outils pédagogiques et ludiques qui pourraient être des objets d'intérêt pour nos structures. Dans ce sens, nous soutenons par nos compétences et notre participation, les différentes démarches et rédactions de projets en collaboration avec les autres partenaires du projet Neuro2Co.


SAS ZOOPARC DE BEAUVAL

41110 SAINT AIGNAN
Tél. 02 54 75 50 00 - Fax 02 54 75 50 01
Siret 383 578 432 00015
APE 9104Z

A Saint-Aignan,
Le 25/11/2022
Mr Rodolphe DELORD
PDG ZooParc de Beauval
Président Beauval Nature

**Association Beauval Nature
pour la Conservation et la Recherche**
41110 SAINT AIGNAN
Tél. 02 54 75 50 00
beauval.nature@zoobeauval.com





Orléans, le 28 novembre 2022

Objet : Évaluation de l'impact des actions de culture scientifique du projet APR Neuro2Co

Madame, Monsieur,

Les actions de culture scientifique menées par Centre-Sciences et les partenaires impliqués ont permis de proposer des actions **diversifiées** par leur format et sur la **durée** pour réaliser un travail de fond avec les scolaires et renforcer le partenariat entre les différents partenaires.

Ainsi, il a été proposé des rencontres sous forme d'ateliers, des participations à un concours « Faites de la science » à l'université de Tours, à la Fête de la Science à la bibliothèque de Château-Renault, à assister à des projections cinématographiques et échanger avec des scientifiques, à visiter des laboratoires de recherches Inrae Nouzilly et NeuroSpin CEA, à créer des outils d'expositions, à créer des présentations simplifiées du projet et des expériences interactives, à réaliser des interviews et valoriser ces actions sur Echosciences.

Centre Sciences a réalisé également un jeu de création sur la reconnaissance de cerveau 3D avec Beauval Nature qui complètera des dispositifs interactifs de médiation pouvant être proposés dans les prochains rendez-vous.

Ce projet, par sa durée, permet aux élèves et aux enseignants en sciences de connaître les thématiques de recherche développées en région Centre-Val de Loire, près de chez eux, de comprendre la démarche scientifique de la recherche et de se familiariser avec le milieu et découvrir les métiers.

Cela renforce le lien entre le collège et le centre INRAE situé à Nouzilly puisque cela a permis de proposer des actions dans le cadre de la Fête de la Science d'une manière récurrente : projection d'un film suivi d'un échange avec les scientifiques. Initiée lors de cet APR, ce dispositif est proposé tous les ans lors de la Fête de la Science.

Des visites de laboratoires sont ainsi proposées et d'autres actions de culture scientifique intégrées au sein du collège se poursuivent.

Enfin, l'ensemble des partenaires de recherche avec Centre Sciences souhaitent renouveler des projets de collaboration, de recherches complétées par des actions de culture scientifique.

On peut conclure que des projets qui sont menés sur plusieurs années permettent d'ancrer des pratiques et permettent aux scientifiques de développer des pratiques de culture scientifique et pour d'autres de renforcer la nécessité d'intégrer dans toute activité de recherche des actions de culture scientifique.

Le projet a fait l'objet de valorisation sur les réseaux sociaux, Facebook de Centre-Sciences et sur [Echosciences](#) Centre-Val de Loire permettant ainsi le partage d'expériences.

CENTRE SCIENCES
CCSTI de la Région Centre
72 Faubourg Bourgogne
45000 ORLÉANS

Tél. 02.38.77.11.06 Fax 02.38.77.11.07

A handwritten signature in black ink that reads 'Olivier MORAND'.

Olivier Morand
Directeur de Centre-Sciences

Adresse postale : 72 Faubourg de Bourgogne, 45000 Orléans

Livraison : 57 quai du Roi, 45000 Orléans

Tél : 02 38 77 11 06 - Mél : contact@centre-sciences.fr - www.centre-sciences.org

Orléans, le 25/11/2022

Objet : Formation A la découverte du cerveau – projet Neuro2Co

A l'attention de la Région Centre-Val de Loire

Madame, Monsieur,

La formation « A la découverte du cerveau » a été créée conjointement en 2018, par Elodie Chaillou de l'INRAE et la Maison pour la science en Centre-Val de Loire pour répondre à un besoin de formation des enseignants du second degré de l'Académie d'Orléans Tours.

Deux sessions se sont déroulées sur le site de l'INRAE de Nouzilly, avec Elodie Chaillou et l'équipe de l'UMR Physiologie de la Reproduction et des Comportements, et Baptiste Mulot du Zoo de Beauval, partenaire du projet Neuro2Co.

La première session s'est déroulée les 17 et 18 décembre 2018 pour 17 participants (1 annulation et 2 personnes absentes sur les 20 personnes retenues). La seconde session a eu lieu les 12 et 13 décembre 2019 pour 15 participants (20 personnes retenues mais nous avons eu 3 annulations et 2 absents).

Lors de ces sessions, l'accueil sur le site de l'INRAE par l'équipe PRC a permis aux enseignants du second degré de faire des visites de laboratoires, mais également de pouvoir faire des manipulations et de suivre des conférences de chercheurs et acteurs de la recherche en Centre-Val de Loire.

Suite à la pandémie de Covid-19, la session de l'année scolaire 2020-2021 a tout d'abord été reportée. Nous avons été contraints par les normes sanitaires, de la faire à distance, sous forme d'ateliers et conférences en ligne avec des parties interactives (réalisation de sondages en direct, tableau de post it interactif etc) menées conjointement par Elodie Chaillou et Elodie Lebert, l'ingénieure de formation de la Maison pour la science.

La session de l'année 2021-2022 a été annulée faute d'un nombre suffisant de participants : le nombre d'intervenants mobilisés par l'INRAE étant plus important que le nombre d'inscrits restant, la décision fut prise d'annuler cette session.

Ces différentes sessions ont été très appréciées par nos participants notamment grâce à l'accessibilité des chercheurs et la qualité des interventions scientifiques, mais aussi la possibilité de visiter l'unité de recherche.

Je vous prie d'agréer, Madame, Monsieur, l'expression de mes sentiments respectueux.

Christophe BEAUBRAS
Directeur de la Maison pour la science

Château-Renault, le 28 novembre 2022

Objet : Ancrage local du projet APR Neuro2Co

Madame, Monsieur,

L'INRAe est un établissement majeur de la Communauté de Communes du Castelrenaudais, tant par son activité, que par le nombre de salariés. L'impact en matière de développement local du centre INRAe de Nouzilly est important pour notre économie de proximité mais également en matière de notoriété.

Depuis des années, de nombreux échanges et partenariats sont ainsi noués dès lors que cela est possible entre les collectivités locales et l'INRAe.

Ainsi, quand le projet piloté par Elodie CHAILLOU, NEURO2Co a émergé, il était évident que l'ancrage territorial sur le Castelrenaudais de cette expérimentation devait constituer un élément essentiel.

C'est avec ce double objectif d'ancrage et d'association des acteurs locaux (principalement le collège) que de nombreuses actions se sont déroulées localement sur le Castelrenaudais en sus des événements d'ampleur régional voire national.

Ce partenariat opérationnel des collectivités a permis de proposer des actions **diversifiées** par leur format et sur la **durée** pour réaliser un travail de fond avec les collégiens principalement mais également les lycéens :

- Projections cinématographiques et débats au Cinéma d'Art et d'Essai Le Balzac à Château Renault
- Expositions et animations à la médiathèque de Château Renault
- Participation aux forums « Réussir en Castelrenaudais » qui se sont tenus au Collège André Bauchant et au lycée des Métiers de Beauregard...

Même si la crise sanitaire a quelque peu contrecarré les initiatives envisageables, la Communauté de Communes du Castelrenaudais se félicite d'avoir œuvré dans le cadre de ses compétences à la réussite de ce projet scientifique ambitieux et à son ancrage au territoire, au collège et aux collégiens.

Je vous prie de croire, Madame, Monsieur, à l'assurance de ma considération distinguée.

La Présidente
Brigitte DUPUIS



N. Chaumont

Enseignant, participant à
l'atelier Ciboulot, de sciences
physiques au collège de
Château-Renault.

Le 25/11/2022.

Madame, Monsieur,

L'atelier Ciboulot organisé au collège (1h/semaine) a été une plus-value indéniable pour initier des élèves volontaires au monde de la recherche scientifique.

Les sorties organisées par Mme Chaillon ont permis à nos élèves de découvrir une école de sciences (Polytech Tours) ainsi que des laboratoires (INRAE, NEUROSPIN). Par ailleurs, les chercheurs venus au collège ont expliqué aux élèves le fonctionnement d'appareils de mesure variés et de logiciels très spécifiques. Et dans le cadre des séances "cinéma-débat", tous les élèves d'un même niveau (les élèves de 3^{ème} cette année 2022) ont participé à un débat mené par des scientifiques. De plus, les collégiens ont bénéficié d'une visite du zoo de Beauval commentée par le vétérinaire.

Enfin, pour clôturer l'année scolaire, les expériences et maquettes réalisées par les élèves de l'atelier ont été présentées aux élèves de CM2 dans le cadre de la liaison CM2-6^{ème}.

Il me semble évident que ce projet a vivement intéressé les participants et a motivé des élèves ne manifestant pas

forcément d'attrait pour les sciences.

A titre personnel, je tiens à remercier Mme Chaillon et son

équipe de chercheurs pour le travail fourni, leur patience
et l'organisation des sorties.

